

Viabilidade técnica de Sistemas Fotovoltaicos na zona rural do Cabo de Santo Agostinho e transformação social

Viabilidad técnica de Sistemas Fotovoltaicos en la zona rural del Cabo de Santo Agostinho y transformación social

Technical feasibility of Photovoltaic Systems in the rural zone of the Cape of Saint Augustine and social transformation

Polliany Alves de Lima ¹

Miqueias Fernando de Melo Monteiro ²

Suzana Ferreira Paulino Domingos ³

Resumo

Mesmo com o avanço das tecnologias e com o apoio de programas sociais como o Luz para Todos, muitos cidadãos do Brasil ainda não têm acesso à energia elétrica, essa parcela da população, principalmente moradores de regiões rurais, onde ainda não existe estrutura física para a chegada da rede elétrica. Neste trabalho abordaremos a viabilidade técnica da implementação de sistemas fotovoltaicos e os componentes necessários para a geração de energia localizada, a fim de atender a demanda desse grupo de pessoas, tirando essas pessoas da vida isolada na escuridão e dando condições para que elas tenham acesso a informação e a comunicação, lhes viabilizando a chance de se desenvolver, aumentando a qualidade de vida delas e combatendo a desigualdade socioeconômica existente.

Palavras-chave: Cabo de Santo Agostinho, componentes de sistemas fotovoltaicos, fotovoltaico, inclusão social, viabilidade técnica.

Resumen

A pesar del avance de las tecnologías y con el apoyo de programas sociales como la Luz para Todos, muchos ciudadanos de Brasil aún no tienen acceso a la energía eléctrica, esa parte de la población, principalmente moradores de regiones rurales, donde aún no existe estructura física para la llegada de la red eléctrica. En este trabajo abordaremos la viabilidad técnica de la implementación de sistemas fotovoltaicos y los componentes necesarios para la generación de energía localizada, a fin de atender la demanda de ese grupo de personas, sacando a esas personas de la vida aislada en la oscuridad y dando las condiciones para que ellas tengan acceso a ellas la información y la comunicación, viabilizando la posibilidad de desarrollarse, aumentando la calidad de vida de ellas y combatiendo la desigualdad socioeconómica existente.

Palabras clave: Cabo de Santo Agostinho, componentes de sistemas fotovoltaicos, fotovoltaico, inclusión social, viabilidade técnica.

¹ Aluno em bacharelado de engenharia de materiais; Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho; Cabo de Santo Agostinho; Pernambuco Brasil; brppaz@gmail.com

² Aluno em bacharelado de engenharia Civil; Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho; Cabo de Santo Agostinho; Pernambuco Brasil; matheusjoao793@gmail.com

³ Doutora em Letras; Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho; Cabo de Santo Agostinho; Pernambuco Brasil; suzana.paulino@ufrpe.br

Abstract

Even with the advancement of technologies and with the support of social programs as the light for all, many Brazilian citizens still do not have access to electricity, this part of the population, mainly residents of rural areas, where there is still no physical structure for the power grid. In this work we will discuss the technical viability of the implementation of photovoltaic systems and the necessary components for the generation of localized energy, in order to meet the demand of this group of people, removing these people from isolated life in the dark and giving them access to information and communication, enabling them the opportunity to develop, increasing their quality of life and combating existing socioeconomic inequality.

Key words: Cabo de Santo Agostinho, components of photovoltaic systems, photovoltaic, social inclusion, technical feasibility.

1. Introdução

O Brasil possui um vasto potencial energético no que diz respeito ao índice de incidência solar, de modo que o Sol fornece o equivalente a 309 mil hidroelétricas de Itaipu, sendo entregue na área do Brasil, 71 mil desse total de energia irradiada pelo Sol. (GIAMPIETRO e RACY, 2004).

A demanda por energia é proporcional ao aumento populacional. Segundo Giampietro e Ryco, enquanto o consumo (em GWH) de energia gira em torno de 7,1% a oferta está por volta de 3,92%. Sendo assim, devido a 90% do país estar em zona tropical, a adoção de fontes renováveis que provém do sol é uma ótima alternativa para contornar essa problemática.

Esses sistemas são a aposta para o futuro, e trazem consigo um potencial social enorme, comunidades remotas que não tem acesso à eletricidade e conseqüentemente à todos os confortos advindos dela como iluminação noturna que permite aumentar o tempo produtivo do dia e acabam com os malefícios à saúde causada pela queima de combustível fóssil dentro de casa, comumente usados em candeeiros e lamparinas. É a eletricidade que possibilita a utilização dos eletrodomésticos que facilitam as tarefas de casa e o acesso à internet que nos conecta à uma quantidade quase infinita de informação, contribuindo assim para uma sociedade mais instruída e justa. A energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos também podem alimentar sistemas de bombeamento que levam água de maneira mais fácil para as plantações e criações de animais, além de alimentar sistemas de dessalinização e purificação de água, viabilizando o seu consumo por humanos.

Tendo isso em vista, esse artigo tem por objetivo mostrar a viabilidade técnica de sistemas fotovoltaicos instalados na Zona Rural do Cabo de Santo Agostinho, na região metropolitana de Recife no Nordeste Brasileiro.

2. Ondas eletromagnéticas e potencial energético

Campo Elétrico e Campo Magnético oscilando perpendicularmente geram uma onda eletromagnética cuja direção de propagação é também perpendicular aos campos. Esse importante conceito foi descoberto por James Clerk Maxwell, importante físico escocês, no século XIX.

Segundo Silva (2006), uma onda eletromagnética possui velocidade de propagação (v), frequência (f) e comprimento de onda (λ). Essas três incógnitas, por sua vez, são descritas pela fórmula $v=f\cdot\lambda$. A velocidade de propagação de uma onda no vácuo equivale a $2,998 \times 10^3$ m/s, que por sinal, é a mesma velocidade da luz no vácuo.

A variação no tempo do campo elétrico provoca alterações também no campo magnético, já que ambos oscilam perpendicularmente e o vetor de Poynting descreve perfeitamente a direção de propagação da onda. Gómez, Carlesso, Vieira, Silva (2018) dizem que a radiação eletromagnética está diretamente relacionada à cargas elétricas que irradiam energia. Abaixo segue o espectro eletromagnético:

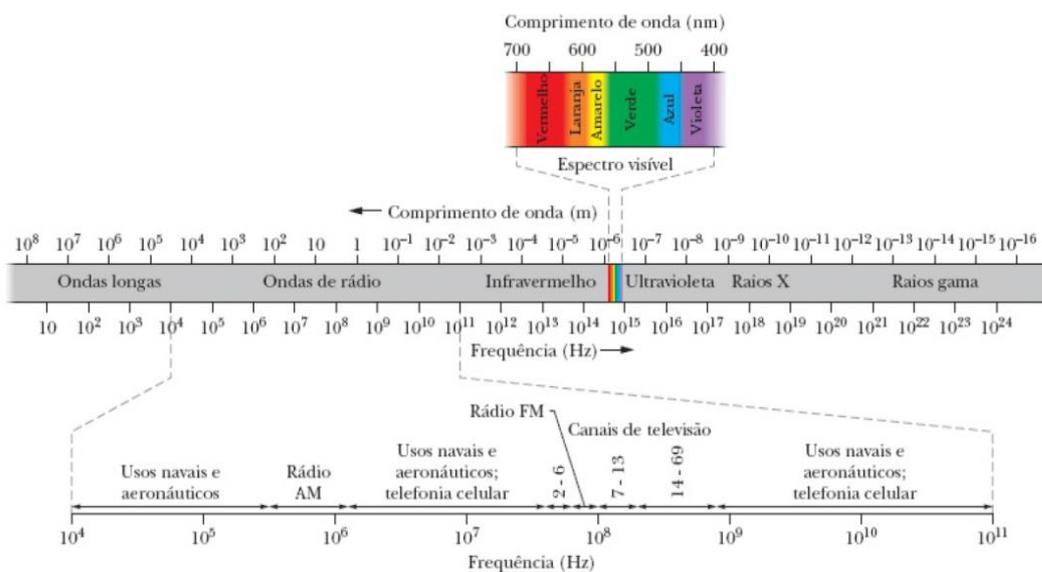


Figura 01 - Espectro eletromagnético.

Fonte: Halliday & Resnick, 2014

Essas oscilações entre o campo elétrico (**E**) e o campo eletromagnético (**B**) ocasionam nas diferentes faixas do espectro eletromagnético. A radiação eletromagnética está diretamente ligada à interação entre as faixas e a matéria: se estas variam, aquela também varia. Conforme a figura acima nos mostra, podemos ver que o espectro se divide em regiões:

- Raios Gama

- Raios X
- Ultravioleta
- Visível
- Infravermelho
- Micro-ondas ou Ondas de Rádio

O Sol é uma enorme fonte de luz e calor. Sendo assim, podemos dizer que ele emite tanto radiação eletromagnética quanto radiação térmica. Gómez, Carlesso, Vieira, Silva (2018) dizem que o espectro da radiação térmica depende da composição do corpo quente e para isso utilizam o Corpo Negro como um parâmetro.

Em 1824 – 1887 Gustav Robert Kirchhoff descreveu, teoricamente, um objeto capaz de absorver toda a luz que incidisse sobre ele sem que parte alguma dessa radiação fosse refletida. Como um corpo com essas características não pode ser visto, ele o chamou de Corpo Negro. Para obedecer a lei que rege o equilíbrio termodinâmico, a taxa com a qual o corpo absorve a luz deve ser a mesma com a qual ele irradia energia caso contrário o mesmo esquentaria ou esfriaria. Desde então, vários experimentos foram realizados afim de medir o espectro térmico de um corpo negro.

Até que por volta de 1900, Max Planck mostrou que a radiação eletromagnética é emitida descontinuamente nos chamados quanta ou “pacotinhos de energia”. Cada quanta pode ser descrito pela fórmula:

$$E = hv$$

E: Energia [J]

h: Constante de Plank = $6,626 \times 10^{-34}$ [J.s]

v: frequência de oscilação [m/s]

A energia por unidade de comprimento de onda ou intensidade monocromática em equilíbrio termodinâmico pode ser descrito pela Lei de Planck:

$$B_v(T) = \frac{2hv^3}{c^2} \times \frac{1}{(e^{hv/kT} - 1)}$$

$B_v(T)$: Temperatura específica do corpo negro

c: velocidade da luz no vácuo

k: constante de Boltzmann ($k = 1,38 \times 10^{-6}$ ergs/K)

Através a Lei de Stefan- Boltzmann podemos calcular a energia por unidade de área (Fluxo) de um corpo negro que apresenta temperatura T:

$$F = \sigma T^4$$

F é o Fluxo

T é a temperatura do corpo negro [K]

σ é a constante de Stefan- Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8}$ [Wm⁻²K⁻⁴]

Estrelas não são corpos negros, portanto, não estão em equilíbrio térmico. Sendo assim, foi definido uma adaptação à Lei de Steffan- Boltzmann com um parâmetro chamado de Temperatura Efetiva:

$$F = \sigma T_{ef}^4$$

Para obtermos a luminosidade de uma estrela esférica, basta fazermos o produto de fluxo com a área da esfera:

$$F = 4\pi R^2 \sigma T_{ef}^4$$

Saraiva e Muller dizem que a energia emitida pelo Sol em um segundo é de :

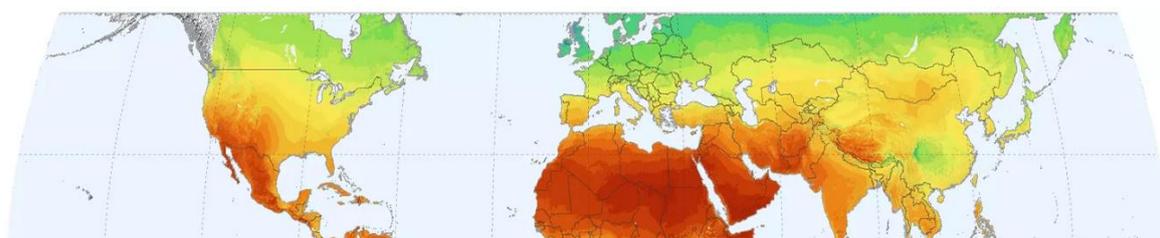
$$L_{sol} = 3,9 \times 10^{26} \text{ J/s}$$

Sendo o raio do sol de aproximadamente 700 000 km, obtemos a temperatura de aproximadamente 5800 K.

Podemos descrever o sol como uma enorme estrela esférica, de gás incandescente na qual a energia é gerada através de reações termonucleares. Pinho e Galdino atualizaram que a “constante solar”, ou seja, a densidade média anual do fluxo de energia ocasionada pela irradiância solar quando o plano no qual está sendo feito a medição é perpendicular aos raios solares, possui o valor de 1.367 W/m² e que a potência que o Sol exerce sobre o topo da atmosfera terrestre é de aproximadamente 174 mil Terawatts.

Quando a luz atravessa a atmosfera o Ozônio absorve parte da radiação ultravioleta e o vapor d’água absorve o infravermelho, ou seja, parte da radiação é absorvida pelos mais diversos gases que compõem a atmosfera em uma dada faixa específica.

As Figuras abaixo mostram mapas do potencial de radiação solar no Brasil e no mundo.



Ao Estudarmos os mapas, fica nítido que o potencial de radiação solar no Brasil é bem maior se comparado ao da Europa. Entretanto, a Europa demanda vários investimentos no que diz respeito à conversão fotovoltaica de energia (PINHO E GALDINO, 2014).

Silva (2015) afirma que o efeito fotovoltaico ocorre quando a radiação solar incide sobre semicondutores e é transformada em corrente contínua. Utilizando esse princípio para geração de energia, as células fotovoltaicas são agrupadas e formam os painéis fotovoltaicos.

O silício cristalino é obtido por meio do quartzo, que é purificado até atingir uma pureza de grau solar de 99,9999%. Aproximadamente 80% das células fotovoltaicas utilizam esse tipo de silício e os outros 20% usam filmes finos (Silva,2015). Embora o Brasil seja riquíssimo em jazidas de quartzo, nenhuma tecnologia para atingir esse grau de pureza foi desenvolvida.

Decorrente do aquecimento global, vários países estão buscando investir em formas eficazes que tem por objetivo diminuir a emissão de gases de estufa na atmosfera. Uma dessas formas seria a substituição as fontes fósseis de energia, já que essas liberam CO², por fontes alternativas de energia como por exemplo fonte solar fotovoltaica.

Silva (2015) destaca que houve um imenso avanço tecnológico na área de energia solar principalmente em países como Alemanha, Austrália, Espanha, Estados Unidos China, sendo esta uma grande líder no setor da indústria fotovoltaica já que investe de maneira considerável nos estudos de desenvolvimento tecnológico na área de produção de painéis fotovoltaicos.

Na década de 1950, no Brasil, pesquisas relacionadas à energia fotovoltaica tomaram impulso no Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e no Centro Tecnológico de Aeronáutica (CTA), onde as pesquisas relacionadas ao silício cristalino passaram a ser realizadas na Universidade de São Paulo (USP) e em 1970 várias instituições estrangeiras ajudaram no desenvolvimento de pesquisa de filtros finos no Instituto de Matemática e Estatística- USP (Silva, Kopp, Guida, 2016)

Em 1980, várias empresas nesse setor foram instaladas no Brasil, incentivadas pelo crescimento do setor, porém com o passar do tempo, pela falta de incentivo do governo, as mesmas abdicaram das pesquisas. Enquanto os países da Europa, além de China e Estados Unidos, preocupavam-se com o seu desenvolvimento tecnológico na área de energia solar, o Brasil passava por um momento de grande tribulação em sua economia decorrente do governo Collor (SILVA, KOPP, GUIDA, 2016).

Ainda segundo Silva, Kopp, Guida (2016) este cenário de turbulência é alterado em 2001 com a criação do Fundo Setorial de Energia (CT-ENERG), em que vários grupos de pesquisa e desenvolvimento voltaram a ser incentivados, e em 2004 houve a criação do Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica. Em 2011 a ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica- lança o chamado “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”, um programa de incentivo à P&D, na qual 18 projetos de sistemas centralizados conectados à rede elétrica (UFV's) e geraram 24 MWp de potência instalada. Com o passar dos anos, o Brasil voltou a investir nesse tipo de tecnologia.

O nordeste brasileiro ainda é considerado uma região pobre do país. Essa região é assim considerada devido ao atraso econômico e social ao qual é submetida desde a época canavieira, conseqüentemente, isso se reflete também no âmbito de energia elétrica (GIAMPIETRO, RACY, 2004).

A fonte energética brasileira provém principalmente das hidroelétricas. No nordeste, podemos dizer que cerca de 90% dessa energia tem sua origem na bacia do São Francisco. Ao longo dos anos, a demanda por energia vai aumentando ao passo que a população cresce e também avança tecnologicamente. Segundo Giampietro e Racy (2004), hoje, 80% da energia do nordeste é destinada às indústrias e os outros 20% restantes são destinados às residências.

Giampietro e Racy (2004) também afirmam que, em sua maioria, 2,5 milhões de famílias das áreas rurais do Nordeste Brasileiro vivem sem iluminação. Dessa maneira, precisam recorrer a fontes alternativas de energia como a energia de chamas, por exemplo, que é um candeeiro com querosene ou óleo diesel que apresenta um pavio aceso afim de iluminar o ambiente. Embora essa energia provinda das chamas supra as necessidades de iluminação, oferece riscos à saúde pois o querosene e o diesel são tóxicos. Então, o mais adequado seria que essa forma de energia fosse substituída por outra com uma melhor qualidade de iluminação, que não apresentasse danos a saúde e tivesse viabilidade econômica.

O estado de Pernambuco além de apresentar um ótimo índice de radiação solar tem se mostrado líder em número de instalações e potência instalada através de energia fotovoltaica. Giampietro e Racy (2004) aproximam esse número para cerca de 143,6 KWp (quilowatt-pico: medida padrão utilizada para mensurar a energia fotovoltaica) de potência instalada e afirmam que, conforme o custo para instalações que utilizam a energia solar tem diminuído ao longo do tempo nesse estado, o homem do campo conseguirá aderir à tecnologia fotovoltaica uma vez que os custo- benefício com a reposição de peças, manutenção e implantação desse sistema se torna bem rentável.

3. Sistemas solares fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos convertem energia luminosa do Sol em energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos, por depender diretamente da luz para a produção de energia, a principal diferença entre os dois arranjos é a utilização ou não de baterias. Dos dois tipos de arranjos para a instalação de módulos fotovoltaicos, os sistemas *on-grid* são os que dispensam a utilização de baterias, pois o sistema está ligado diretamente a rede elétrica, toda a eletricidade produzida por ele é diretamente consumida ou enviada para a rede elétrica, sendo contabilizada por um contador bidirecional, gerando créditos, que são abatidos quando o usuário consome energia da rede elétrica em horários que o sistema fotovoltaico não produz eletricidade, como durante a noite, por exemplo.

Já os sistemas *Off-grid* são os que precisam das baterias para acumular a eletricidade produzida pelos painéis, são recomendados para usuários que estão desligados da rede elétrica, a energia que não é consumida pelo usuário é acumulada em baterias para serem utilizadas nos momentos que os sistemas fotovoltaicos não geram eletricidade. Nesse arranjo temos quatro principais componentes, os painéis fotovoltaicos, as unidades de controle (ou controladores de carga), as baterias e o inversor de tensão.

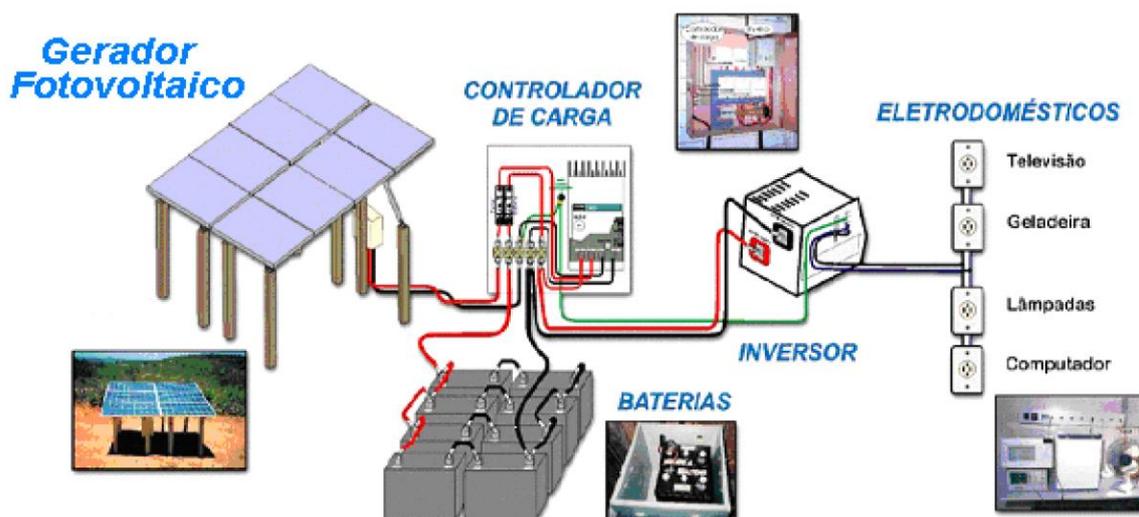


Figura 04 – Esquema de sistema fotovoltaico isolado.

Fonte: CRESESB/CEPEL (1999)

Abordaremos sobre o sistema fotovoltaico *off-grid*, seus componentes, características, a viabilidade técnica da implementação desse tipo de geração de energia na zona rural do

município do cabo de santo agostinho, a fim de atender a necessidade de energia elétrica por pessoas que moram em regiões mais distantes, onde não existe o atendimento dessa demanda por parte do governo.

3.1. Painéis fotovoltaicos

O painel fotovoltaico é um aglomerado de células fotovoltaicas, esse termo é a soma do prefixo *photo*, que significa luz, com o sufixo *voltaico*, que se refere a volt, unidade de medida de energia eletromotriz, que recebeu esse nome em homenagem ao cientista Alessandro Volta, que foi o inventor da bateria elétrica (MARTINS, 1999). O efeito fotovoltaico foi observado em 1839 por Edmond Bequerel, após incidir luz sobre uma superfície semicondutora, observou o surgimento de um diferencial de potencial nas extremidades da estrutura.

O silício, material semicondutor em maior abundância na terra, é o principal elemento na construção dos módulos fotovoltaicos, o silício é laminado, e depois dopado com dois elementos diferentes, o fosforo e o boro, quando combinado com o boro, o silício assume uma carga negativa, dito um semicondutor do tipo N e quando combinado com o fosforo, o silício assume uma carga positiva, chamado então de semicondutor do tipo P. O semicondutor do tipo P é colocado entre duas camadas de semicondutores do tipo N (BRUSCHI, 2011).

De forma separada, tanto o silício P quanto o silício N são neutros, porém, quando unidos, na região de junção P-N, percebemos que os elétrons livres silício N partem para o silício P, para preencher os espaços vazios, essa movimentação de elétrons gera um campo elétrico, com a incidência da luz, o silício adquire a energia que precisa para agirem como condutores, e devido ao campo elétrico da junção P-N, os elétrons são induzidos a saírem da camada P para a camada N por meio de um condutor externo, gerando assim uma corrente elétrica, proporcional a quantidade de fótons que incidem sobre o silício (NASCIMENTO, 2004).

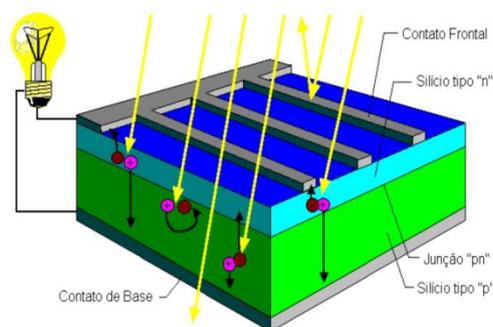


Figura 05 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica.

Mesmo com o avanço da engenharia química e o surgimento de novos materiais com novas propriedades, trazendo uma maior eficiência na relação de custo por quantidade de energia gerada, os módulos fotovoltaicos atuais seguem esse mesmo princípio.

Atualmente, existem diversas tecnologias aplicadas para o desenvolvimento de painéis fotovoltaicos, muitos deles ainda em fase de desenvolvimento da tecnologia em laboratório, dentre esses, podemos encontrar com facilidade 4 tipos de painéis solares no mercado, que representam três gerações de tecnologias para a transformação de luz em energia elétrica.

3.1.1. Silício Monocristalino

Sendo historicamente mais comercializado e utilizado para a conversão direta de luz em eletricidade, o silício monocristalino tem sua produção através de um processo simples e já muito bem consolidado na indústria. Ele é produzido com dióxido de silício que é fundido, desoxidado, purificado, dopado, depois adiciona-se um pequeno cristal que serve de semente para o crescimento de um grande e cilíndrico cristal de silício monocristalino dopado, esse cilindro então é cortado em finas fatias, de aproximadamente 300µm. Esse tipo de fotocélula tem uma eficiência que varia entre 15% à 18% (CRESESB/CEPEL, 1999).

3.1.2. Silício Policristalino

Por ter um processo de fabricação de menor custo que o silício monocristalino, o painel fotovoltaico produzido com células de silício amorfo tem um preço menor, porém junto ao custo, cai também sua eficiência se comparada ao silício monocristalino.

O silício policristalino passa pelos processos de fusão, desoxidação e pureza, muito parecidas com as células de monocristais de silício, porém esse processo tem menos rigidez no controle, o tornando mais barato. Diversas técnicas podem ser utilizadas para a geração dos cristais a partir daí, como o corte de um lingote, de fitas ou depositando um filme num substrato, por imersão ou por transporte de vapor. Cada uma dessas técnicas produz diferentes cristais, que variam de características específicas, morfologia, tamanho e concentração de impurezas, chegando a uma eficiência máxima de 12,5% (CRESESB/CEPEL, 1999).

Tanto o silício monocristalino quanto o silício policristalino formam a primeira geração de tecnologia de painéis fotovoltaicos, são rígidos e compostos por materiais inorgânicos (MATSUMOTO, 2013).

3.1.3. Silício Amorfo

A principal diferença entre o silício amorfo e as outras duas estruturas é o elevado grau de desordem na estrutura do átomo. Elas são obtidas pela deposição de várias camadas, muito finas, de silício sobre uma superfície, podendo assim, serem feitos painéis com grandes áreas e com um baixo consumo de energia, o seu custo de produção é muito baixo, em relação aos outros dois, conseqüentemente seu custo de mercado também cai. Porém a sua eficiência está em torno de 5% à 7%, e um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação reduz sua eficiência ao longo de sua vida útil (CRESESB/CEPEL, 1999).

O silício amorfo é um dos representantes da segunda geração de tecnologias de painéis fotovoltaicos, outros exemplos são os painéis de CdTe (cádmio e telúrio), CIGS (cobre, índio, gálio e selênio), são os chamados filmes finos, compostos por materiais inorgânicos, e alguns flexíveis (MATSUMOTO, 2013).

3.1.4. Células orgânicas

As células orgânicas, também conhecidas como OPV (do inglês, Organic Photovoltaic) é a terceira geração de tecnologia de placas fotovoltaicas, é um advento da nanotecnologia, são películas finas e flexíveis, células orgânicas de múltipla junção, feitas com materiais semicondutores orgânicos que dependem da junção P-N para separar suas cargas, por ter uma eficiência muito baixa, apenas 7% em condições ideais obtidas em laboratório, elas ainda não tem mercado, outro complicador é seu tempo de vida muito curto, por se tratar de um composto orgânico, se degrada mais rapidamente (MATSUMOTO, 2013).

3.2. Controladores de cargas

Como a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos depende da quantidade de luz que os atinge e a quantidade de luz varia em função do dia (nascer e por do Sol, nuvens, sombras causadas por arvores ou outras construções), a quantidade de energia gerada também varia de um instante para o outro.

Devido as características típicas das células fotovoltaicas, uma corrente máxima em torno de 3A e tensão em torno de 0,7V, os painéis são construídos pela associação em série de células, afim de conseguir uma tensão, quase constante de um pouco mais que 12V ou

múltiplos disso e tem uma maior flutuação no valor da corrente, essa tensão de funcionamento é a mesma das baterias, que vão servir de acumuladores para o excesso de energia produzida.

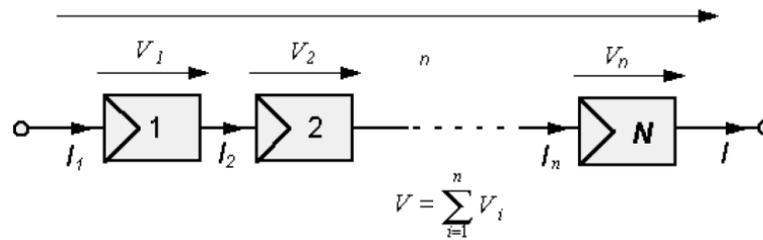


Figura 06 – Esquema de ligação de células fotovoltaicas.

Fonte: CRESESB/CEPEL (1999)

Por ter sua ligação em série, o mal funcionamento de uma das células, seja por defeito ou sombreamento, causa danos na tensão de saída, se tiver ligado diretamente à bateria, essa flutuação de tensão e corrente pode causar danos a bateria, que é um dos componentes mais caros, visto o seu preço e sua vida útil, do sistema fotovoltaico e para evitar esse dano, usamos o controlador de carga entre os painéis fotovoltaicos e as baterias. Os controladores de carga gerenciam eletronicamente a corrente que vai para a bateria, a fim de protegê-las. (MONTEIRO, ZILLES, 2004)

Quando há pouca variação no consumo de energia pelos equipamentos elétricos, é possível utilizar um sistema que seja projetado para não ter o controlador de carga, porém, mesmo com o superdimensionamento das baterias e ao dimensionamento das células nos painéis para que seja entregue a tensão compatível com a da bateria, ainda existe a possibilidade de submeter a bateria a sobrecargas, ou a descargas excessivas, causando assim, danos aos banco de baterias.

Os controladores de carga são indispensáveis na maioria dos casos, com eles podemos otimizar o dimensionamento das baterias. Eles desconectam os painéis das baterias quando essas estão completamente carregadas, e as reconectam quando atingem um nível mínimo de segurança, além de monitorar o desempenho dos painéis e avisar quando acontece algum problema (CRESESB/CEPEL, 2014).

3.2.1. Pulse Width Modulation (PWM)

Os equipamentos que operam com PWM possuem microprocessadores e efetuam a carga da bateria em 3 estágios.

Grossa: no início da carga, quando a carga da bateria está baixa, o controlador fornece para a bateria a corrente máxima que os painéis produzem, até que esta consiga atingir a tensão de fim de carga que foi estabelecida anteriormente, o painel irá fornecer uma corrente variada, enquanto a tensão é limitada pela bateria. Nesta fase, é alcançado cerca de 90% da capacidade de carga da bateria.

Absorção: após o fim da fase grossa, a tensão de carga é mantida na bateria durante um intervalo de tempo, enquanto a corrente é gradativamente reduzida, controlada pelo PWM, até que a bateria seja considerada completamente carregada.

Flutuação: a tensão da bateria mantém-se constante e a corrente ainda está sendo controlada por PWM, porém numa tensão que é bastante inferior a tensão de fim de carga. Essa fase dura até o momento em que a bateria se descarrega e é possível aplicar novamente o ciclo de carga grossa.

Para baterias de Chumbo-ácido abertas existe um outro processo chamado equalização, onde o controlador de carga causa uma sobrecarga na bateria, de forma controlada para que haja um borbulhamento que tem a função de agitar a solução eletrolítica evitando assim a sua estratificação. (CRESESB/CEPEL, 2014).

3.2.2. SPPM

Essa é a tecnologia mais sofisticada existente no mercado atualmente, eles adotam a estratégia de seguimento de ponto de potência máxima do painel fotovoltaico, este controlador tem um conversor CC-CC num primeiro estágio, com o objetivo de atingir um aumento da eficiência no processo de carregamento. Sua eficiência pode chegar a 97%, podendo alcançar 8% a mais de eficiência em relação ao PWM. Porém, esse sistema é mais caro funciona melhor em regiões de baixa temperatura, por tanto, deve-se avaliar se é uma necessidade ou não a instalação desses equipamentos, em regra geral, ele é mais necessário para potências instaladas de mais de 250Wp.

O algoritmo desse dispositivo está sempre ajustando os valores de tensão e corrente para conseguir otimizar a carga da bateria, para cada condição de temperatura de célula e irradiância sobre a mesma. (CRESESB/CEPEL, 2014).

3.3. Baterias

Para os sistemas fotovoltaicos isolados off-grid, sistemas que não tem ligação com a rede elétrica, é necessário o uso de dispositivos de armazenamento de energia, que possa ser utilizada num outro momento, quando os painéis não estiverem mais produzindo. Como o processo de produção varia ao longo do ano, tenho uma maior sobre carga durante o período do verão e uma baixa carga durante o inverno, é necessário que a bateria suporte a instabilidade a qual será exposta. Porém, devido a sua localização geográfica o nordeste possui pouca variação no tempo de horas de Sol, como mostram os gráficos, a seguir.

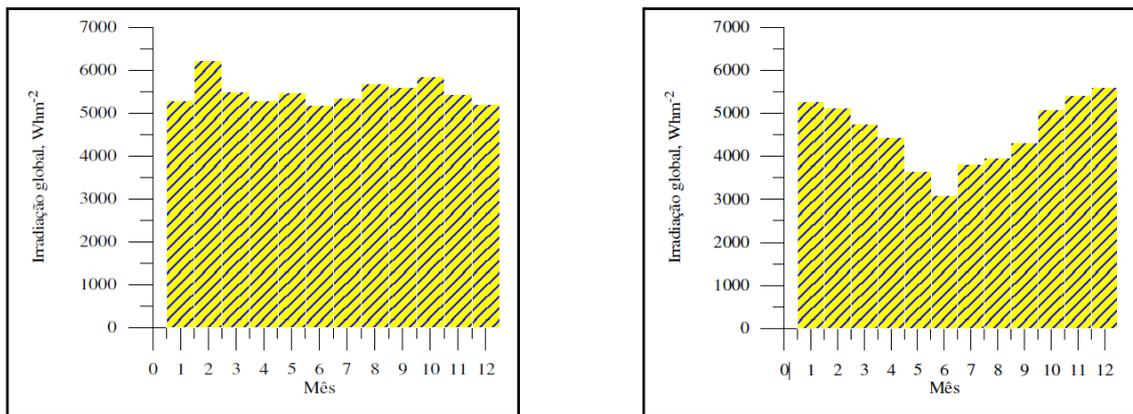


Gráfico 01 – Perfil anual de radiação solar, Petrolina Gráfico 02 - Perfil anual de radiação solar, Porto Alegre – RS.

Fonte: COPETTI & MACAGNAN.(2007).

Levando em consideração que as latitudes de Petrolina (09° 23' 55" S) e do Cabo de Santo Agostinho (08° 17' 12" S), são bem próximas, podemos adotar esse gráfico como uma ótima aproximação para a realidade da intensidade de luz que o Cabo recebe.

A capacidade útil da bateria é dada pelo produto da corrente de descarga pelo tempo de duração dessa corrente, isso varia de acordo com os materiais ativos são utilizados no processo (COPERRI & MACAGNAN. 2007).

Tabela 01 – Capacidades para dois regimes de descarga (a 10 horas-C10 e a 100 horas-C100)

Baterias (12V)	Densidade (g/cm ³)	Tensão final (V)	Capacidade (Ah)	
			C ₁₀	C ₁₀₀
Estacionária ¹ (C ₁₀ =100Ah)	1,24	11,1	127,8	194,2
Automotiva ² (C ₂₀ =36Ah)	1,26	11,0	26,0	30,5*
Selada ² (C ₁₀ =95Ah)	1,27	11,0	74,6	99,7

Fonte: Copetti et al. (1997, 1993) e Moura (1995).

As baterias estacionárias são projetadas para aplicações onde na maior parte do tempo, se tem uma carga completa, e em alguns momentos, temos uma descarga profunda, porém, se avaliarmos a usabilidade, a bateria estacionária exige uma manutenção na reposição de água, pois durante o seu funcionamento parte dessa água é evaporada, e perdida, visto que a bateria não é selada, já a bateria selada é mais interessante, nesse aspecto, pois não exige nenhum tipo de manutenção. Sendo a menos indicada para a aplicação em sistemas fotovoltaicos as baterias automotivas, que tem uma descarga mais rápida, e corrente elevada, além da acelerada perda de rendimento ao longo do tempo.

4. Conclusão

O município do Cabo de Santo Agostinho está localizado numa posição privilegiada, por sua grande incidência de luz, na Zona da Mata de Pernambuco, fornecendo para os sistemas fotovoltaicos *off-grid* ótimas condições de funcionamento, podendo então a autoridade competente buscar viabilizar a inclusão de sistemas fotovoltaicos para atender a necessidade das comunidades que vivem mais distantes dos centros urbanos e não tem acesso a energia elétrica, tendo em vista que as condições geoclimáticas do município, viabilizam a produção de determinada quantidade de energia usando um investimento menor, se comparado a outras regiões do Brasil e principalmente do mundo, que já utilizam largamente essa energia.

Os sistemas fotovoltaicos são o futuro da geração de energia de forma limpa e distribuída, e trazem consigo, o futuro, para as pessoas que tem acesso à mesma. Levar energia elétrica para esse grupo de pessoas é um dever social e moral da nossa comunidade, que deve buscar prover condições de igualdade para todos os Brasileiros e uma ação de inteligência, fornecendo uma matriz energética diversificada que ajuda a garantir um fornecimento mais seguro, além de aumentar a quantidade de energia produzida por fontes de limpas e renováveis.

Viabilizar a implementação desse tipo de tecnologia em locais onde não existe acesso a rede elétrica é um serviço à favor da dignidade humana, o acesso a eletricidade impacta diretamente na melhoria da qualidade de vida das pessoas, trazendo diversão e entretenimento para as mesmas através do rádio e televisão. Um universo de informação e oportunidades com o acesso à internet, possibilitando as mesmas se qualificarem através de cursos EAD nas mais diversas áreas, se capacitando e tornando-se aptos para trabalharem em alguma empresa ou

mesmo criarem as suas próprias. Ter acesso a conhecimento sobre a saúde, para prevenir e identificar doenças, agilizando o atendimento e evitando um dano maior à saúde.

A eletricidade traz segurança para essas comunidades mais afastadas, fornecendo uma iluminação de maior qualidade e alcance. A vida dessas pessoas se torna mais prática e confortável através das praticidades proporcionadas por eletrodomésticos como cafeteiras, batedeiras e liquidificadores, que tornam atividades diárias mais práticas, e trazem outras tantas possibilidades com as geladeiras, que conservam a comida por muito mais tempo e permite outras sensações, como tomar um suco gelado ou provar um sorvete e a utilização de ferramentas elétricas, como serras, fresadoras, furadeiras e lixadeiras facilitam a vida do homem do campo, trazendo conforto e praticidade na execução de suas tarefas.

Referências

Atlas de energia elétrica do Brasil. ANEEL. Ed. 1ª. Brasil. 2002.

BRUSCHI, D.L.; MOEHLECKE, A.; ZANESCO, I.; COSTA, R.C. *Desenvolvimento de células solares em silício tipo n com emissor formado por Boro*. *Revista Matéria*, v. 16, n. 3, pp. 775 – 787, 2011. ISSN 1517-7076

Disponível em: <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11446>. Acesso em: 17 novembro 2018.

COPETTI, J. B. *Baterias em sistemas solares fotovoltaicos*. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 3409 – Conversão fotovoltaica da energia solar, ABENS. Fortaleza. Brasil, 2007.

COPETTI, J. B.; CHENLO, F.; LORENZO, E. 1994, *Role of battery model in PV simulation and sizing programmes*. 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, p.412-415.

CRESESB/CEPEL. *Energia Solar Princípio e Aplicações*. CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito; CEPEL – Centro de pesquisas de Energia Elétrica. Sistema Eletrobrás. Rio de Janeiro:1999.

DASSIE, A. M. *Programa Luz para Todos: avaliação da cobertura com os dados disponíveis*. In: VII CONGRESSO DE LA ASOCIACIÓN LATINO AMERICANA DE POBLACIÓN & XX ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS. 2016. Foz do Iguaçu – PR. Brasil. 2016.

GIAMPIETRO, U.; RACY, J. C. *Viabilidade econômica da energia solar nas áreas rurais do Nordeste brasileiro*. *Jovens Pesquisadores – Mackenzie*. V. 1, N. 1: 209-220.

Disponível em: <https://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/viabilidade-economica-energia-solar-areas-rurais-nordeste-brasileiro.pdf>. Acesso em: 17 novembro 2018.

GÓMEZ, J. M. R.; CARLESSO, F.; VIEIRA, L. E.; SILVA, L. *A irradiância solar: conceitos básicos. Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 40, nº 3, e33122. Mar. 2018. ISSN 1806-9126.

Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172018000300412&lng=pt&tlng=pt. Acessado em 22 nov 18.

GNOATTO, E.; DALLACORT, R.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. de L.; FERRUZI, Y. *Eficiência de um conjunto fotovoltaico em condições reais de trabalho na região de Cascavel. Acta Sci. Technol.* Maringá, v. 30, n. 2, p. 215-219, 2008

Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/3032/303226522013/>. Acessado em 18 novembro 2018.

MARQUES, R. C.; KRAUTER, S. C. W.; LIMA, L. C. *Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia energética para o nordeste brasileiro. Rev. Technol.* Fortaleza, v. 30, n. 2, p. 153-162, dez. 2009.

MARTINS, R. de A. *Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. Acta Scientiarum*, 21 (4): 823-35, 1999.

Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~ghct/>. Acesso em: 17 novembro 2018.

MATSUMOTO, A. *Desenvolvimento de células Fotovoltaicas Orgânicas e Flexíveis*. 2013 Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – UNICAMP, Campinas – SP. 2016.

MONTEIRO, L. G.; ZILLES, R. *Estratégias de controle de carga em pequenos sistemas Fotovoltaicos*. 2004. Dissertação (Pós Graduação em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

Disponível em:

http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022004000100055&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 17 novembro 2018.

MORAES, B. C. S.; BARBOSA, C. R. P. *Projeto de aquecimento solar térmicos – fotovoltaico off grid de piscinas*. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) – Universidade de Brasília. Brasília – DF. 2015.

NASCIMENTO, C. A. *Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica*. Monografia (Graduação em Engenharia) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais. 2004.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A.; CRESESB/CEPEL. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito; CEPEL – Centro de pesquisas de Energia Elétrica. Sistema Eletrobrás. Rio de Janeiro:2014.

Moura, J.F.C. e Copetti, J.B., 1995, Caracterização de baterias automotivas para uso solar fotovoltaico, XIII Congresso Brasileiro e II Congresso Ibero Americano de Engenharia Mecânica – COBEM-CIDIM/95.

SARAIVA, M. F. O.; SARAIVA, K. S. O.; MÜLLER, A. M. Aula 16: *Teoria da Radiação* - Instituto de Física da UFRGS, 2010. Disponível em:

<http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2010/Aula16-132.pdf>. Acessado em: 12 novembro 2018.

SILVA, A.V. R. *Nossa estrela: O Sol*. São Paulo - SP. Livraria de Física, 2006. 166 p. ISBN 8588325659.

SILVA, F. B.; ARAÚJO, A. T.; BARBOSA, N. C.; SOUSA, M. H. S. *Dispositivo para a captação de energia solar utilizado em carregamento de baterias de aparelhos celulares*. In: III CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIENCIAS, 2018, Campina Grande – PB, 2018.

SILVA, M. F. *Panorama da energia solar fotovoltaica centralizada no sistema elétrico brasileiro: Evolução, desafios e tendências*. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia civil ou Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Goiás – GO. 2016. Download solar resource maps and GIS data for 180+ countries. Disponível em: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download>. Acessado em: 15 novembro 2018.

SILVA, R. M. *Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios*. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Fevereiro/2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: www.senado.leg.br/estudos. Acesso em 3 de fevereiro de 2015.

RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física*. Vol. 4. Ed. 10ª. Óptica e Física Moderna. Grupo Editorial Nacional. Rio de Janeiro – RJ, 2016. Epub. P 28 – 104.

VIANA, L. A.; ZAMBOLIM, L.; SOUSA, T. V. *Melhoria de qualidade de vida em regiões rurais sem acesso a energia elétrica por meio da geração solar fotovoltaica*. In: XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica; XVII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação; VII Encontro de Iniciação à Docência. 2017. Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos – SP. Brasil. 2017.