



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

RAPHAEL ALMEIDA DE LIMA

**PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O BLOCO C DO CENTRO
DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**

**CAMPINA GRANDE – PB
2017**

RAPHAEL ALMEIDA DE LIMA

**PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O BLOCO C DO CENTRO
DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como exigência para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Orientador(a): Prof.(a) Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima

**CAMPINA GRANDE – PB
2017**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

L732p Lima, Raphael Almeida de.
Projeto de um sistema fotovoltaico para o Bloco C do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba [manuscrito] : / Raphael Almeida de Lima. - 2017.
44 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.

"Orientação : Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Energia elétrica. 2. Energia solar. 3. Sistema Fotovoltaico.

21. ed. CDD 333.792 3

RAPHAEL ALMEIDA DE LIMA

**PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O BLOCO C DO CENTRO
DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como exigência para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Aprovada em: 12/12/2017.

Nota: 9,0 (NOVE, ZERO)

Carlos Antônio Pereira de Lima

Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima/UEPB
Orientador

Geralda Gilvânia Cavalcante

Prof. Dra. Geralda Gilvânia Cavalcante/UEPB
Examinadora

Keila Machado de Medeiros

Prof. Dra. Keila Machado de Medeiros/UFCG
Examinadora

CAMPINA GRANDE
2017

AGRADECIMENTOS

A DEUS por ter me sustentado em todos esses anos e permitido a realização de um sonho.

Ao meu pai, Valdy, que sempre esteve comigo nas partes mais importantes da minha vida, garantindo o mínimo para que eu pudesse concluir essa etapa.

A minha tia, Maria do Socorro, que me ajudou em todos os momentos de dificuldades e me apoiou em todas minhas escolhas.

A minha avó, Marta, que não se faz mais presente em vida, mas foi parte fundamental da minha vida.

Ao Prof. Carlos Lima, por dois anos de trabalho em equipe e mesmo depois que me afastei para outro projeto, me recebeu de braços abertos como orientando nessa etapa.

Ao Prof. Rui de Oliveira, por ser uma das pessoas que eu mais admirei como ser humano e professor ao longo da graduação.

A minha namorada, Hellen Rafaella, por todo amor, cuidado e carinho nos momentos em que me faltava chão. Por acreditar em mim, quando eu mesmo não acreditava e está sempre ao meu lado, me ouvindo e aconselhando.

Ao meu amigo e irmão, Wesley Darwin, por todos esses anos de amizade e companheirismo.

Ao meu amigo, Rodolfo e sua família, pelo amparo que tive dentro da sua casa e que até hoje me fazem sentir como um membro desse laço familiar.

Aos colegas de turma, visto que, para mim nada é por acaso, tudo teve um propósito, uma lição, um ensinamento e de cada um deles eu levarei as melhores lembranças.

Aos docentes do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, por todo conhecimento dado que me preparou para a minha profissão e sabedoria compartilhada que me ajudará a superar os desafios ao longo da minha vida.

A todos, além do meu respeito e admiração, muito obrigado!

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCT	Centro de Ciência e Tecnologia
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
EOL	Central Geradora Eólica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LPT	Luz Para Todos
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PROCEL	Programa Nacional de Conservação Energética Elétrica
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios
SFRC	Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede Elétrica
SHS	Solar Home System
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica
UTN	Usina Termonuclear

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – COMPOSIÇÃO DOS GERADORES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	15
FIGURA 2 – COMPOSIÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO BRASILEIRO.....	16
FIGURA 3 – ESTRUTURA DO SOL.....	17
FIGURA 4 – RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA, MÉDIA MENSAL ($MJ.M^{-2}.DIA^{-1}$).....	19
FIGURA 5 – ESTRUTURA FÍSICA DA JUNÇÃO PN DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	22
FIGURA 6 – EFEITO FOTOVOLTAICO NA JUNÇÃO PN.	23
FIGURA 7 – MÓDULO FOTOVOLTAICO	28
FIGURA 8 – INVERSOR	28
FIGURA 9 – CONTROLADOR DE CARGA	29
FIGURA 10 – COMPONENTES DA BATERIA	30
FIGURA 11 – ESQUEMA DE UM SFCR.....	31
FIGURA 12 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO BLOCO C DA UEPB.....	33
FIGURA 13 – SIMULADOR DE INVESTIMENTO.....	40
FIGURA 14 – ECONOMIA NA CONTA DE LUZ EM 30 ANOS	40

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – USINAS FOTOVOLTAICAS EM OPERAÇÃO NA REGIÃO NORTE.....	25
TABELA 2 – USINAS FOTOVOLTAICAS EM OPERAÇÃO NA REGIÃO NORDESTE.....	25
TABELA 3 – USINAS FOTOVOLTAICAS EM OPERAÇÃO NA REGIÃO CENTRO-OESTE.....	26
TABELA 4 – USINAS FOTOVOLTAICAS EM OPERAÇÃO NA REGIÃO SUDESTE.....	26
TABELA 5 – USINAS FOTOVOLTAICAS EM OPERAÇÃO NA REGIÃO SUL.....	26
TABELA 6 – IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MÉDIA MENSAL (KWH/M ² .DIA).....	34
TABELA 7 – LEVANTAMENTO DAS CARGAS.....	35
TABELA 8 – CÁLCULO DA ENERGIA DIÁRIA DE CADA EQUIPAMENTO.....	36
TABELA 9 – CÁLCULO DA CORRENTE.....	37
TABELA 10 – CÁLCULOS DA CORRENTE DIÁRIA DE CADA EQUIPAMENTO.....	37
TABELA 11 – POTÊNCIA DO INVERSOR.....	38
TABELA 12 – ENERGIA NECESSÁRIA PARA O SISTEMA.....	38
TABELA 13 – QUANTIDADE NECESSÁRIA DE PAINÉIS.....	39
TABELA 15 – ENERGIA MENSAL.....	39
TABELA 16 – CUSTO DE ENERGIA PARA O BLOCO C.....	39

RESUMO

A energia elétrica é uma das maiores necessidades do mundo e fator chave para o desenvolvimento das nações, porém a matriz energética mundial é composta por um conjunto de fontes que causam impactos imensuráveis no meio ambiente, com isso, ao longo dos anos a energia renovável deixou de ser uma ficção e transformou-se em uma realidade consolidada, tendo em vista a necessidade de suprir a demanda energética global provocando danos mínimos ao ecossistema. Uma das fontes de energia renovável mais promissoras no país é a energia solar, que por meio das placas fotovoltaicas constituídas por células e ajustadas com o material semicondutor, converte a energia luminosa proveniente do sol em energia elétrica, em um processo conhecido como efeito fotovoltaico. O presente trabalho foi desenvolvido no Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e tem como objetivo realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica (SFCR) para o Bloco C do CCT. Durante o trabalho foi realizado o levantamento das cargas existentes em todo o Bloco C estimando a energia necessária que deverá ser suprida, bem como calculado a quantidade de painéis necessária para compor o arranjo fotovoltaico e a potência necessária do inversor, tendo em vista a redução do custo de energia elétrica para UEPB, além do retorno econômico que é um dos benefícios proporcionados pela instalação do SFCR. O Bloco C/CCT/UEPB foi verificado com um consumo médio mensal de 6.000,00 reais com a conta de energia elétrica. O investimento estimado para a implementação de 232 painéis fotovoltaicos foi de 432.000,00 reais que pode ser recuperado em até 72 meses. Portanto, a instalação do SFCR é viável, apresentando retorno garantido do investimento. Além disso, é importante ressaltar o benefício de gerar eletricidade por meio de energia solar.

Palavras-chave: Energia Elétrica, Energia Solar, Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede.

ABSTRACT

Electricity is one of the greatest needs in the world and a key factor for the development of nations, but the world energy matrix is composed of a set of sources that cause immeasurable impacts on the environment. Over the years, renewable energy has left from being a fiction and has become a consolidated reality, in view of the need to supply the global energy demand causing minimal damage to the ecosystem. One of the most promising sources of renewable energy in the country is solar energy, which through the photovoltaic panels made up of cells and adjusted with the semiconductor material, converts light energy from the sun into electricity in a process known as the photovoltaic effect. The present work was developed at the Center of Science and Technology (CCT) of the State University of Paraíba (UEPB) and aims to design a grid-connected photovoltaic system (SFCR) for Block C of the CCT. During the work was carried out the survey of the existing loads throughout Block C estimating the necessary energy to be supplied, as well as calculated the amount of panels required to compose the photovoltaic arrangement and the power required of the inverter, with a view to reducing the cost of electricity for UEPB, in addition to the economic return that is one of the benefits provided by the installation of SFCR. Block C / CCT / UEPB was verified with an average monthly consumption of 6,000.00 real with the electricity bill. The estimated investment for the implementation of 232 photovoltaic panels was 432,000.00 real that can be recovered in up to 72 months. Therefore, SFCR's installation is feasible, presenting a guaranteed return on investment. In addition, it is important to emphasize the benefit of generating electricity through solar energy.

Keywords: Electric Power, Solar Energy, Networked Photovoltaic System.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1. ENERGIA RENOVÁVEL	14
2.2. ENERGIA SOLAR	16
2.3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	19
2.3.1. <i>Energia Solar Fotovoltaica no Brasil</i>	23
2.4. SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	27
2.4.1. <i>Componentes Básicos do Sistema</i>	27
2.4.1.1. <i>Módulos Fotovoltaicos</i>	27
2.4.1.2. <i>Inversor</i>	28
2.4.1.3. <i>Controlador de Carga</i>	29
2.4.1.4. <i>Bateria</i>	29
2.5. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE ELÉTRICA.....	31
3. METODOLOGIA.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. DIMENSIONAMENTO DAS CARGAS	35
4.2. DIMENSIONAMENTO DA CORRENTE	36
4.3. DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR	38
4.4. DIMENSIONAMENTO DO ARRANJO FOTOVOLTAICO	38
4.5. ESTIMATIVA DA CONTA DE ENERGIA DO BLOCO C	39
4.6. RETORNO ECONÔMICO	40
5. CONCLUSÃO	42
6. REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

O mundo possui um sistema de desenvolvimento social e econômico em que energia elétrica é essencial para o seu funcionamento, onde as tecnologias convencionais são responsáveis pela geração de energia que dominam a matriz energética e causam diversos impactos ambientais.

Há muito tempo a humanidade vem explorando a maior parte dos recursos encontrados no planeta como um meio de atender as demandas energéticas da sociedade sem grandes preocupações com o efeito que causariam ao meio ambiente. (LANA, et al., 2016)

No momento atual, a preocupação com o meio ambiente atrelado a exploração contínua dos recursos naturais veio à tona, levando a ciência a aperfeiçoar as tecnologias alternativas provenientes das fontes de energia renovável, a fim de garantir o suprimento energético necessário para futuras gerações.

O Brasil possui em seu território grande potencial para a produção de energia elétrica por meio da energia solar. Quase todo o território brasileiro está posicionado entre a linha do equador e o trópico de capricórnio, essa localização estratégica faz da energia solar a energia renovável mais promissora no país.

Dessa forma, surge no cenário nacional a energia fotovoltaica como alternativa viável para aplicação em grande escala, ampliando a diversificação da matriz energética brasileira, aliviando o consumo dos sistemas convencionais e estimulando a população a investir na geração da própria energia, além de proporcionar as comunidades isoladas que não são atendidas pelas redes de distribuição de energia, uma excelente opção para resolver esse problema.

A energia fotovoltaica consiste na geração de energia elétrica por meio da excitação do elétron através da incidência luminosa em placas solares projetadas exclusivamente para essa finalidade. O elétron estimulado avança de uma camada para outra por meio de um material semicondutor, produzindo uma diferença de potencial e conseqüentemente ocasionando a energia elétrica.

Com avanços tecnológicos, a energia solar fotovoltaica esta cada vez mais consolidada devido à melhora da eficiência na conversão da energia luminosa em energia elétrica por meio das células fotovoltaicas, tornando-se viável a utilização dessa tecnologia.

Alguns programas do governo brasileiro como o Luz Para Todos (LPT), Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), Programa Nacional de Conservação Energética Elétrica (PROCEL) e o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), propõem-se a universalizar os serviços de distribuição de energia elétrica e incentivar o uso de sistemas fotovoltaicos oferecendo aos consumidores desse tipo de tecnologia as informações necessárias sobre seus componentes, com o objetivo de incentivar o consumo consciente e reduzir o desperdício de energia (SANTOS, 2014).

Sabendo da importância da energia renovável como fonte alternativa, tendo em vista, o desenvolvimento sustentável e a preocupação socioambiental com o futuro do planeta, este trabalho tem como objetivo realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para geração de energia e avaliar a relação custo-benefício do investimento nessa tecnologia como alternativa para reduzir os custos e suprir a demanda energética do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba. No intuito de ser atingido o objetivo geral, é necessário estipular alguns objetivos específicos:

- Levantamento de todos os equipamentos em geral que consomem energia e verificar a potência total do Bloco C do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba;
- Dimensionar o inversor de fase para a mudança de corrente contínua para alternada;
- Dimensionar a quantidade necessária de painéis fotovoltaicos;
- Calcular o investimento necessário para instalação do sistema fotovoltaico;
- Estimar o tempo necessário para o retorno do econômico do investimento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. ENERGIA RENOVÁVEL

A expressão energia renovável denota um tipo produção de energia que se renova naturalmente. O termo “renovável” indica, intrinsecamente, que os combustíveis fósseis acabarão nas próximas décadas e não será restabelecido, tendo em vista que a sua formação demanda de milhões de anos (SIMIONI, 2006).

O uso de fontes renováveis de energia teve início há séculos atrás, fazendo parte da história do homem como um método fora do comum de produzir energia, porém, foi recentemente, devido a crescente demanda energética, que essas tecnologias ganharam destaque, receberam investimentos, e com isso, avanços tecnológicos (DUPONT, et al., 2015).

Imaginando a provável escassez das fontes de energias tradicionais, sucedeu a importância das tecnologias renováveis e alternativas. Antes de tudo, é importante diferenciar os termos. Simoni (2006, p. 92) diz que:

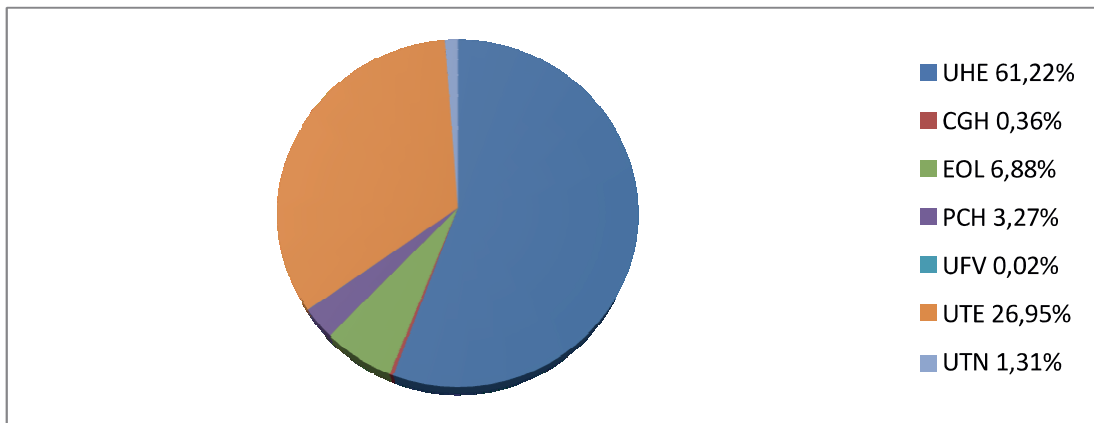
“[...]os termos “alternativa” e “renovável” muitas vezes são confundidos. Apesar de indicarem propostas ditas ambientalmente corretas, isoladamente podem não representar o que aparentam. Energia “alternativa” refere-se, em geral, àquelas formas de energia fora do padrão dominante, isto é, distinta das ligadas aos combustíveis fósseis (petróleo, carvão, gás natural e urânio). Já o termo ‘renovável’ possui conotação mais técnica, isto é, fatores de previsibilidade, como o consumo e o esgotamento das reservas conhecidas – verdadeiros ou não – indicam que os combustíveis fósseis acabarão ou se reduzirão drasticamente nas próximas décadas (petróleo e gás natural) ou séculos (carvão e urânio), e não podem ser “repostos” porque o tempo de formação de tais combustíveis se dá na escala de milhões de anos. A energia renovável (hidroeletricidade, eólica, solar, biomassa, geotérmica, dos oceanos), como o próprio adjetivo indica, se renova de forma natural (o sol, a água dos rios, marés, ondas, geotermia e ventos) ou antrópica (plantio de fontes de biomassa, utilização de dejetos de humanos e animais) [...]”.

O crescimento não pode ser separado das preocupações ambientais, visto que todo o processo de globalização, desenvolvimento social e avanço tecnológico, tiveram como ponto de partida, a exploração dos recursos naturais. Todas essas conquistas para a humanidade, apesar do lado obscuro, fizeram o homem pensar em contornar essa situação, buscando por meio do desenvolvimento sustentável, atender as demandas energéticas da população mundial.

As principais fontes de energia renovável que se tem conhecimento atualmente são a solar, eólica, geotérmica, biomassa, hidroelétrica, e dos oceanos e elas derivam do sol, água dos rios, marés, ondas, geotermia e ventos (TOLMASQUIM, 2016).

No Brasil, a maior parte da energia produzida é oriunda das Usinas Hidrelétricas (UHE), que segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017) corresponde a 61,22% de toda a capacidade instalada no país. A Central Geradora Hidrelétrica (CGH) (0,36%), Central Geradora Eólica (EOL) (6,88%), Pequena Central Hidrelétrica (PCH) (3,27%), Central Geradora Solar Fotovoltaica (UFV) (0,02%), Usina Termelétrica (UTE) (26,95%) e Usina Termonuclear (UTN) (1,31%) completam a lista dos sistemas de geração no Brasil, conforme a figura 1.

Figura 1 – Composição dos Geradores de Energia Elétrica no Brasil



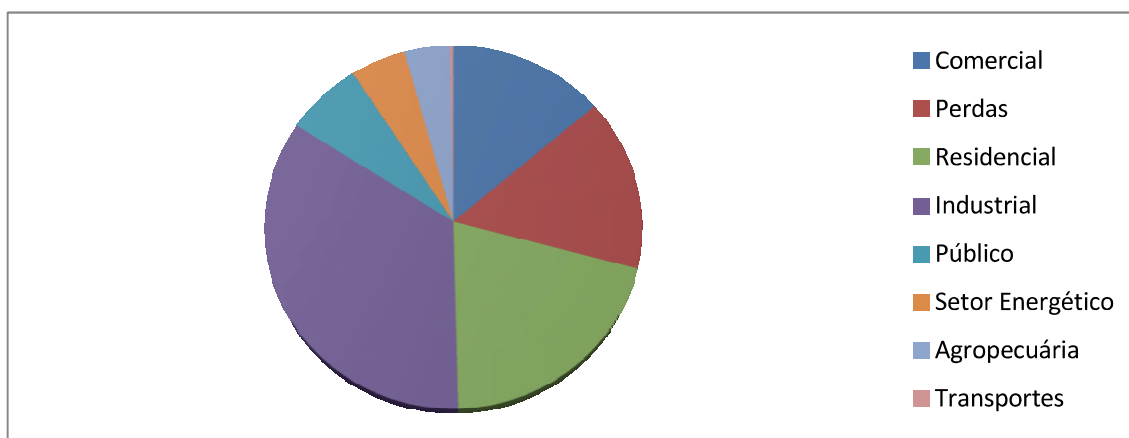
Fonte: ANEEL, 2017

Segundo Dupont, et al. 2015, apud ROGGIA et al., 2011, de um modo geral, as fontes de energia renovável representam uma pequena percentagem do total produzido ao redor mundo em comparação com as tradicionais. Existem duas maneiras do aproveitamento da energia elétrica produzida por essas fontes. Uma delas é (*on-grid*), no qual o sistema está conectado diretamente a rede, garantindo que toda a energia gerada seja automaticamente encaminhada para a rede de distribuição. A outra é (*grid-tie*), ou seja, são isoladas e autônomas, fornecendo energia suficiente para atender as cargas. Caso a energia gerada exceda, o sistema limita a potência. Caso ocorra o contrário, as cargas de menor prioridade são desligadas, garantindo que as cargas de maior importância funcionem o máximo de tempo possível.

Conforme Dupont, et al., (2015 p. 2) “Além da própria geração da energia elétrica, outro aspecto importante a ser analisado é o destino, ou consumo, dessa energia”.

No Brasil, a maior parcela de energia consumida (figura 2) é destinada as indústrias e representa pouco mais de 34% do consumo. As residências consomem cerca de 20% e ocupam a segunda posição (DUPONT, et al., 2015).

Figura 2 – Composição do Consumo Energético Brasileiro



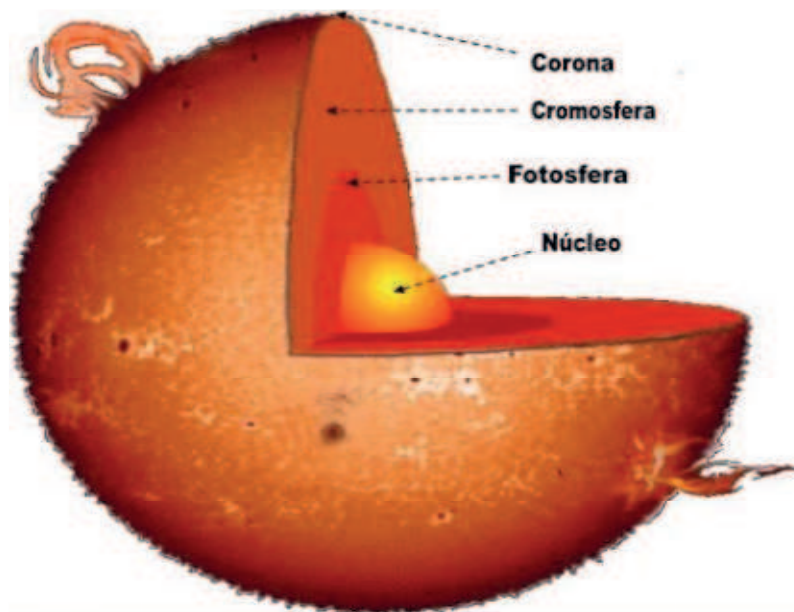
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

Os consumidores de energia elétrica também são, em contrapartida, uma das principais razões para a inserção da energia renovável no mundo moderno, depois, obviamente, do provável esgotamento dos recursos naturais. Essa preocupação ambiental, associada ao desenvolvimento sustentável, tem por objetivo facilitar o acesso às tecnologias renováveis, visando transformar o consumidor passivo em um gerador ativo com um custo relativamente acessível, mas com retorno econômico, e com isso assegurar a sociedade o suprimento energético necessário.

2.2. ENERGIA SOLAR

O Sol é uma estrela semelhante a milhares de outras existentes no cosmo. É uma fonte autossustentável de energia e emite segundo Pereira e Oliveira (2011, p. 14): “[...] cerca de $3,9 \times 10^{26}$ joule por segundo[...]”. Se o sol tivesse sua energia focalizada para a terra por um segundo o nosso país teria energia suficiente por milhares de anos (MOREIRA, 2000). A figura 3 ilustra a estrutura do sol.

Figura 3 – Estrutura do Sol



Fonte: ENERGIA SOLAR. Disponível em: <https://pt.solar-energia.net/definicoes/sol.html> >
Acesso em: 2017.

De acordo com Moreira, M. (2000, p. 1) “A fonte de energia básica do sol é a fusão nuclear. Devido às altas temperaturas e densidades do seu interior, ocorre a fusão do hidrogênio, criando energia e produzindo o hélio como um subproduto”.

A Terra recebe durante o ano cerca de $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar, porém não chega perto do consumo anual do planeta. Isso evidencia que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar é uma fonte inesgotável de energia, com alto potencial de utilização e conversão para outras fontes de energia (CEPEL-CRESESB, 2014).

Segundo Pereira e Oliveira (2011, p. 17): “A energia produzida pelo Sol transmite-se no espaço em forma de radiação eletromagnética. Esta radiação é um conjunto contínuo de ondas de diversos comprimentos de onda”.

Essas ondas eletromagnéticas são responsáveis pela evaporação e o funcionamento do ciclo da água, possibilitando o seu represamento e a geração de energia elétrica, além de impulsionar a circulação atmosférica proveniente dos ventos. Outras fontes de energia, como, petróleo, carvão e gás natural são provenientes de resquícios de plantas e animais em putrefação, e teve como força motriz, a radiação solar como um dos alicerces para o seu desenvolvimento. As

diversas reações químicas às quais a matéria orgânica foi submetida, as intempéries que atuaram por longos períodos de tempo, também utilizaram o Sol como fonte de energia. É também por meio da energia solar que a cana-de-açúcar, é capaz de fazer fotossíntese, se desenvolver, e em seguida ser transformada em combustível (PINHO, 2014).

Com os avanços tecnológicos as fontes de energias tradicionais tendem a ser substituídas por energias limpas, entretanto, não se sabe quando isso será uma regra, tendo em vista que a nossa economia depende, e muito, das fontes de energia que causam os mais diversos impactos ambientais e são prejudiciais ao equilíbrio ecológico do planeta (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011, p. 14).

O Brasil é um país que tem como principal fonte geradora de energia, a hidroelétrica, porém, o alto impacto socioambiental é um dos principais motivos que contribuem para a não realização do seu projeto. Outras fontes, como, termelétrica, petróleo, biocombustíveis, carvão mineral, gás natural e nuclear, são exploradas, porém, cada uma delas possuem suas peculiaridades no que diz respeito aos impactos ambientais em pequena, média e grande escala (TIEPOLO, 2012).

Para resolver esse problema, a energia renovável aparece como uma alternativa, uma vez que o nosso país possui energia solar, eólica e biomassa em abundância. Além de causar pouco impacto ambiental, a utilização apenas advém custos da sua manutenção, instalação e compra (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011, p. 14).

Segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil, o país possui uma incidência solar significativa em sua extensão territorial, (FRAINDERAICH, 2000), (TIBA, 2000). CASTRO (2011), nos diz que, aproveitando apenas 0,4% de área do país, é possível obter toda a energia demandada atualmente. A figura 4 apresenta a medição global diária e média mensal da radiação solar.

Figura 4 – Radiação solar global diária, média mensal ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$).



Fonte: TIBA, 2000

A geração de energia elétrica por meio das placas fotovoltaicas possuem muitas vantagens, dentre elas podemos destacar que é um sistema que funciona com uma fonte de energia em abundância, não poluidora, é economicamente competitiva, possui retorno do investimento, reduz a dependência energética das companhias, além de ser uma tecnologia madura que funciona simplesmente através de suas células convertendo a radiação solar em energia elétrica (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011, p. 14).

2.3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Segundo Zilles et al., (2012, p. 13) “A palavra “fotovoltaico” vem do grego photos, que significa luz, e de Volta, nome do físico italiano que, em 1800, descobriu a pilha elétrica”.

No século XIX, Alexandre Edmond Becquerel começou a observar os fenômenos físicos que permitiam a conversão da luz em energia elétrica, mas foi a partir do século XX, com o desenvolvimento dos semicondutores, que a indústria fotovoltaica se expandisse no mercado mundial e se disseminasse em aplicações muito especiais, como, por exemplo, produzir eletricidade no espaço e para fins militares. Com os avanços tecnológicos a geração de eletricidade passou a ser na forma distribuída ou em grandes centrais (VALLÊRA et al., 2006 e ZILLES et al., 2012).

Segundo CEPEL-CRESESB (2014), a conversão da energia luminosa em eletricidade se dá por meio das células fotovoltaicas, esse fenômeno físico é chamado de efeito fotovoltaico. De acordo com Zilles et al. (2012, p.13):

A energia absorvida por esses materiais quebra as ligações químicas entre as moléculas presentes em sua estrutura. Com isso, cargas elétricas são liberadas podendo ser usadas para realizar trabalho. O efeito fotovoltaico é uma característica física intrínseca ao material que compõem o dispositivo de conversão fotovoltaica.

A conversão fotovoltaica é possível devido à utilização de semicondutores capazes de absorver a energia solar e ceder para os elétrons. Os insumos utilizados na fabricação de dispositivos com esse intuito levam em consideração a capacidade de absorção da radiação solar, custos de fabricação e os impactos ambientais causados pela sua deposição (Zilles et al., 2012).

Segundo Pereira e Oliveira (2011, p. 202) e Zilles et al., (2012, p. 13), no mercado, existem três tipos de células fotovoltaicas. A maioria delas que estão em comércio atualmente utilizam o silício como insumo base para sua concepção, sendo encontrados na forma de silício monocristalino, policristalino e amorfo. Pereira e Oliveira (2011, p. 202) dizem ainda que:

As células de silício monocristalino obtêm-se a partir de barras cilíndricas de produzidas em fornos especiais. As células são obtidas por corte das barras em forma de pastilhas quadradas finas (0,4-0,5 mm de espessura). A sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é na ordem de 15 a 18%.

As células de silício policristalino são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão grande quantidade de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício arrefece lentamente e solidifica-se. Em seguida, os átomos se organizam num único cristal. Então, forma-se uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. A sua eficiência na fica em torno de 13 a 15%, um pouco inferior às células de silício monocristalina.

As células de silício amorfo são obtidas por meio da deposição de camadas muito finas de silício sobre a superfície de vidro ou metal. A sua eficiência na conversão da luz solar em eletricidade varia entre 5 a 7% e é considerada uma célula de segunda geração.

De acordo com CEPEL-CRESESB (2014, p. 51), 85% das células fotovoltaicas comercializadas são de silício monocristalino e policristalino, tendo em vista sua tecnologia consolidada e confiável, além de dispor da melhor eficiência em relação às outras.

Existem também outros dois tipos de células fotovoltaicas, denominadas de segunda geração. Segundo Cepel-Cresesb (2014), “são divididas em três cadeias produtivas: Silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe)”.

Por meio desses materiais é possível a fabricação de células fotovoltaicas de filmes finos, visando utilizá-los como alternativa para essa tecnologia, tendo em vista a produção em larga escala, com pouco material semicondutor, baixo custo do produto e por fim, a energia gerada.

A segunda geração apresenta diversas dificuldades associadas à disponibilidade, vida útil, rendimento das células, bem como, a toxicidade do cádmio que retarda a sua utilização em maior escala, esta geração ainda conta com menor eficiência do que a primeira e uma menor participação no mercado (CEPEL-CRESESB, 2014).

Em fase de pesquisa e desenvolvimento, testes e produção em pequena escala, a terceira geração aparece como tecnologia favorável e se apresentam e três cadeias produtivas: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (*CPV – Concentrated Photovoltaics*), células sensibilizadas por corante (*DSSC – Dye-Sensitized Solar Cell*) e células orgânicas ou poliméricas (*OPV – Organic Photovoltaics*). Dentre essas tecnologias pode-se destacar a CPV que demonstrou ser promissora para a produção de módulos com altas eficiências, embora seu custo ainda não seja competitivo com as que estão no mercado (CEPEL-CRESESB, 2014).

Para garantir a máxima eficiência dos módulos fotovoltaicos, segundo Zilles et al., (2012 p. 15): “a necessidade de se fazer uma série de tratamentos físico-químicos no material para que possa se transformar em dispositivos fotovoltaicos capazes de gerar eletricidade de forma mais eficiente”. Zilles et al., (2012 p.15) ainda diz que:

Para que as cargas liberadas pela luz possam gerar energia elétrica, é preciso que circulem, de forma que é necessário extrai-las do material semicondutor, fazendo com que passem por um circuito elétrico externo, caso contrário, os elétrons liberados retornariam ao seu estado inicial na periferia do átomo. Essa extração de cargas se consolida por meio de uma junção criada voluntariamente no semicondutor, com o objetivo de gerar um campo elétrico no interior do material. Esse campo interno se encarregará

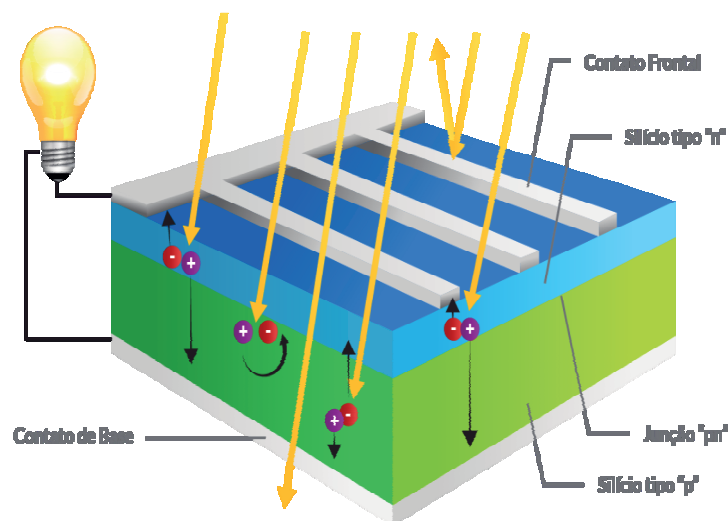
de separar as cargas negativas das positivas. Isso é possível graças ao processo conhecido como *dopagem* do semiconductor.

O silício por não apresentar uma condutividade elétrica elevada e ser o elemento mais utilizado na fabricação de módulos fotovoltaicos, faz-se necessário a dopagem do material com impurezas químicas. Esse processo acontece em duas etapas, uma com boro, no caso do silício tipo p, e outra com fósforo para o silício tipo n (SÁ, 2010).

O boro como elemento trivalente e o fósforo como elemento pentavalente, acabam estimulando o aparecimento de cargas positivas (lacunas) e negativas (elétrons) respectivamente, aumentando a condutividade do material (ZILLES et al., 2012).

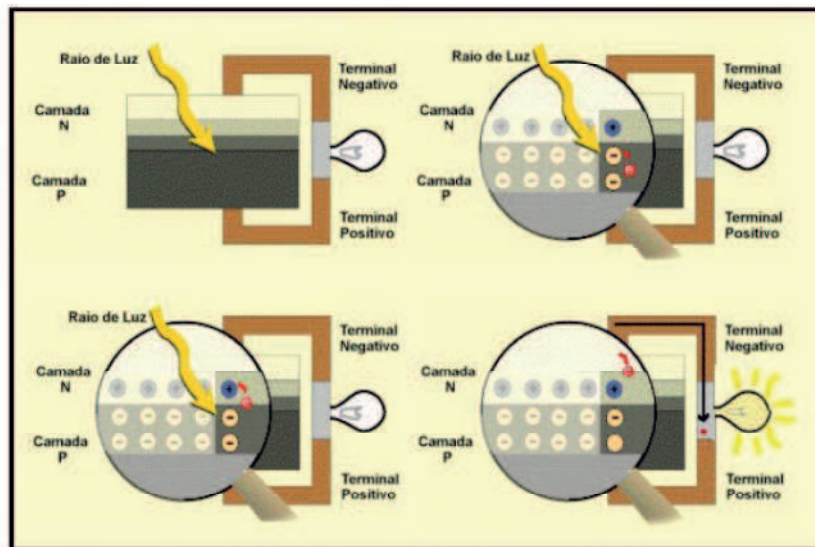
O semiconductor intrínseco (silício), no seu estado puro é dopado adicionando o elemento químico do tipo receptor (boro), levando a uma deficiência de elétrons conhecida como lacuna na banda de valência, caracterizando uma região com densidade de carga positiva e conseqüentemente a formação da região tipo p. Em seguida para a formação da região tipo n, adiciona-se o material dopante tipo doador (fósforo) que ocasiona o aparecimento de elétrons livres. Entre as regiões tipo p e tipo n, formam-se a junção p-n criando um campo elétrico interno que é responsável pela consolidação da conversão fotovoltaica, conforme ilustrado na figura 5 (ZILLES et al., 2012).

Figura 5 – Estrutura física da junção pn de uma célula fotovoltaica



Quando a luz solar incide sobre a celular fotovoltaica, o campo elétrico formado entre as camadas P e N, incita os elétrons a avançar da camada P para a N. Esse deslocamento promove uma diferença de potencial, dando origem ao Efeito Fotovoltaico (SÁ, 2010).

Figura 6 – Efeito fotovoltaico na junção pn.



Fonte: CRESESB, 2008

2.3.1. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

No Brasil a implantação da tecnologia solar fotovoltaica não fugiu do que foi aplicado em outros países ao redor do mundo. A princípio a tecnologia foi testada no meio rural, por meio das iniciativas governamentais ou de concessionárias que financiavam a instalação de sistemas fotovoltaicos autônomos, como o *Solar Home System* (SHS) ou os sistemas de bombeamento de água (ZILLES et al., 2012).

Somente no final do século 20, foi criado o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólico Sérgio de Salvo Brito (Cresesb), por meio de um convênio entre o Ministério de Minas e Energia e o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel). O Cresesb pretende apoiar os programas do Governo Federal, bem como, fornecer informações, realizar cursos e difundir conhecimento técnico e qualificado nas áreas de energia solar e eólica (CEPEL-CRESESB, 2014).

Em meados de 1995 surgiram os primeiros testes relacionados à conexão de sistemas fotovoltaicos à rede tradicional de distribuição de energia elétrica,

colocando o Brasil como tendência mundial de aplicação dessa tecnologia (ABINEE, 2012).

No início do século XXI, a China se destacou na fabricação de células e módulos fotovoltaicos, o Brasil por sua vez, não conseguiu acompanhar a evolução dessa tecnologia, comparado ao que estava acontecendo ao redor do mundo. Porém, em 2001, o Governo Federal criou o Fundo Setorial de Energia (CT-ENERG), favorecendo o crescimento de grupos de pesquisa e programas de pós-graduação (CEPEL-CRESESB, 2014).

De acordo com CEPEL-CRESESB (2014), em 2004, através de uma parceria entre o governo federal, estadual e municipal, foi criado o Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica (CB-SOLAR), que incentivou o I e II Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica (SNESF) e o desenvolvimento de tecnologias em escala piloto para fabricação de células fotovoltaicas de silício cristalino e de módulos fotovoltaicos, além de um estudo técnico-econômico pormenorizado da produção em escala industrial. Segundo Varella (2008, p. 16): “essa iniciativa teve como objetivo inserir o país entre os grandes no mercado mundial de energia solar”.

Hoje o Brasil possui diversos laboratórios em parceria com instituições pública-privadas especializados em desenvolver pesquisas na purificação de silício, células e módulos fotovoltaicos, inversores e controladores de carga, além do estudo da aplicação dessas tecnologias (JANUZZI, et al., 2009).

Entretanto, o país ainda está longe em comparação ao nível de aperfeiçoamento tecnológico das nações mais desenvolvidas (CEPEL-CRESESB, 2014). As tabelas abaixo apresentam as usinas fotovoltaicas em operação no país: na região norte (tabela 1), na região nordeste (tabela 2), na região centro-oeste (tabela 3), na região sudeste (tabela 4) e na região sul (tabela 5).

Tabela 1 – Usinas fotovoltaicas em operação na região norte

Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Município
Araras - RO	05-06-2001	20,48	Nova Mamoré – RO
Miniusina de Sobrado	23-01-2011	13,50	Novo Airão - AM
Miniusina de Aracari	14-02-2011	10,80	Novo Airão - AM
Miniusina de Terra Nova	18-02-2011	16,20	Barcelos - AM
Miniusina de Bom Jesus do Puduari	14-03-2011	18,90	Novo Airão - AM
Miniusina de Mourão	08-04-2011	13,50	Eirunepé - AM
Miniusina de Santa Maria	19-04-2011	16,20	Maués - AM
Miniusina de São Sebastião do Rio Preto	30-04-2011	10,80	Autazes - AM
Miniusina de Nossa Senhora de Nazaré	07-05-2011	10,80	Maués - AM
Miniusina de Santa Luzia	14-05-2011	16,20	Maués - AM
Miniusina de Nossa Senhora do Carmo	24-05-2011	10,80	Beruri - AM
Miniusina de São José	26-05-2011	13,50	Maués - AM
Miniusina de Santo Antônio	03-06-2011	10,80	Eirunepé – AM
Microusinas da Bemol	04-07-2015	4,32	Manaus – AM
Microusinas Durango Duarte	18-10-2015	9,72	Manaus – AM
Sertão 1	09-09-2017	30.000	João Costa - PI
Sobral 1	09-09-2017	30.000	São João do Piauí - PI

Fonte: ANEEL, 2017

Tabela 2 – Usinas fotovoltaicas em operação na região nordeste

Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Município
Pituaçu Solar	-	404,80	Salvador - BA
Sistema Híbrido de Geração de Energia Elétrica da Ilha dos Lençóis Parte 2	19-07-2008	21,06	Cururupu - MA
Tauá	01-07-2011	5.000	Tauá - CE
Ilha Grande	-	30,87	Humberto de Campos - MA
Bom Jesus da Lapa I	30-06-2017	30.000	Bom Jesus da Lapa - BA
Bom Jesus da Lapa II	30-06-2017	30.000	Bom Jesus da Lapa - BA
Lapa 3	30-06-2017	30.000	Bom Jesus da Lapa - BA
Lapa 2	30-06-2017	30.000	Bom Jesus da Lapa - BA
Ituverava 1	05-08-2017	28.000	Tabocas do Brejo Velho - BA
Fontes Solar I	02-09-2015	5.000	Tacaratu - PE
Fontes Solar II	08-09-2015	5.000	Tacaratu - PE

Sol Moradas Salitre e Rodeadouro	12-02-2014	2.103	Juazeiro - BA
Juliano Carvalho Dantas	09-04-2014	5,04	Natal – RN
Solar Alto do Rodrigues	14-05-2014	1.100	Alto do Rodrigues - RN

Fonte: ANEEL, 2017

Tabela 3 – Usinas fotovoltaicas em operação na região centro-oeste

Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Município
Fazenda Solar CENTRAL PARTICULAR ISOLADA FALLUH	01-06-2015	900	Alta Floresta - MT
	01-12-2012	1,38	Corumbá - MS

Fonte: ANEEL, 2017

Tabela 4 – Usinas fotovoltaicas em operação na região sudeste

Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Município
PV Beta Test Site	-	1,70	Barueri - SP
Tanquinho Solaris	-	1.082	Campinas - SP
IEE UFV	-	1,04	Leme - SP
IEE/Estacionamento PV Beta Test Site	15-06-2001	12,26	São Paulo - SP
IMT Sistema Híbrido Parte 2	15-06-2001	3	São Paulo - SP
Central Mineirão	-	1,70	Barueri - SP
POUSADA SAO RAFAEL	30-01-2012	0,26	Boituva - SP
TV Globo	25-04-2014	1.418,40	Belo Horizonte - MG
ALGAR TECH	10-04-2015	6	Passa Quatro - MG
CENTRAL SOLAR ITACÁ III	26-05-2017	470,40	Rio de Janeiro - RJ
DOTTERMAN & DIAS Mourão	12-02-2016	655	Uberlândia - MG
TV Globo	20-06-2016	750	Arceburgo - MG
	30-05-2017	6,40	Ipatinga – MG
	15-06-2017	7,68	Ipatinga - MG
	26-05-2017	470,40	Rio de Janeiro - RJ

Fonte: ANEEL, 2017

Tabela 5 – Usinas fotovoltaicas em operação na região sul

Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Município
Volpato Silva Neto I	01-10-2011	0,46	Curitiba - PR
Cobertura Estacionamento P1 - Renault	10-10-2012	1,70	Florianópolis - SC
Nova Aurora	25-02-2014	19,60	São José dos Pinhais - PR
MEGAWATT SOLAR	31-03-2014	3.068,23	Tubarão - SC
	24-06-2014	930	Florianópolis - SC

Ativa Solar	01-10-2015	2,25	Porto Vera Cruz - RS Santa Cruz do Sul - RS
Maxim Engenharia Elétrica	16-09-2016	2	Sertanópolis - PR
Padaria Pritsch	26-09-2016	44,10	Santa Cruz do Sul - RS
Eduardo Daltoe de Freitas	11-05-2017	3,08	Sapucaia do Sul - RS

Fonte: ANEEL, 2017

2.4. SISTEMA FOTOVOLTAICO

De acordo com JANUZZI (2009), o sistema fotovoltaico pode funcionar de duas formas: isolado ou conectado a rede. Ambos podem ser operados em conjunto com outros sistemas de geração de energia, convertendo-os em híbrido, não se restringindo apenas a geração fotovoltaica.

A escolha de como sistema fotovoltaico irá trabalhar depende das características do local onde será instalado, do cliente e da viabilidade técnica de sua instalação. Com uma gama de opções, o sistema normalmente é instalado em residências, edificações, iluminação pública e para o bombeamento de água (SHAYANI, 2006).

2.4.1. Componentes Básicos do Sistema

2.4.1.1. Módulos Fotovoltaicos

Formado por um conjunto de células fotovoltaicas conectadas em arranjos, o módulo fotovoltaico é a unidade básica do sistema, e tem por objetivo produzir tensão e corrente ao ponto de ser possível o uso convencional da energia. Normalmente, cada célula de silício gera individualmente cerca de 0,5 a 0,8V de tensão, por este motivo, é fundamental que elas estejam conectadas em série para que se alcance um nível de tensão considerável (CEPEL-CRESESB, 2014).

A quantidade de células empregadas nos módulos fotovoltaicos depende da tensão que será utilizada, simultaneamente, com a corrente elétrica estimada. As células possuem características elétricas individuais específicas em que a incompatibilidade entre elas reduz a qualidade e eficiência dos módulos, levando as células de menor fotocorrente a limitar o desempenho do conjunto, prejudicando a eficiência global do sistema devido ao efeito *mismatch* (CEPEL-CRESESB, 2014).

Figura 7 – Modulo Fotovoltaico



Fonte: Própria, 2017

Os módulos podem ser ligados em série ou em paralelo, dependendo da tensão e potência a ser usada. A ligação em série aumenta a voltagem conforme aumenta o número de módulos, e a corrente permanece constante, na paralela, ocorre o inverso, a corrente aumenta conforme o número de módulos aumenta, e a voltagem permanece a mesma. Porém, a radiação solar, intempéries, mudanças climáticas, área iluminada e a hora do dia comprometem a eficiência dos módulos para ambas as ligações (SANTOS, 2014).

2.4.1.2. *Inversor*

O inversor é um dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica convertendo a corrente contínua (c.c) em corrente alternada (c.a). Quando a luz solar incide nos módulos fotovoltaicos, a corrente elétrica produzida é do tipo contínua, entretanto, a maioria dos equipamentos que funcionam por meio da eletricidade são operados na corrente alternada, daí a necessidade do inversor de corrente, podendo ser visto na figura 8 (SANTOS W. B. dos., 2014).

Figura 8 – Inversor



Fonte: SOLAR BRASIL. Disponível em: <http://www.solarbrasil.com.br/produtos/59-inversores-off-grid>

> Acesso em: 2017.

“No caso de sistemas conectados a rede elétrica a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede e para o uso de equipamentos a tensão de saída deve ter frequência, amplitude e conteúdo harmônico compatível.” (CEPEL-CRESESB, 2014 p. 217).

2.4.1.3. Controlador de Carga

Visando regular a tensão e proteger a bateria, os controladores de carga (figura 9) trabalham de forma a evitar as cargas e descargas excessivas, garantindo o equilíbrio do sistema, e conseqüentemente, aumentando a eficiência e vida útil da bateria (CEPEL-CRESESB, 2014).

Figura 9 – Controlador de Carga



Fonte: SOLAR BRASIL. Disponível em: <http://www.solarbrasil.com.br/produtos/58-controladores-de-carga> > Acesso em: 2017.

Quando à bateria atinge o nível máximo de carga, o controlador interrompe a passagem de carga que vem dos módulos fotovoltaicos, impedindo que a mesma sobrecarregue, quando ocorre o inverso, ou seja, a bateria não está totalmente carregada, o controlador libera o fluxo de carga mantendo o sistema sempre constante e com a eficiência máxima, evitando possíveis danos, por este motivo é considerado um equipamento de segurança e indispensável nos sistemas fotovoltaicos isolados.

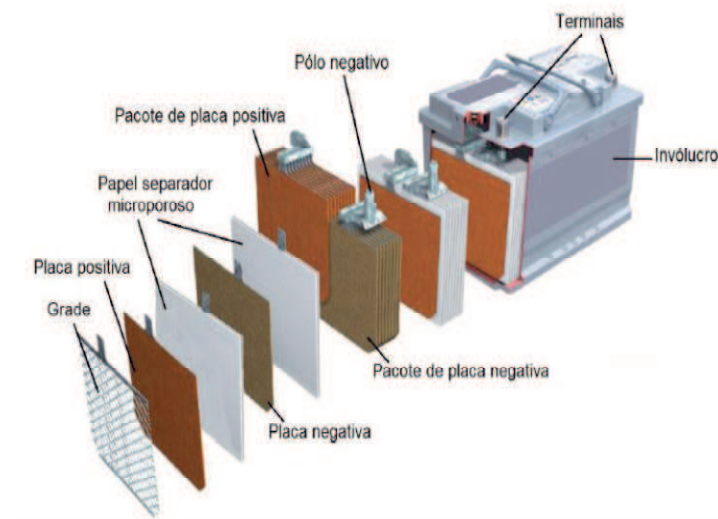
2.4.1.4. Bateria

Os dispositivos de armazenamento são indispensáveis em sistemas fotovoltaicos, dessa forma, o acúmulo de cargas é feito por baterias que guardam a energia elétrica produzida pelos módulos fotovoltaicos para posteriormente vir a ser

utilizada nos períodos em que a geração é abaixo do normal ou nula (CEPEL-CRESESB, 2014).

Composta por um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, as baterias podem ser conectadas em série ou em paralelo, onde segundo o Cepel Cresesb (2014 p. 167), “são capazes de armazenar a energia elétrica na forma de energia química por meio de um processo eletroquímico de oxidação e redução (redox) que ocorre no seu interior”. A figura 10 ilustra os componentes necessários que compõem uma bateria.

Figura 10 – Componentes da bateria



Fonte: CEPEL-CRESESB, 2014.

Existem duas categorias em que as baterias estão enquadradas: as primárias e secundárias. Seguel (2009, p. 21) diz que:

As baterias primárias são dispositivos eletroquímicos que uma vez esgotados os reagentes que produzem energia elétrica, são descartados, pois não podem ser recarregados. Já as baterias secundárias podem ser regeneradas, ou seja, através da aplicação de corrente elétrica em seus terminais pode-se reverter às reações responsáveis pela geração de energia elétrica e assim recarregar novamente a bateria.

Segundo Seguel (2009), Santos (2014) e Cepel Cresesb (2014), nos sistemas fotovoltaicos isolados são usadas às baterias secundárias, ou seja, as que podem ser recarregadas, tais como, níquel-cádmio, níquel-hidreto metálico, Íon de Lítio, dentre outras, que embora apresentem vantagens como maior eficiência, vida útil e

profundidade de descarga, a mais utilizada ainda é a chumbo ácido, devido sua viabilidade econômica em relação às demais.

2.5. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE ELÉTRICA

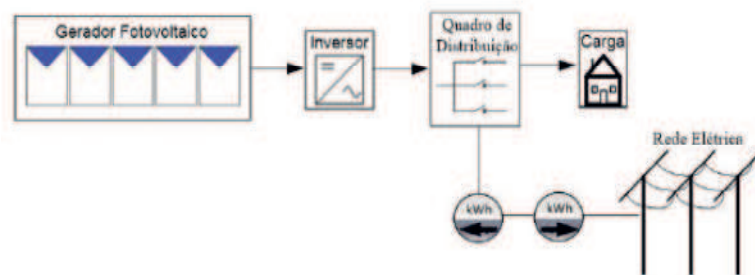
Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede Elétrica (SFCR) começaram a surgir a partir de 1990 tendo em vista que a sua instalação era mais simples e direta em comparação ao sistema isolado, por consequência disso à aplicação dessa tecnologia passou a ser mais expressiva com o passar dos anos (CÂMARA, 2011).

Segundo Cepel-Cresesb (2014, p. 289), “os SFCR dispensam o uso de acumuladores, pois a energia por eles produzida pode ser consumida diretamente pela carga, ou injetada diretamente na rede elétrica convencional”. Zilles (2012, p. 39) ainda diz que, “a energia gerada por um SFCR possui um perfil muito particular, em virtude de depender de uma fonte primária de energia que, até certo ponto, pode ser considerada previsível, mas não controlada”.

Dependendo do portador do SFCR a energia tanto pode ser vendida nos momentos em que a geração é superior ao seu consumo ou comprada quando ocorrer o contrário, ou seja, em caso de déficit a oferta é completada pela rede e em caso de excesso o saldo transferido à concessionária, gerando créditos para o consumidor. Portanto, essas unidades acabam sendo produtoras de energia (BARBOSA, et al., 2007). A figura 11 ilustra o esquema de um SFCR.

Cepel-Cresesb (2014, p. 289) complementa dizendo que, “estes sistemas são basicamente de um único tipo e são aqueles em que o gerador fotovoltaico representa uma fonte complementar ao sistema elétrico ao qual está conectado”.

Figura 11 – Esquema de um SFCR



A ANEEL regulamentou esse tipo de sistema por meio da resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, estabelecendo condições gerais para acesso de microgeração (potencia instalada menor ou igual a 100 kW) e minigeração (potência instalada superior a 100 kW, porém menor que 1 MW), porém se faltar energia o sistema automaticamente deixa de funcionar (SANTOS, 2014).

3. METODOLOGIA

O Bloco C, objeto de estudo deste trabalho e o local onde foi realizado o levantamento das cargas, faz parte do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba que esta localizada na cidade de Campina Grande com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude $7^{\circ}12'32.71''S$ e Longitude $35^{\circ}54'52.84''O$. Podendo ser vista na figura 12.

Figura 12 – Localização Geográfica do Bloco C da UEPB



Fonte: Google Earth Pro, 2017

Segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB), o município de Campina Grande recebe em média $5,95 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ de irradiação solar. O valor mínimo durante o ano é $3,94 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ no mês de julho e o máximo é de $6,08 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ no mês de novembro, para inclinação de $4^{\circ} N$ de acordo com a Tabela 6 abaixo:

Tabela 6 – Irradiação Solar Diária Média Mensal (kWh/m².dia)

ANGULO	INCLINAÇÃO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	5,47	5,39	5,31	4,83	4,42	3,86	3,83	5,08	5,22	5,89	6,08	5,69	5,09	2,25
Ângulo igual à latitude	7° N	5,25	5,27	5,30	4,95	4,63	4,07	4,02	5,26	5,27	5,79	5,85	5,43	5,09	1,83
Maior média anual	4° N	5,35	5,33	5,31	4,90	4,54	3,99	3,94	5,19	5,25	5,84	5,95	5,54	5,10	2,01
Maior mínimo mensal	27° N	4,37	4,63	4,98	4,99	4,94	4,43	4,32	5,46	5,09	5,18	4,88	4,42	4,81	1,15

Fonte: CRESESB, 2017.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. DIMENSIONAMENTO DAS CARGAS

Foi realizado um levantamento de todas as cargas existentes no Bloco C do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, bem como, também foi estimado o valor médio das potências e das horas de funcionamento de cada equipamento. Os equipamentos encontrados foram os seguintes:

Tabela 7 – Levantamento das cargas

Equipamento	Quantidade	Potencia Unitária
Lâmpada Fluorescente	352	40 W
Tomadas	174	100 W
Computadores	48	300 W
Impressoras	6	45 W
Ventilador	1	200 W
Ar condicionado	3	1300 W
TV	1	150 W

Através da quantidade de equipamentos ($N^{\circ}_{equi.}$) e o valor da potência (Pot_{un}) de cada um deles, podemos determinar a sua potência total (Pot_{tot}) através da equação 1:

$$Pot(tot) = N^{\circ}(equi) \times Pot (un) \quad \text{Eq. 1}$$

Por meio da potência total (Pot_{tot}) e as horas de funcionamento por dia (h_d) de cada equipamento, é possível calcular por meio da equação 2 a energia diária (E_d) de cada equipamento:

$$E(d) = Pot(tot) \times h(d) \quad \text{Eq. 2}$$

Com o somatório da energia diária ($\sum E_{diária}$) de todos os equipamentos, temos energia total diária (E_{td}) (equação 3) que será exigida pelo sistema fotovoltaico:

$$E(td) = \sum E(d) \quad \text{Eq. 3}$$

Tabela 8 – Cálculo da energia diária de cada equipamento

Equipamento (Pot.)	Quantidade (Und)	Potencia Total (W)	Horas de Funcionamento (Dia)	Energia Diária (W)
Lâmpada Fluorescente (40 W)	352	14.080	15h	211.200
Tomadas (100 W)	174	17.400	4h	69.600
Computadores (300 W)	48	14.400	8h	115.200
Impressoras (45 W)	6	270	2h	540
Ventilador (200 W)	1	200	4h	800
Ar Condicionado (1300 W)	3	3.900	8h	31.200
Tv (150 W)	1	150	2h	300
Total		50400 W		Σ Energia Diária 428.840,00 W

4.2. DIMENSIONAMENTO DA CORRENTE

O cálculo da corrente (A) ilustrado na tabela 9, é realizado dividindo a potência total (Pot_{tot}) pela tensão nominal do Sistema (220), conforme a equação 4:

$$C (A) = \frac{POT(tot)}{220} \quad \text{Eq. 4}$$

Através do somatório da corrente de cada equipamento (ΣA), temos a corrente total das cargas (A) representada pela equação 5:

$$C_{(tot)} (At) = \Sigma C (A) \quad \text{Eq. 5}$$

Tabela 9 – Cálculo da corrente

Equipamento (Equi.)	Tensão Nominal (V)	Potencia Total Pot. (tot)	Corrente Das Cargas (A)
Lâmpada Fluorescente	220	14.080	64
Tomadas	220	17.400	79,09
Computadores	220	14.400	65,45
Impressoras	220	270	1,23
Ventilador	220	200	0,91
Ar Condicionado	220	3.900	17,73
Tv	220	150	0,68
Corrente Total Diária			229,09 A

Com a corrente das cargas (A) e as horas de funcionamento (h) de cada equipamento é possível calcular a corrente diária (Ah) (equação 6) de cada equipamento (tabela 10):

$$\text{Corrente}_{(\text{Diária})} (\text{Ah}) = \text{Corrente das Cargas (A)} \times h \quad \text{Eq. 6}$$

Através do somatório da corrente diária (Ah), temos a corrente total diária ilustrada pela equação 7:

$$\text{Corrente}_{(\text{total diária})} = \sum \text{Corrente diária} \quad \text{Eq. 7}$$

Tabela 10 – Cálculos da corrente diária de cada equipamento

Equipamento (Equi.)	Corrente das Cargas (A)	Horas de Funcionamento (h)	Corrente Diária (Ah)
Lâmpada Fluorescente	64	15h	960
Tomadas	79,09	4h	316,36
Computadores	65,45	8h	523,64
Impressoras	1,23	2h	2,45
Ventilador	0,91	4h	3,64
Ar Condicionado	17,73	8h	141,82
TV	0,68	2h	1,36
Corrente Total Diária			1949,27 Ah

4.3. DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Com o somatório da potência total das cargas ($\sum Pot_{tot}$) foi possível determinar a potência do inversor (Pot_{inv}) conforme ilustrado na tabela 11 levando em consideração suas perdas (20%), representada pela equação 8:

$$Pot_{(inv)} = \sum Pot_{(tot)} \times 1,2 \quad \text{Eq. 8}$$

Tabela 11 – Potência do inversor

$\sum Potencia\ Total$ ($\sum Pot_{tot}$)	Perdas (20%)	Potencia do Inversor $Pot_{(inv)}$
50400 W	1,2	60480 W

4.4. DIMENSIONAMENTO DO ARRANJO FOTOVOLTAICO

Para o dimensionamento do arranjo fotovoltaico, bem como a energia necessária (tabela 12) que será produzida (E), foi utilizado os valores da corrente total diária (Ah), tensão máxima de potência (V) o fator de segurança adotado ($F_s = 0,8$) (garantia de que o sistema atenda a demanda de energia) e a quantidade de horas (h) de máxima incidência de radiação solar para uma inclinação em relação a horizontal em um mês. Os valores foram calculados de acordo com a equação 9:

$$E = \frac{Ah \times V}{F_s \times h} \quad \text{Eq. 9}$$

Tabela 12 – Energia necessária para o sistema

Corrente Total Diária (Ah)	Tensão Máxima de Potência (V)	Fator de Segurança (Fs)	Horas de Radiação Solar (h)	Energia Necessária (E)
1949,27	220	0,8	7	76.578,46 Wp

Com o resultado da energia necessária que deverá ser produzida (E) e a potência adotada para cada painel como 330 W (Pot_{painel}) é possível realizar o dimensionamento da quantidade necessária de painéis:

$$N^{\circ}\text{painéis} = \frac{E}{\text{POT}(\text{painel})} \quad \text{Eq. 10}$$

Tabela 13 – Quantidade necessária de painéis

Energia Necessária (Wp)	Potência do Painel (W)	Quantidade de Painéis (Unid.)
76.578,46 Wp	330	232

Utilizando o modelo do painel fotovoltaico Canadian de 1960 x 992 x 40 (mm) temos que a área necessária para instalação do sistema é de 451 m².

4.5. ESTIMATIVA DA CONTA DE ENERGIA DO BLOCO C

Para o cálculo da quantidade de energia mensal (E_{mensal}) (tabela 14) será utilizado valor do somatório da energia diária ($\sum E(d)$) multiplicando a quantidade de dias de funcionamento do Bloco C, de acordo com a equação 12:

$$E(\text{mensal}) = \sum E(d) \times 22\text{dias} \quad \text{Eq. 12}$$

Tabela 14 – Energia mensal

Somatório da Energia Diária $\sum E(d)$	Dias funcionamento do Bloco C (Dias)	Energia Mensal E_{mensal}
428.840,00 W	22	9.434,48 KW

Com a energia mensal (E_{mensal}) e o valor da tarifa com imposto (T) da concessionária que fornece a energia elétrica na região de Campina Grande, é possível estimar o valor da conta de energia (CE) para o Bloco C, conforme a equação 13 e a tabela 15:

$$CE = E(\text{mensal}) \times T \quad \text{Eq. 13}$$

Tabela 15 – Custo de energia para o bloco c

Energia mensal (E_{mensal})	Tarifa com imposto (T)	Conta de Energia (CE)
9.434,48 KW	0,64	6.000 R\$

4.6. RETORNO ECONÔMICO

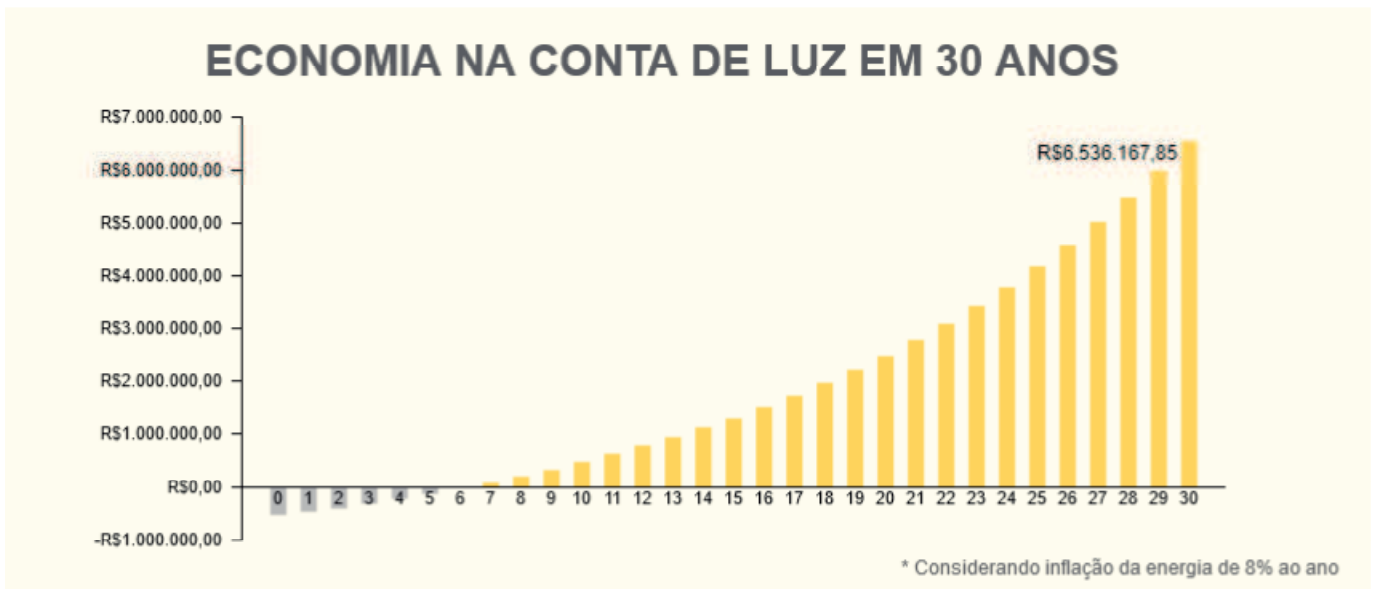
Por meio da conta de energia, podemos estimar o valor do projeto e a economia na conta de luz nos próximos 30 (trinta) anos, conforme as figuras 13 e 14:

Figura 13 – Simulador de Investimento



Fonte: Banco do Nordeste, 2017.

Figura 14 – Economia na conta de luz em 30 anos



Fonte: Neo solar, 2017.

A partir do levantamento dos dados da potência consumida pelo Bloco C/CCT/UEPB foi verificado um consumo médio mensal de 6.000,00 reais com a conta de energia elétrica.

No dimensionamento realizado para a mudança de corrente contínua para alternada, foi possível quantificar os painéis fotovoltaicos necessários para o funcionamento do Bloco C. O investimento estimado para a implementação de 232 painéis fotovoltaicos foi de 432.000,00 reais. Este valor pode ser recuperado em 72 meses, levando em consideração o reajuste anual de energia.

Os painéis fotovoltaicos possuem a garantia de aproximadamente 25 anos pelo fabricante, e 30 anos de tempo de vida útil de geração de energia elétrica, com uma baixa redução da eficiência após o final da garantia.

Portanto, a implementação do sistema fotovoltaico é viável, apresentando retorno garantido do investimento. Além disso, é importante ressaltar a economia e o benefício de gerar eletricidade por meio da energia solar.

5. CONCLUSÃO

A tecnologia fotovoltaica deixou de ser promissora e passou se tornar uma realidade que a cada vez mais está à disposição da população, assim como das comunidades isoladas que não possuem acesso à energia elétrica convencional.

Outro benefício da instalação do sistema fotovoltaico é a possibilidade de retorno econômico do investimento, isso significa que, quanto maior a conta de energia mais viável é possuir essa tecnologia, haja vista que com o passar dos anos o próprio sistema se paga.

O Bloco C da UEPB possui custos médios mensais com a conta de energia em torno de seis mil reais, levando em consideração a implementação de 232 painéis fotovoltaicos com um investimento calculado de 432.000,00 reais baseado no consumo mensal do setor, podendo ser recuperado em 72 meses após a instalação do sistema.

Portanto, podemos concluir que o sistema fotovoltaico é extremamente viável por diversos motivos, dentre eles estão à possibilidade de gerar a própria energia e no caso do Bloco C da UEPB utilizá-lo como recurso na graduação de Engenharia Sanitária e Ambiental para promover pesquisas acadêmicas, visando incentivar o uso de tecnologias renováveis na região de Campina Grande.

6. REFERÊNCIAS

ABINEE, June. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira**. Site da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. Available in <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>, 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Big – Banco de Informação de Geração. Disponível em:

<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> >

Acessado em: 30 out 2017.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa N° 687/2015**.

Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 14 de nov 2017.

BARBOSA, E. M. D. S.; SILVA, Diego O.; MELO, R. de O. Sistema fotovoltaico conectado à rede com baterias-Sistema UFPE-BRASIL. **Avances em Energías Renovables y Meio Ambiente**, v. 11, n. 1, p. 77-83, 2007.

BANCO DO NORDESTE, 2017.

CÂMARA, Carlos Fernando. Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica. **Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG**, 2011.

CAPACIDADE DE GERAÇÃO DO BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em:

<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 13 Set. 2017.

CASTRO, Rui. Uma introdução às energias renováveis: eólica, fotovoltaica e mini-hídrica. **Lisboa: Instituto Superior Técnico**, 2011.

CEPEL-CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, Edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro – Março – 2014.

COORD. TIBA. **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres**. UFPE, 2001.

DE MARTINO JANNUZZI, Gilberto; VARELLA, Fabiana KOM; GOMES, Rodolfo Dourado Maia. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil: panorama da atual legislação. International Energy Initiative para an América Latina (IEI-LA) e Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), 2009.

DUPONT, Fabrício Hoff; GRASSI, Fernando; ROMITTI, Leonardo. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 19, n. 4, p. 70-81, 2015.

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO S. BRITO. Disponível em: http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=321. Acesso em: 23 Out. 2017.

FRAINDERAICH, N. Atlas solarimétrico do Brasil: Cartas de isolinhas de radiação solar e insolação. **Atlas solarimétrico do Brasil: Cartas de isolinhas de radiação solar e insolação**, v. 3, 2000.

FUSÃO. DEPARTAMENTO DE FÍSICA NUCLEAR. Disponível em: <http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/p%C3%A1gina-de-livro/fus%C3%A3o>. Acesso em: 10 Nov. 2017.

LANA, Luana Teixeira Costa et al. energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Engenharias On-line**, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2016.

MOREIRA, Marco Antonio. Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. **Revista brasileira de ensino de física. São Paulo. Vol. 22, n. 1 (mar. 2000), p. 94-99**, 2000.

PEREIRA, Filipe A. de S.; OLIVEIRA, Manuel AS. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. **Porto: Publindústria**, 2011.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar–GTES. CEPEL–DTE–CRESESB**, 2014.

RIBEIRO, Sandro Carneiro; DO PRADO, Pedro Paulo Leite; GONÇALVES, João Bosco. Projeto e Desenvolvimento de um Rastreador Solar para Painéis Fotovoltaicos.

SÁ, Daniel Augusto Pereira de. Sistemas Fotovoltaicos Para Bombeamento De Água. Rio de Janeiro, RJ, 2010. Trabalho de conclusão de Curso, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

SANTOS, W. B. dos. Estímulos e incentivos a produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos no Brasil. 2014. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental)- Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

SEGUEL, Julio Igor López. Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital. **Master Degree Dissertation-Research Focus: Power Electronics, PPGEE-UFMG**, 2009.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, MAG de; CAMARGO, IM de T. Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In: **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (V CBPE). Brasília**. 2006.

SIMIONI, Carlos Alberto. O uso de energia renovável sustentável na matriz energética brasileira: obstáculos para o planejamento e ampliação de políticas sustentáveis. 2006.

TIBA, Chigueru. **O recurso solar no brasil—dados terrestres**. 2000. Tese de Doutorado. Tesis Doctoral, Universidade Federal de Pernambuco, PROTEN-DEN-UFPE, Pernambuco, Brasil.

TIEPOLO, G. et al. Fontes renováveis de energia e a influência no planejamento energético emergente no Brasil. In: **VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético—CBPE**. 2012.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Energia Renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. **Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética**, 2016.

VALLÊRA, Antônio M.; BRITO, Miguel Centeno. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta da física**, v. 29, n. 1, p. 10-15, 2006.

VARELLA, F. K. O. M.; CAVALIERO, Carla Kazue Nakao; SILVA, E. P. Energia solar fotovoltaica no Brasil: Incentivos regulatórios. **Revista Brasileira de Energia**, v. 14, n. 1, p. 9-22, 2008.

VARELLA, Fabiana Karla de Oliveira Martins et al. Estimativa do índice de nacionalização dos sistemas fotovoltaicos no Brasil. 2009.

ZILLES, Roberto et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Oficina de Textos, 2012.