

## ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO TEMÁTICA FACILITADORA DA APRENDIZAGEM DE FÍSICA QUÂNTICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Fabíola Luana Maia Rocha<sup>1</sup>  
Francisco Ernandes Matos Costa<sup>2</sup>

### RESUMO

A inserção de conceitos de física moderna e contemporânea na educação básica tem sido uma temática de constantes debates e discussões entre pesquisadores da educação e do ensino de física. No que concerne ao contexto da sala de aula, é bem conhecido que os professores dão muita ênfase aos conceitos de física clássica, em particular os de mecânica, calor e eletricidade, em detrimento aos conceitos de física moderna e contemporânea, pois acreditam que esta é muito abstrata e altamente matematizada. Neste artigo, apresenta-se uma proposta de inserção de conceitos de física quântica na educação básica utilizando como tema gerador a energia solar fotovoltaica. Verificamos que existe a necessidade de uma atenção maior a este tema, uma vez que os trabalhos já publicados não são capazes de fornecer aos professores da educação básica uma estrutura padrão para a implementação em sala de aula de discussões sobre conceitos de física quântica relativos a temática supracitada.

*Palavras-chave:* Ensino. Física moderna. Efeito fotovoltaico. Educação básica

### ABSTRACT

The insertion of concepts of modern and contemporary physics in basic education has been a theme of constant debates and discussions among researchers of education and physics teaching. Concerning to the context of the classroom, it is well known that teachers place much emphasis on the concepts of classical physics, in particular those of mechanics, heat and electricity, to the detriment of the concepts of modern and contemporary physics, as they believe that it is very abstract and highly mathematized. This paper presents a proposal for the insertion of quantum physics concepts in basic education using photovoltaic solar energy as a generator theme. We note that there is a need for greater attention to this topic, as the papers already published are not able to provide basic education teachers with a standard framework for classroom discussion of quantum physics concepts related to the topic.

**Keywords:** Teaching. Modern physics. Photovoltaic effect. Basic education.

## 1 INTRODUÇÃO

A física quântica teve sua origem no começo do século XX, resultando da incapacidade da física clássica em explicar uma série de resultados experimentais observados no final do século XIX como: a radiação emitida por um corpo aquecido, o efeito fotoelétrico,

---

<sup>1</sup> Professora da Universidade Federal Rural do Semi-Árido/ UFERSA de Pau dos Ferros/RN. Mestranda do programa de Pós-Graduação em Ensino – PPGE. CV: <http://lattes.cnpq.br/9085564868979082>. E-mail: [fabiola.rocha@ufersa.edu.br](mailto:fabiola.rocha@ufersa.edu.br).

<sup>2</sup> Professor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido/ UFERSA de Pau dos Ferros/RN. Doutor em Astronomia pelo Observatório Nacional/MCTI. CV: <http://lattes.cnpq.br/5699084725652082> E-mail: [ernandesmatos@ufersa.edu.br](mailto:ernandesmatos@ufersa.edu.br).

os espectros de luz emitidos ou absorvidos por átomos isolados e a estabilidade atômica. O desenvolvimento da teoria quântica trouxe uma quebra muito grande de paradigma na física e resultou em uma das maiores concepções da história da ciência. Diferentemente da física clássica, que lida principalmente com fenômenos em uma escala macroscópica em relação aos quais é possível formar uma intuição própria dos acontecimentos, a teoria quântica lida com fenômenos que estão na escala atômica e subatômica de modo que seus conceitos fogem completamente a noção clássica.

No que concerne a pesquisa em ensino de física, é notória a insatisfação de pesquisadores e professores com o processo de ensino-aprendizagem de seus conteúdos o que tem apontado para uma efetiva inovação curricular e metodológica na educação básica. E como efeito dessa renovação, a inserção da física moderna e contemporânea (FMC) como linha de investigação estabelecida na área (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2012). Nesse sentido, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) também destacam a importância de renovar os currículos escolares, pois “para o ensino médio meramente propedêutico atual, disciplinas como a física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX” (BRASIL, 2002).

Para apesar do acúmulo de produções científicas recentes voltadas ao ensino de FMC, poucos são os estudos fundamentados em referenciais teórico-metodológicos que buscam investigar como a inovação curricular e metodológica acontece, na prática da sala de aula. Isso faz com que os professores da educação básica não se sintam à vontade para trabalharem conceitos de FMC (OSTERMANN ET AL, 2014). Além disso, muitos professores acreditam que os conceitos de FMC são muito abstratos e altamente matematizado.

Mas essas dificuldades podem ser superadas se os conceitos forem trabalhados, sem o uso de fórmulas complexas, a partir de tecnologias atuais contextualizadas ao cotidiano do educando. Além das possibilidades do uso de recursos tecnológicos, também entendemos que que é possível uma transposição didática de conceitos com a linguagem voltada ao ensino médio.

Neste artigo discute-se conceitos de física quântica, usando como temática geradora a energia solar fotovoltaica. A abordagem apresentada aqui é direcionada para professores da educação básica e pode ser implementada em sala de aula com a utilização de materiais de fácil aquisição e baixo custo.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo é fundamentada em pesquisas bibliográficas, utilizando livros, artigos, revistas e dissertações como material de apoio. Ressalta-se que segundo Marconi e Lakatos (2003) esse tipo de pesquisa abrange toda bibliografia publicada em relação ao tema de estudo, desde publicações, boletins, jornais, revistas, livros, monografias, teses, filmes, televisão, entre outros.

Inicialmente buscaram-se referências sobre estudos acerca de como conceitos de física quântica envolvidos na geração de energia solar a partir do efeito fotovoltaico podem ser trabalhados em sala de aula da educação básica.

Nessa perspectiva, o presente artigo apresenta um texto voltado para professores da educação básica sobre como conceitos de física quântica podem ser trabalhados no ensino médio a partir da temática geradora energia solar.

No que se refere ao material de baixo custo e de fácil aquisição, que pode ser utilizado em sala de aula como apoio aos professores nas discussões de conceitos relacionados a temática supracitada, destaca-se o uso de LED para simular o efeito células fotovoltaico; fios condutores e fonte de energia.

## 3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: CONCEITOS FÍSICOS

Os problemas ambientais causados pela utilização de energias não renováveis, aliados ao esgotamento dessas fontes, tem despertado o interesse pela utilização de fontes alternativas de energia. Dentre as fontes alternativas, a energia solar é vista como sendo uma boa opção na busca por alternativas menos agressivas ao meio ambiente, pois consiste numa fonte energética limpa e renovável em uma escala de tempo humana.

De maneira direta, a radiação solar pode ser utilizada como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e também pode ainda ser convertida em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico (SILVA ET AL, 2017). O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. Já no segundo, a radiação solar é convertida em energia elétrica em placas de silício dopadas, através do efeito fotovoltaico, descoberto por Edmond Becquerel em 1839.

O efeito fotovoltaico consiste no aparecimento de uma diferença de potencial em um dado material, em geral um semicondutor dopado, quando luz incide sobre ele.

As primeiras células fotovoltaicas industriais de silício dopado foram construídas em 1956. Entretanto, o elevado custo na sua fabricação inviabilizava sua utilização prática naquela época, de forma que o uso da mesma ficou restrita a aplicações especiais, como sistema autônomo de fornecimento de energia elétrica para satélites. Em 1973 com a crise do petróleo, a energia solar fotovoltaica passou a atrair a atenção de alguns governos, de modo que investimentos maciços foram feitos e o uso da mesma passou a ser difundido em larga escala. Atualmente, quando comparada com outras formas de energia, a solar fotovoltaica ainda exige um investimento inicial muito alto, de forma que seu retorno só ocorre a longo prazo.

Conforme já foi comentado, a conversão de energia solar em elétrica ocorre em placas solares feita de um material semicondutor dopado, que podem ser entendidas essencialmente como diodos (junções PN) de grande área, preparadas especialmente para que ocorra o efeito fotovoltaico Pinho e Galdino (2008, pág.114). Para entender melhor como isso ocorre, vamos inicialmente discutir um pouco sobre a estrutura elementar da matéria.

A estrutura atômica da matéria conhecida atualmente é muito bem estabelecida pela teoria quântica, que nos fornece todo o entendimento do que acontece microscopicamente em uma célula solar fotovoltaica. Em um nível elementar a matéria é constituída de átomos e os modelos atômicos evoluíram de forma que podemos generalizar aplicações teóricas de um só átomo, por exemplo, o átomo de hidrogênio, a um conjunto deles. O modelo atômico atualmente aceito para o átomo de hidrogênio é descrito pela teoria quântica, entretanto, o modelo de Bohr nos permite fazer uma abordagem mais didática para reais propósitos deste artigo.

De acordo com o modelo de Bohr os elétrons giram ao redor do núcleo em orbitas circulares, com momentos angulares discretos (quantizados) que são múltiplos inteiro de uma constante física fundamental, denominada constante de Planck. Dependendo da orbita onde o elétron se encontra, ele pode saltar descontinuamente para uma órbita mais externa, se ganhar energia ou para uma mais interna, se perder energia. Como consequência da quantização do momento angular a energia do elétron também é quantizada. Bohr utilizou conceitos clássicos e a ideia inovadora da quantização do momento angular para explicar os resultados experimentais observados para o átomo de hidrogênio.

Os elétrons se distribuem nas órbitas de um átomo individual obedecendo ao princípio da exclusão de Pauli, que diz que dois elétrons não podem ocupar o mesmo estado quântico simultaneamente. Eles se organizam nas órbitas de maneira a preenchê-las pela ordem de nível

de menor para maior energia, até o último elétron se acomodar. A camada que recebe os últimos elétrons do átomo é chamada de camada de valência ou banda de valência e nessa banda os elétrons estão semilivres.

No caso de um material sólido, composto por uma infinidade de átomos, os elétrons também se posicionam desta maneira, porém, neste caso, as órbitas individuais do nível mais externo de cada um se sobrepõem a medida em que os seus centros se aproximam, formando uma estrutura de bandas.

Suponha agora um sólido que possui uma banda de energia totalmente ocupada e a próxima banda com energia maior esteja totalmente vazia. Devido a agitação térmica ou a algum outro agente externo um elétron pode ganhar energia e passar da banda que estava completamente cheia para que estava inicialmente vazia, fazendo com esta banda fique parcialmente preenchida. A energia necessária para que o elétron salte de uma banda para outra depende da temperatura do material e da largura.

Em um material semicondutor, a largura entre as bandas é bem pequena, uma vez que os mesmos possuem características intermediárias aos isolantes e condutores. No silício, por exemplo, o valor da energia para o elétron saltar da banda de valência para a banda de condução é cerca de 1eV, que é comparável a energia dos fótons na região do vermelho do espectro eletromagnético. Dessa forma, um elétron na banda de valência pode absorver um fóton da radiação solar e passar para a banda de condução, caracterizando-o como um fotocondutor. Os elétrons na banda de condução bem como os buracos são chamados de portadores de carga, com o buraco se comportando como uma carga positiva.

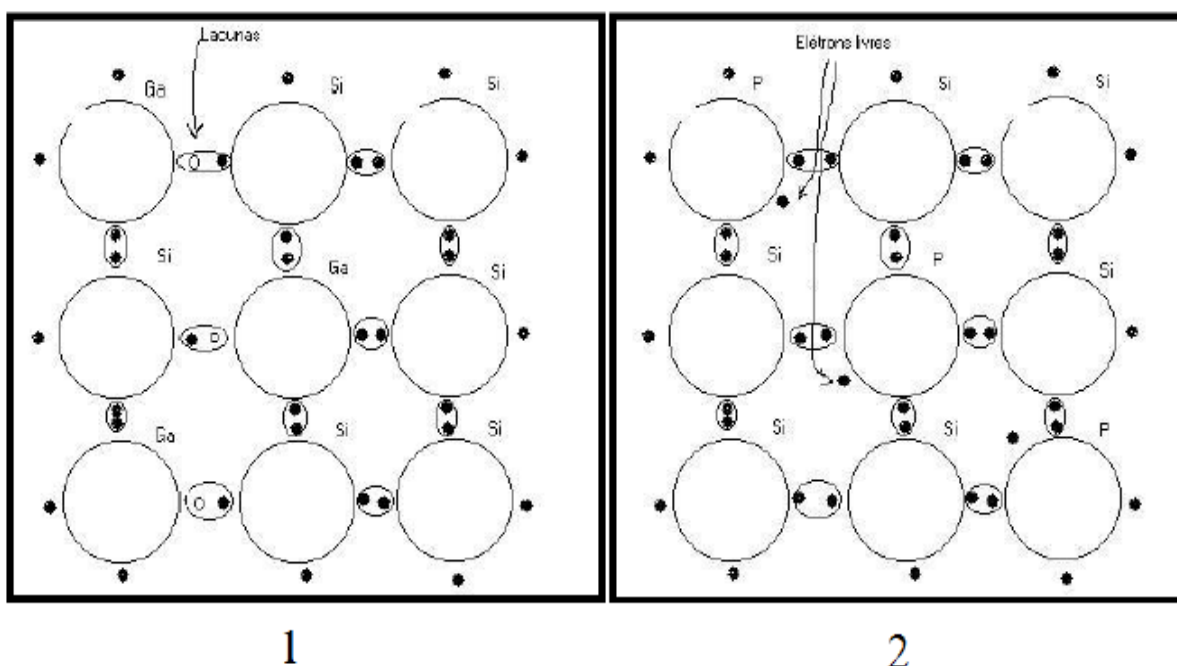
É possível aumentar a condutividade de um semicondutor submetendo-o a um processo de dopagem, ou seja, adicionando-se impurezas. Esse processo consiste em acrescentar átomos de outros elementos em um cristal semicondutor puro, que sejam de características elétricas parecidas.

O material principal das células fotovoltaicas é o silício (Si) que possui quatro elétrons na última camada. Já o fósforo (P) possui 5 elétrons na banda de valência. Quando acrescenta-se um átomo de fósforo ao cristal de silício os quatro elétrons do Si serão compartilhados com quatro elétrons do P na formação da ligação covalente. O quinto elétron do fósforo fica fracamente ligado a ele, e a energia que o separa da banda de condução é baixa de modo que uma pequena quantidade de energia (térmica ou luminosa) faz com o mesmo salte para a banda de condução. Neste caso, a impureza (o fósforo) forneceu um elétron para banda de condução e o processo é chamado de dopagem tipo-n.

Se ao invés de usar o fósforo no processo de dopagem, tivesse sido usado um elemento com 3 elétrons na camada de valência iria aparecer na formação da ligação entre os átomos um buraco pela ausência de um elétron. O buraco se comporta como uma carga positiva. Neste caso, o processo dopagem é do tipo-p.

A figura 01 ilustra as dopagens do tipo-p (1) e do tipo-n (2). Na dopagem do tipo-n o elétron e na dopagem do tipo-p o buraco ocupam um nível de energia que está situado dentro da banda proibida, logo abaixo da banda de condução, com uma diferença energética entre essas de aproximadamente 0,01eV.

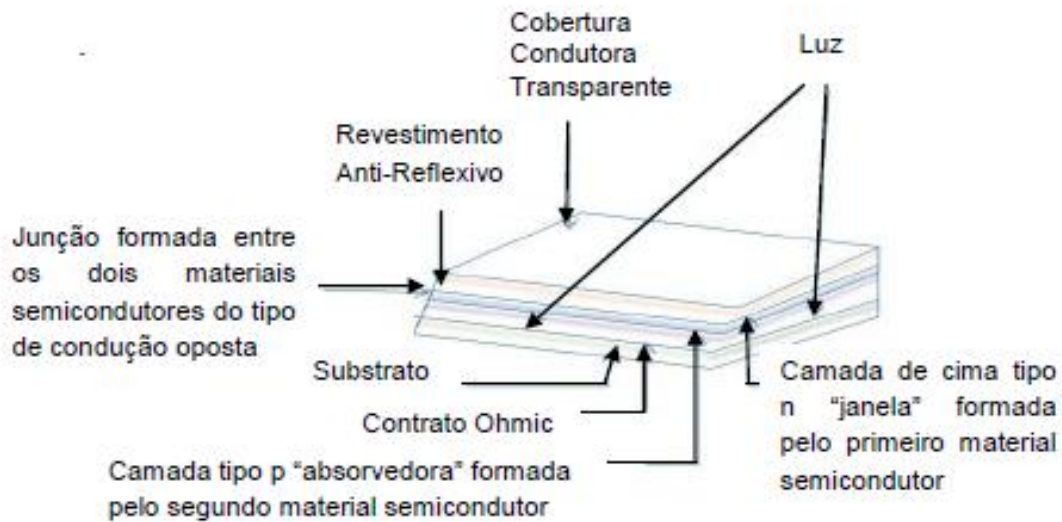
Figura 01: Átomos de silício com dopagem do tipo-p (1) e do tipo-n (2)



Fonte: Sousa e Fernandes, 2014

Quando se faz a junção de um silício do tipo-p com um do tipo-n a condutividade do material resultante depende da quantidade de impurezas em cada um deles (SOUSA e FERNANDES, 2014). Na região entre os dois materiais, denominada zona de depleção, existe um campo elétrico permanente que atua no sentido de manter o equilíbrio elétrico do material. Além da junção p-n a placa fotovoltaica é revestida por cobertura transparente e reflexiva, como mostrado na figura 2.

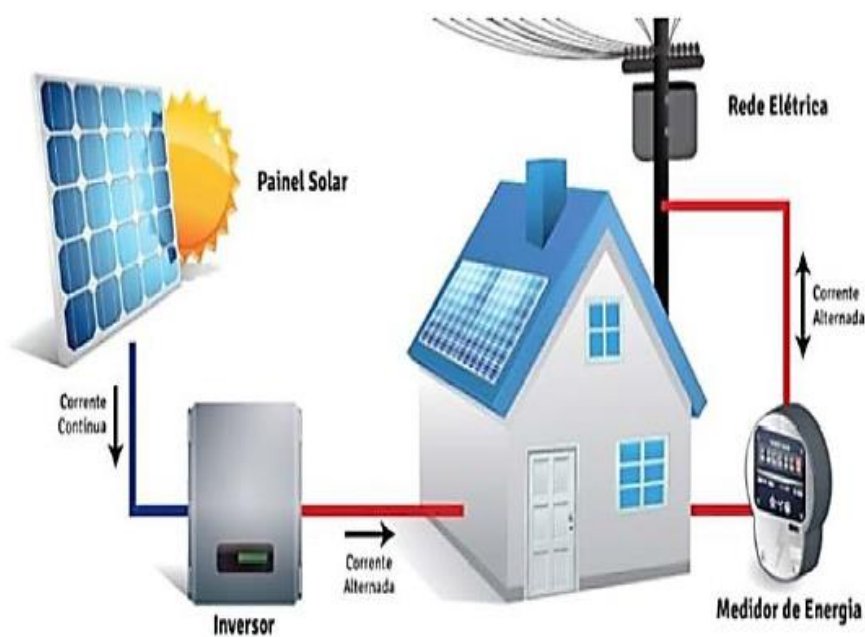
Figura 02: Estrutura de célula fotovoltaica



Fonte: Carmo, 2012

O processo de absorção de fótons pelos elétrons gera uma corrente elétrica contínua, que é conduzida por um material condutor, até um inversor que converte a corrente em alternada e joga na rede elétrica para ser utilizada por dispositivos elétricos, como mostrado na figura 03 (SOUSA e FERNANDES, 2014).

Figura 03: Sistema fotovoltaico para geração de energia



Fonte: Silva et al. 2017

#### 4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Do que foi discutido na seção anterior, percebe-se que existem vários conceitos relativos a energia solar fotovoltaica que podem ser trabalhados na educação básica, tanto na disciplina de física quanto na de química, bem como em discussões transversais sobre educação ambiental e sustentabilidade.

Dessa forma, existem alguns caminhos que o professor da educação básica pode seguir para trabalhar energia solar fotovoltaica como um tema gerador:

- Pode-se fazer uso de atividades experimentais com kits de materiais de baixo custo para discutir os conceitos relativos a energia solar.
- Pode-se utilizar ambientes virtuais como objetos de aprendizagem dos conceitos.
- Pode-se fazer uma discussão interdisciplinar envolvendo conceitos de física e química, que envolvem a temática desta pesquisa.
- Por fim, pode-se fazer uma discussão mais informal no contexto de temas transversais como educação ambiental e sustentabilidade.

No que diz respeito aos trabalhos pesquisados na literatura, a maioria deles podem ser categorizados na primeira vertente apontada (AROCA, 2009; CUNHA ET AL, 2014; OSTERMANN ET AL, 1998; PINHO, 2014; QUEIROZ, 2014).

Na sequência discute-se uma proposta de utilização de um kit experimental que pode ser construído com materiais de baixo custo e que simula o que ocorre nas células fotovoltaicas. Tal kit pode ser facilmente adquirido e usado pelo professor na sala de aula para enriquecer a discussão dos conceitos relacionados à energia solar.

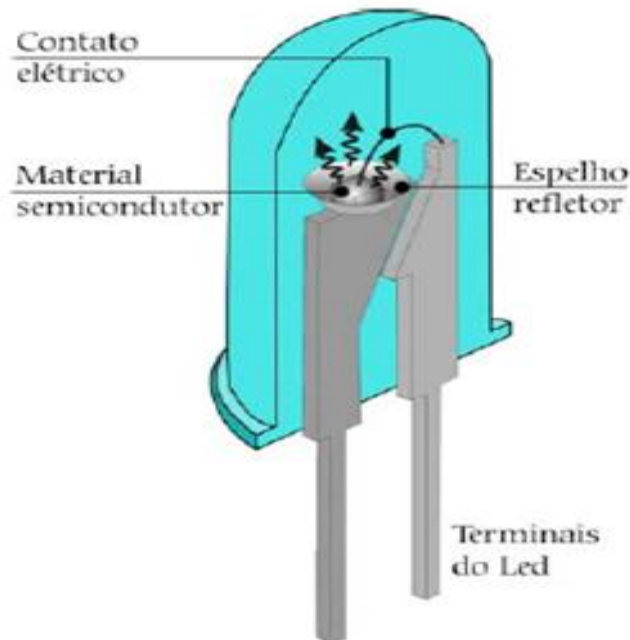
Para a realização do experimento em sala de aula são necessários os seguintes materiais: LED, fios condutores, fonte de energia e fita isolante. O LED, (da sigla em inglês light-emitting diode) ou diodo emissor de luz, pode ser utilizado para reproduzir o que ocorre em uma placa solar, por ser um material de baixo custo e de fácil aquisição. Como mostrado na figura 04, o LED também apresenta um material semicondutor com uma junção p-n, similar as células solares, onde ocorre o efeito fotovoltaico.

Para a realização da atividade experimental em sala de aula, deve-se inicialmente conectar os terminais do LED aos fios condutores e depois conectar dos fios a uma fonte de energia. A figura 05 mostra um circuito com 3 LEDs em um suporte conectados a uma fonte através de fios condutores. Essencialmente o que muda, do ponto de vista microscópico, do funcionamento do circuito da figura 05 para uma célula solar é que; no caso do LED a corrente



elétrica faz o papel dos fótons da radiação solar na célula fotovoltaica fazendo com que os elétrons saltem da banda de valência para a de condução e depois que retornam emitem luz. Já do ponto de vista macroscópico, em resumo o que ocorre é, na célula fotovoltaica energia luminosa é convertida em corrente elétrica e no LED corrente elétrica é convertida em luz.

Figura 04: O LED com a indicação de seus principais componentes.



Fonte: Boareto (2016).

Figura 05: Experimento ilustrativo do efeito fotovoltaico



Fonte: Alves e Silva (2008)

No contexto da sala de aula o professor pode trabalhar esse circuito como um experimento demonstrativo do efeito fotovoltaico e levantar questionamentos para os alunos, de

modo que os mesmos sejam levados a pensarem sobre o que de fato está ocorrendo macro e microscopicamente.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base em pesquisas bibliográficas realizada no desenvolvimento deste artigo percebe-se que existe uma tendência de implementar os conteúdos da física moderna e contemporânea no ensino médio no Brasil e em outros países. Nota-se também um pequeno esforço por parte dos órgãos governamentais nesse mesmo sentido, entretanto, não existe por parte deste uma política de subsídios para a criação de um ambiente propício para a implementação de conteúdos de FMC em sala de aula.

No que diz respeito a temática deste artigo, conclui-se que a energia solar é uma ótima ferramenta para trabalhar vários conceitos de física quântica na educação básica, desde que seja utilizada uma linguagem adequada ao ensino básico.

Por fim, acredita-se que o uso de atividades experimentais confeccionadas com materiais de baixo custo e de fácil aquisição pode ser uma excelente ferramenta para a discussão dos conceitos de quântica envolvidos.

## 6 REFERÊNCIAS

AROCA, S. C. Ensino de física solar em um espaço não formal de educação. Tese de Doutorado, Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009.

BRASIL, M. Pcn+ do ensino médio: orientações educacionais complementares aos pcn. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2002.

CARMO, E. S. V. **O efeito fotoelétrico como proposta de inserção da física moderna no ensino médio**. Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, Ariquemes – RO, 2012.

CUNHA, A. F. V.; PEDROSA FILHO, M. H. O.; SILVA, M. J. F. M.; SILVA, M. K. A.; SILVA, T. S.; TORCATE, A. S. **Projeto e Aplicação de um Conjunto Didático sobre Energia Solar Fotovoltaica**. In: V Congresso Brasileiro de Energia Solar, Recife – PE, 2014.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. **A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da física moderna e contemporânea no ensino médio.** *Ciência & Educação*. v. 15, n.3, p. 557-580, 2009.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. **Tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio: um Texto para Professores sobre Supercondutividade.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 20, n.3, p. 270-288, 1998.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: cepel/cresesb, 2014.

QUEIROZ L. L. G. **Sistemas Fotovoltaico Aplicado ao Centro de Ensino Médio: Um estudo de Caso.** Brasília, DF, 2014.

SILVA ET AL, **Energia solar fotovoltaica: Um tema gerador para o aprendizado de física.** A Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - UNIFESSPA, Pará, 2017.

SOUSA, B. P.; FERNANDES, B. B. **Experimentos para a divulgação do conhecimento fotovoltaico.** INPE – Instituto Nacional de Pesquisas, CNPQ, 2014.