



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE GEOGRAFIA**

**ERLANDSON BEZERRA DE OLIVEIRA**

**VIABILIDADE DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNICÍPIO DE  
CABEDELO - PB**

**JOÃO PESSOA – PB  
2015**

**ERLANDSON BEZERRA DE OLIVEIRA**

**VIABILIDADE DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNICIPIO DE  
CABEDELO - PB**

Monografia do Curso de Graduação em Geografia  
(Bacharelado) apresentado como Trabalho de  
Conclusão de Curso da Universidade Federal da  
Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza,  
orientado pelo professor Dr. Eduardo Rodrigues  
Viana de Lima, aprovada em: 11/12/2015

---

Eduardo Rodrigues Viana de Lima-Orientador

---

Bartolomeu Israel de Souza - Examinador Interno

---

Adriana de Souza Nascimento - Examinador externo

JOÃO PESSOA – PB  
2015

Catálogo na publicação  
Universidade Federal da Paraíba  
Biblioteca Setorial do CCEN  
Maria Teresa Macau- CRB15/176

O48v Oliveira, Erlandson Bezerra de.  
Viabilidade da energia solar fotovoltaica no município de  
Cabedelo-PB / Erlandson Bezerra de Oliveira. – João  
Pessoa, 2015.

66p. : il.-33  
Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade  
Federal da Paraíba.

Orientador: Profº Drº Eduardo Rodrigues Viana de Lima.  
1. Estudos sobre energia solar - Cabedelo/PB. 2. Consumo  
energético. 3. Sustentabilidade. I. Título.

UFPB/BS-CCEN

CDU:551.521.37(813.3)(043.2)

# DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho, a todos que desejem  
,aprimora-lo e desenvolve-lo sob uma  
ótica sustentável para as futuras gerações.*

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família (Mãe, Avó, Tia, Tios e Primos), por todo apoio que me deram no decorrer do curso.

Aos Professores, aos meus colegas alunos de todas as minhas turmas, que me ajudaram nos debates acadêmicos.

A turma do transporte escolar, em especial a turma do “fundão”, lembrando os que passaram, os que estão e os que passarão pelo transporte escolar, na construção de uma cidade melhor.

E a todos os amigos e parceiros do município de Cabedelo – PB que direta ou indiretamente contribuíram para a construção deste trabalho.

*“A força da alienação vem dessa fragilidade dos indivíduos que apenas conseguem identificar o que os separa, e não o que os une.”*

*Milton Santos*

## RESUMO

Na complexa dinâmica atmosférica existem vários moduladores, dentre estes moduladores, a radiação solar, se destaca como o principal. A metodologia empregada utiliza-se de fontes bibliográficas secundárias (dissertações, teses e sites) e pesquisa documental para mostrar o potencial da cidade. Este trabalho consiste em analisar a viabilidade do uso da energia solar no município de Cabedelo – PB, como alternativa sustentável de produção de energia, verificar a quantidade de radiação solar em superfície de todo território de Cabedelo através de dados coletados pelas PCDs e Investigar a quantidade de energia elétrica consumida pelo município no período de dez anos, discriminando o comportamento do consumo em face do crescimento populacional e viabilidade de uso da energia solar para suprir a demanda. Como parte dos estudos ambientais, destaca-se o uso de energias renováveis, e a ênfase deste trabalho destaca a energia solar como recurso de aproveitamento sustentável que é notoriamente renovável, justificando-se em decorrência do aumento da população e da falta de planejamento que ocasionaram o uso inadequado e ineficiente para suprir a demanda por energia. Por isso é necessário que o município cresça de forma sustentável e para isto será verificada a importância do uso da energia solar. Outro ponto importante é a questão do planejamento, que para que se obtenha um desenvolvimento urbano sustentável é de suma necessidade que haja um planejamento consistente, sendo de extrema importância para as necessidades energéticas das futuras gerações, sob a ótica da sustentabilidade, sendo um estudo dirigido à escala que compreende o município de Cabedelo – PB.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Sustentabilidade. Município de Cabedelo-PB.

## ABSTRACT

In the complex atmospheric dynamics there are several modulators, among these modulators, solar radiation, stands out as the principal. The methodology makes use of secondary literature sources (dissertations, theses and websites) and documentary research to show the potential of the city. This work is to examine the feasibility of using solar energy in the municipality of Cabedelo - PB, as sustainable alternative energy production, check the amount of solar radiation on the surface of all Cabedelo territory through data collected by the PCDs and investigate the amount of electricity consumed by the municipality in ten years, describing the behavior of consumption in the face of population growth and solar energy use of the possibility to meet demand. As part of the environmental studies, we highlight the use of renewable energy, and the emphasis of this work highlights the solar energy as sustainable use feature that is notoriously renewable, justifying due to the increase of population and lack of planning that led inadequate and inefficient use to meet energy demand. Therefore it is necessary that the municipality grow sustainably and for this the importance of the use of solar energy will be checked. Another important point is the issue of planning, which in order to obtain sustainable urban development is of the utmost necessity that there is a consistent planning, being of utmost importance to the energy needs of future generations, from the perspective of sustainability, being a directed study scale comprising the municipality of Cabedelo - PB.

Keywords: Photovoltaic solar energy. Sustainability. Cabedelo-PB.

**SUMÁRIO**

	<b>Pag.</b>
<b>CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO</b>	14
1.1 Problematização	16
1.2 Justificativa	19
1.3 Objetivos	19
<b>CAPITULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	21
2.1 Radiação	25
2.2 Fluxo, irradiância e emitância	26
2.3 Efeito Fotovoltaico	28
2.4 Evolução e Composição dos Módulos Fotovoltaicos	30
2.5 Instalação e Segurança	37
<b>CAPITULO 3 – METODOS E MATERIAIS</b>	40
3.1 Procedimentos metodológicos	41
<b>CAPITULO 4 – RESULTADOS</b>	42
4.1 Panorama atual	43
Conclusão	58
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	59
<b>5 ANEXOS</b>	61
5.1 RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012	62
5.2 Cabedelo – Consumo de Energia (MWh)	68

## LISTA DE ABREVIATURAS

**AC** - Corrente Alternada

**ANEEL** - Agencia Nacional de Energia Elétrica

**AM** - *Air Mass*

**APP** - Área de Preservação Permanente

**BCSC** - *Buried Contact Solar Cells*

**CA** - Corrente Alternada

**CC** - Corrente Continua

**CGEE** - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

**CHESF** - Companhia Hidroelétrica do São Francisco

**CRESESB** - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Salvo de Brito

**CO<sub>2</sub>** - Dióxido de carbono

**DC** - Corrente Continua

**ENERGISA** – Distribuidora de Energia S/A

**EPE** - Empresa de Pesquisa Energética

**GT- GDSF** - Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**ICMS** - Imposto sobre Mercadorias e Prestação de Serviços

**IEA** - International Energy Agency

**IEI – LA** - International Energy Initiative para a América Latina

**INMET** - Instituto Nacional de Meteorologia

**INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**IPI** - Imposto sobre Produtos Industrializados

**kWp** - Quilowatt-pico

**LABSOLAR** - Laboratório de Energia Solar

**MCT** - Ministério de Ciência e Tecnologia

**MME** - Ministério de Minas e Energia

**MW** - *MegaWatt*

**NEB** - Nordeste Brasileiro

**OMM** - Organização Meteorológica Mundial

**PCD** - Plataforma Coletora de Dados

**PNUMA** - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

**PRODEEM** - Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios

**P&D** - Planejamento e Desenvolvimento

**SF** - Sistemas Fotovoltaicos

**SFCR** - Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

**Si** - Silício

**SONDA** - Sistema de Organização Nacional de Dados

**SWERA** - *Solar and Wind Energy Resource Assessment*

**UC** - Unidades de Conservação

**UFPE** - Universidade Federal de Pernambuco

**UFSC** - Universidade Federal de Santa Catarina

**V** - Volt

**W** - Watt

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 - Espectro eletromagnético	26
Figura 2 - A radiação media anual no mundo	28
Figura 3 - Air Mass	29
Figura 4 - Esquema de um sistema fotovoltaico ligado à rede	36
Figura 5 - Módulos fotovoltaicos	39
Figura 6 - Evolução do crescimento populacional em Cabedelo – PB	44
Figura 7 - Consumo residencial de energia no município de Cabedelo – PB	45
Figura 8 - Consumo de energia na iluminação pública no município de Cabedelo – PB	45
Figura 9 - Consumo de energia na indústria e comercio no município de Cabedelo – PB	45
Figura 10 - Consumo de energia do poder público no município de Cabedelo – PB	46
Figura 11 - Radiação global horizontal em Natal – RN (01/2015)	47
Figura 12 - Radiação global horizontal em Natal – RN (12/2014)	47
Figura 13 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (10/2014)	48
Figura 14 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (11/2014)	48
Figura 15 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (12/2014)	49
Figura 16 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (01/2015)	49
Figura 17 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (02/2015)	50
Figura 18 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (03/2015)	50
Figura 19 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (04/2015)	51
Figura 20 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (05/2015)	51
Figura 21 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (06/2015)	52
Figura 22 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (07/2015)	52
Figura 23 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (08/2015)	53
Figura 24 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (09/2015)	53

Figura 25 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (10/2015)	54
Figura 26 - Gráfico de Normais Climatológicas/ João Pessoa – PB	54
Figura 27 - Custo de geração de energia fotovoltaica no mundo com o passar do tempo	56

## LISTA DE TABELAS

	<b>Pág.</b>
Tabela 1 - Quantidade de radiação por unidade de área ( $dQ/dA$ )	27
Tabela 2 - Fluxo de radiação por unidade de área ( $d^2Q/dAdt$ )	27
Tabela 3 - Representação dos eventos-chave no desenvolvimento das células solares	32
Tabela 4 - Rendimento elétrico comparado das várias tecnologias do silício	34
Tabela 5 - Capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos e potencial solar na Alemanha, Espanha e Brasil	37
Tabela 6 - Especificações de um módulo fotovoltaico	57

# ***CAPITULO I***

---

## ***INTRODUÇÃO***

Na complexa dinâmica atmosférica existem vários moduladores e dentre estes moduladores, a radiação solar se destaca como o principal dinamizador, fornecendo a energia necessária e impulsionando os movimentos de circulação atmosférica, assim, equilibrando o clima do planeta. Essa energia abundante e essencial para todos os seres vivos é assimilada desde a fotossíntese das plantas até o uso em células fotovoltaicas produzidas pelo homem, convertendo a radiação solar em energia elétrica. (SANTOS, Roque Magalhães dos, 2014).

Tal energia é gerada pelo Sol e seu uso é inesgotável na escala terrestre de tempo, e hoje é sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios de um mundo que necessita cada vez mais de energia. Falando em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. De modo geral, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia do Sol. (SANTOS, Roque Magalhães dos, 2014).

É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a conseqüente geração de eletricidade (hidroeletricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento a partir da radiação solar. As reações químicas às quais a matéria orgânica foi submetida a altas temperaturas e pressões, por longos períodos de tempo, também utilizaram o Sol como fonte de energia. É também por causa da energia do Sol que a matéria orgânica, como a cana-de-açúcar, é capaz de se desenvolver, fazer fotossíntese, para, posteriormente, ser transformada em combustível nas usinas. (DIENSTMANN, Gustavo, 2009).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade do uso da energia solar e discutir perspectivas que possam promover o uso de uma fonte de energia tão fundamental para os seres vivos e de extrema importância para as necessidades energéticas das futuras gerações, sob a ótica da sustentabilidade, sendo um estudo dirigido à escala que compreende o município de Cabedelo – PB.

O município de Cabedelo – PB possui área de 31,915 km<sup>2</sup> (IBGE), localizado no litoral norte paraibano e compõe a região metropolitana de João Pessoa. É predominantemente urbano, mas possui uma grande área de cobertura vegetal, composta por duas Unidades de Conservação (UC) e extensos fragmentos de manguezal, considerados pela legislação como Área de

Preservação Permanente (APP), sendo parte do bioma da Mata Atlântica Possui uma população de 57.944 habitantes (IBGE, 2010) e nele está localizado o porto do Estado da Paraíba.

### **1.1 Problematização**

Pode-se observar que o aumento da demanda energética, aliado a possibilidade de redução da oferta de combustíveis convencionais e a crescente atenção dada à degradação ambiental, está motivando a comunidade científica a pesquisar e desenvolver tecnologias para o aproveitamento de fontes alternativas de energia que sejam menos poluentes, renováveis e que minimizem os impactos ambientais (PEREIRA ET AL., 2006).

No Brasil existe um grande desafio para as próximas décadas, na luta para atender as crescentes demandas de serviços de energia e, ao mesmo tempo, satisfazer critérios econômicos, segurança de suprimento, saúde pública, garantia de acesso universal e sustentabilidade ambiental. As crescentes pressões ambientais sobre a exploração do potencial hidráulico localizado na região amazônica e os recursos energéticos cada vez mais distantes dos centros de carga são alguns elementos que se colocam para se buscar novas soluções. (IEI, 2009).

A sustentabilidade significa a possibilidade de se obterem condições iguais ou superiores de vida em dado ecossistema continuamente, visando à manutenção do sistema de suporte da vida. Sendo assim, relaciona-se com a melhor qualidade da vida das populações, a partir da capacidade de suporte dos ecossistemas (CÂNDIDO, 2010).

Para satisfazer esses critérios, significativos esforços de políticas públicas para inserção de novas tecnologias, P&D e demonstração deverão ser iniciados imediatamente para atender a esperada demanda de energia em 2030-2050. (ANEEL, 2015).

Uma das apostas que está sendo feita em vários países é o uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR). Apesar de ainda ser uma solução cara atualmente frente a outras soluções, é a tecnologia que apresenta a maior taxa de crescimento e queda nos custos. Além do ganho de escala e efeitos de aprendizado, os avanços tecnológicos e novas descobertas são bastante promissores para baratear ainda mais os seus custos. Prevê-se que a energia gerada através desses sistemas se tornará competitiva com as tarifas de eletricidade pagas pelos consumidores europeus entre 2010 e 2020 e com os custos médios de geração depois de 2030. (IEI, 2009).

No Brasil, pouco tem sido feito na promoção do uso da energia solar fotovoltaica. A resolução normativa nº 482/2012: *Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração*

*e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.*

Apesar de o país dispor de um grande potencial de energia solar, até então os poucos programas criados com tal finalidade pouco incentivaram a criação e consolidação de um mercado para o uso desta tecnologia no país e o desenvolvimento da indústria nacional de equipamentos e serviços.

Na busca desafiadora de fazer uma relação entre o homem e o ambiente, a Geografia se lança como uma das ciências mais preocupadas e engajadas no debate sobre questões ambientais e políticas, caracterizando-se pela interdisciplinaridade; engloba aspectos naturais, sociais e das humanidades. Segundo BAYLISS – SMITH E OWENS (1996, p.125): “*“ Ambiente” é um campo amplo e diversificado e não precisamos reiterar a maneira como as questões ambientais galgaram a uma posição de destaque na agenda política, tanto nacional como internacionalmente, durante as últimas décadas.*” Como parte dos estudos ambientais, destaca-se o uso de energias renováveis, e a ênfase deste trabalho destaca a energia solar como recurso de aproveitamento sustentável que é notoriamente renovável.

Diante deste recurso altamente sustentável, países como Alemanha, Estados Unidos e Espanha despontam como os maiores detentores de Usinas Termossolares do planeta, seguidos por sua vez por Portugal, Índia e China, este último com grandes avanços recentes, se tornando em pouco tempo o primeiro na produção dessa energia.

No Brasil, a falta de iniciativas políticas de inovação tecnológica eleva o custo da energia, impossibilitando um maior avanço, mesmo possuindo a maior quantidade de radiação solar do mundo. A energia solar no País é representada por apenas 0,01% de sua capacidade instalada. (ANEEL, 2015).

Nos últimos anos, mesmo tímidos, os recursos voltados para a produção dessa energia vêm crescendo, a exemplo do estado da Paraíba que trabalha na construção de duas Usinas Termossolares, sendo uma delas na cidade de Coremas.

A potência total instalada de sistemas conectados à rede no mundo vem crescendo significativamente ao longo dos anos. Somente em 2007 tais sistemas foram responsáveis por 94% do total instalado, ou seja, os 6% restantes corresponderam aos sistemas autônomos. Os custos em 2006, quando comparados com 1975, são oito vezes menores. Passaram de US\$ 30/Wp (Tolmasquim, 2003) para US\$ 3,75/Wp. (IEA-PVPS, 2006). As políticas públicas são as

principais responsáveis por essa significativa evolução da capacidade instalada e da redução dos custos experimentada no mundo, mesmo sendo ainda uma energia cara quando comparada às tecnologias convencionais e às tarifas de eletricidade praticadas atualmente. (ANEEL, 2015).

A experiência nacional evidencia que o Brasil vem tentando introduzir ao longo dos anos o uso da energia solar fotovoltaica através de programas de incentivo, sendo o maior deles o PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios). Mesmo embora se possa afirmar que uma gama de equipamentos para aplicação em sistemas fotovoltaicos esteja isenta de impostos como o ICMS, essa condição, por si só, não estimulou o seu uso. (IEI, 2009).

O Plano Nacional de Energia 2030 não contemplou, dentro do horizonte de 25 anos do estudo, a utilização da energia solar fotovoltaica como opção de atendimento da demanda, mesmo que marginal, na contramão da tendência mundial. (EPE, 2007). Os custos são comumente apontados como uma das principais barreiras. O custo dos SFCR no Brasil varia de 800 a 900 R\$/MWh (Zilles, 2008a).

Apesar dos custos elevados, a experiência internacional tem mostrado que políticas públicas são responsáveis pela introdução dessa tecnologia no mercado, trazendo benefícios importantes como redução dos custos, geração de emprego, desenvolvimento da indústria local de equipamentos e serviços, redução das emissões de gases de efeito estufa e da dependência de combustíveis fósseis. (IEI, 2009).

As principais barreiras existentes ao longo de todos esses anos ao desenvolvimento desse mercado no Brasil é que a energia solar fotovoltaica não tem sido contemplada efetivamente por políticas públicas específicas de longo prazo, pela legislação em vigor específica para energia solar fotovoltaica e por garantias de sustentabilidade dos sistemas (operação e manutenção), apesar do país possuir um vasto potencial para sua aplicação. (IEI, 2009).

Contudo, nos últimos anos a energia solar fotovoltaicos tem sido vista internacionalmente como uma tecnologia bastante promissora e as experiências internacionais apresentam importantes contribuições para análise sobre a expansão do mercado, ganhos na escala de produção e redução de custos para os investidores (VIANA, 2011).

Ainda segundo Viana (2011), a demanda mundial de energia primária é projetada em um cenário para expandir em quase 60% entre 2002 a 2030, tendo cerca de um aumento anual

médio de 1,7% por ano. Segundo pesquisas, chegará ao equivalente a 16,5 bilhões de toneladas de petróleo em comparação com 10,3 bilhões em 2002. Entretanto, os combustíveis fósseis ainda continuarão a dominar o uso de energia global até meados de 2025.

No final de 2008, duas importantes iniciativas foram tomadas no âmbito do governo federal, fazendo com que a energia solar fotovoltaica entrasse com mais força nas discussões nacionais. Criou-se, no âmbito do Ministério de Minas e Energia (MME), o Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos (GT-GDSF).

O GT-GDSF tem como finalidade elaborar uma proposta de política de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede elétrica, em particular em edificações urbanas, como fator de otimização de gestão da demanda de energia e de promoção ambiental do país, em curto, médio e longo prazo. A segunda iniciativa partiu do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), que encomendou ao Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) um estudo propositivo de recomendações para subsidiar a formulação e implantação de políticas de incentivo à inovação tecnológica e à participação industrial do Brasil no mercado de silício de grau solar e de energia solar fotovoltaica a partir de opiniões de especialistas sobre a importância socioeconômica do tema no horizonte de 2010-2025. (IEI, 2009).

## **1.2 Justificativa**

O tema justifica-se em decorrência do aumento da população e da falta de planejamento que ocasionaram o uso inadequado e ineficiente para suprir a demanda por energia. Por isso é necessário que o município cresça de forma sustentável e para isto será verificada a importância do uso da energia solar.

Diante do exposto, a presente pesquisa tem os seguintes objetivos:

## **1.3 Objetivos**

Analisar a viabilidade do uso da energia solar no município de Cabedelo – PB, como alternativa sustentável de produção de energia.

GERAL

## ESPECIFICOS

- Verificar a quantidade de radiação solar em superfície de todo território de Cabedelo através de dados coletados pelas PCDs.
- Relacionar as possíveis áreas de instalação de painéis fotovoltaicos no município de Cabedelo – PB.
- Investigar a quantidade de energia elétrica consumida pelo município no período de dez anos, discriminando o comportamento do consumo em face do crescimento populacional e viabilidade de uso da energia solar para suprir a demanda.

## ***CAPITULO 2***

---

### ***FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA***

Neste capítulo será abordada a base climática para início da pesquisa, que implica em entender o comportamento da energia solar (radiação) e verificar a quantidade de radiação solar em superfície de todo território cabedelense, através de dados coletados pelas PCDs. Neste processo, iremos discutir as premissas básicas da radiação solar, e sua disposição para obtenção de energia solar fotovoltaica, tendo como escala, o município de Cabedelo-PB.

O referencial teórico deste projeto está embasado na consulta de literaturas voltadas aos estudos climatológicos e meteorológicos em virtude da posição geográfica do Estado da Paraíba, que fica no NEB (Nordeste Brasileiro), seu território está contido na região tropical sul da Terra e sua proximidade com a linha do equador serve de estímulo para a investigação dos níveis de irradiação solar incidente em superfície, em específico o município de Cabedelo, alvo desta pesquisa. Os dados referentes a Cabedelo serão coletados para aperfeiçoar e ou eventualmente no futuro dar um melhor uso, na produção e no emprego dos equipamentos fotovoltaicos específicos para este município e adjacências.

Com base nos dados existentes, a região Nordeste do Brasil apresenta registros de temperaturas elevadas durante todo o ano e as amplitudes térmicas máximas observadas são em torno de 6° (FERREIRA; MELLO, 2005).

Um obstáculo considerável para um correto levantamento dos níveis de radiação solar incidente em superfície é a disponibilidade de informações confiáveis necessárias para entender a sua distribuição sazonal e espacial assim como a influência do clima em sua variabilidade (COSTA, 2012; MARTINS; PEREIRA, 2011).

Existem equipamentos destinados a medir e fazer estimativas dos níveis de radiação solar em superfície, os piranômetros, sensores específicos para essas medições, existem também equipamentos como os heliógrafos e actinógrafos, que, por sua vez, possuem grau de incerteza maior que os piranômetros e estão se tornando obsoletos. A instalação e operação destes equipamentos possuem custo elevado e, adicionado à necessidade de manutenção periódica e uma localização adequada, a utilização desses sensores pode dificultar ou até mesmo inviabilizar projetos que dependam dessas medidas (MARTINS; PEREIRA, 2011; GUARNIERI et al., 2006).

Existem projetos que atuam no sentido de melhorar a pesquisa científica, aperfeiçoando a qualidade das medidas dos dados solarimétricos, tornando-os mais confiáveis para trabalhos e pesquisas científicas ligadas a ciências naturais e aeroespaciais, fornecendo e ampliando o

suporte aos sensores que compõem redes de Estações Meteorológicas de Observação de Superfície Automáticas, as PCDs (Plataforma Coletora de Dados). Esses projetos estão aliados a metodologias que qualificam e tratam os dados coletados pelas PCDs, movidos com investimentos em modelos computacionais de desenvolvimento e pesquisas que utilizam-se de dados meteorológicas e de satélites para estimar a irradiação solar em superfície. (SANTOS, Roque Magalhães dos, 2014).

No Brasil, podem-se destacar dois projetos; o projeto SONDA e o projeto SWERA, que objetivam a coleta e o controle de qualidade dos dados a nível nacional, com a geração de mapas, sendo organizados e disseminados a nível nacional e internacional.

Projeto SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados) – Financiado pelo FINEP e mantido pelo INPE através do suporte financeiro da Petrobras, é um projeto ainda em andamento ligado à área de pesquisa em clima e meteorologia, todavia verifica-se uma vertente desse projeto direcionada ao suporte de atividades na área de energias renováveis. O projeto tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma base de dados completa, integrada e de alta confiabilidade que contemple as necessidades dos setores da sociedade envolvidos com a pesquisa, o desenvolvimento, o planejamento e o investimento em uso e aplicações no setor energético (MARTINS et al., 2005). Mais informações em: <http://sonda.ccst.inpe.br/>.

Projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) – Financiado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) teve como objetivo fundamental facilitar a inclusão de fontes de energia renovável na matriz energética de um grupo de países-piloto selecionados para esse projeto. O projeto contou com a colaboração de treze países divididos em três grupos regionais: África, América Latina e Ásia. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) foi responsável pela coordenação das atividades do projeto para o Brasil e para a América Latina (MARTINS et al., 2005). Mais informações em: <http://en.openei.org/apps/SWERA/>.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é responsável pela operação de uma malha de estações medidoras e disponibiliza para a consulta de mapas com a distribuição espacial das PCDs distribuídas por toda a extensão territorial brasileira que pode ser consultado aqui: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/mapaEstacoes>.

Sistemas Fotovoltaicos (SF) podem ser classificados em três categorias principais: isolados, híbridos ou conectados à rede. A utilização de cada uma dessas opções dependerá da

aplicação e/ou da disponibilidade de recursos energéticos. Para maior abrangência e viabilidade, o Sistema Fotovoltaico escolhido neste trabalho são os conectados à rede, pois visam uma maior perspectiva econômica, sendo mais rentável que os sistemas autônomos e extremamente compatíveis com a geomorfologia do município.

A ficha de registro de dados do edifício deverá incluir as especificações do sistema: orientação, inclinação, área disponível, tipo de montagem, sombreamentos, comprimento dos cabos, localização do inversor. Com base nestas especificações, é selecionado o módulo que irá ser instalado. As especificações técnicas do módulo escolhido determinam os passos seguintes do dimensionamento do sistema. Primeiro, será determinado o número de módulos que podem ser instalados na área disponível. Este número permitirá determinar de forma aproximada a potência total do sistema fotovoltaico. Pela regra empírica, 1 kWp = aproximadamente 10 m<sup>2</sup> de área fotovoltaica. (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

As energias renováveis são fontes de energias que se sustentam, são extraídas de recursos naturais que não se esgotam, compondo dinâmicas e ciclos, criando assim, conceitos de sustentabilidade. Segundo o relatório da comissão Bruntland “Our common future”, apresentado em 1987, “... desenvolvimento sustentável consiste em satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas próprias demandas.”.

Existem alguns tipos de obtenção de energia limpa e renovável, tais como: a hidráulica, dos mares, das ondas, a eólica e geotérmica que de fato são formas indiretas de energia solar ou energia eólica que por sua vez pode ser utilizada de forma direta, como fonte de energia térmica, para o aquecimento de fluidos e ambientes, podendo ainda ser convertida em energia elétrica por meio de efeitos sobre determinados materiais, destacando o termoelétrico e o fotovoltaico. A conversão da radiação solar em eletricidade foi descoberta por acaso, por Alexandre Edmond Becquerel, físico francês, que em 1839 observou o efeito fotovoltaico com a experiência com o paramagnetismo do oxigênio líquido, conduzindo experiências eletroquímicas. Ele verificou que a exposição à luz em eletrodos de platina ou de prata davam origem ao efeito fotovoltaico, e essa descoberta foi evoluindo com o passar do tempo sendo utilizados novos materiais, tais como o selênio e o ouro. Só então em 1954 a primeira célula solar foi formalmente apresentada na reunião anual da National Academy of Sciences, em Washington, e anunciada numa conferência de imprensa no dia 25 de Abril, no ano seguinte a célula de silício viu a sua primeira aplicação

como fonte de alimentação de uma rede telefônica em Americus, na Geórgia. (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

No Brasil, as pesquisas sobre energia solar começaram timidamente nos anos 70, entretanto devido a matriz energética brasileira ser composta ainda hoje por hidroelétricas, 70,6% (BRASIL 2015) as pesquisas a respeito da energia solar se intensificaram a partir da década de 1990, onde a preocupação com o meio ambiente e a busca por energias renováveis tornaram-se temas de grande interesse visto que o Brasil possui grande potencial de produção de energia fotovoltaica, coube a pesquisadores esforços mais recentes e efetivos de avaliação da disponibilidade de radiação solar, destacam-se as seguintes:

“a) Atlas Solarimétrico do Brasil, iniciativa da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE e da Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF em parceria com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Salvo de Brito – CRESESB.

b) Atlas de Irradiação Solar no Brasil, elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e pelo Laboratório de Energia Solar – LABSOLAR, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.” Fonte: Energia Solar 3

Nos dias atuais percebemos muito bem o quanto o Sol é importante nos processos de sustentação da vida em nosso planeta, este por sua vez emite radiação atingindo a Terra de forma constante chamada de radiação eletromagnética, alimentando processos dinâmicos, químicos e térmicos, onde estes processos ocorrem tanto na superfície dos oceanos e continentes quanto na nossa atmosfera. (SANTOS, Roque Magalhães dos, 2014).

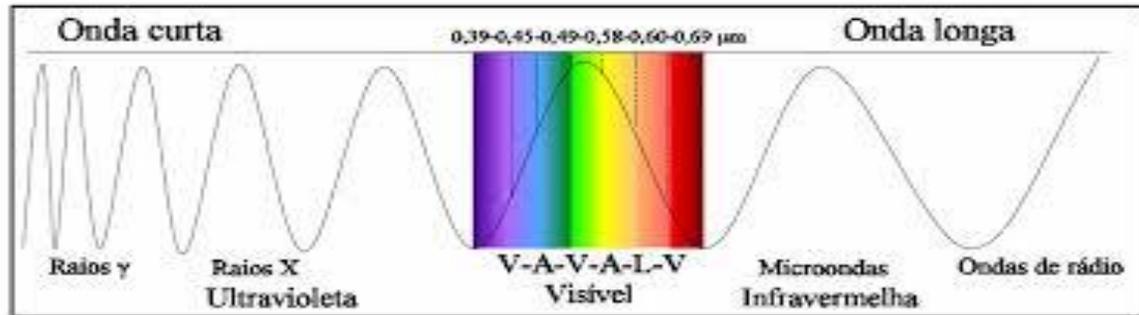
A energia que recebemos do Sol, se propaga pelo espaço através de ondas eletromagnéticas e esta energia é convertida por meio da interação da radiação eletromagnética com a matéria e seu aspecto ondulatório é particularmente interessante a Meteorologia (VAREJÃO, 2006).

## **2.1 Radiação**

Radiação ou energia radiante é a energia que se propaga, sem que haja necessidade da presença de meio material, este termo também é aplicado para designar o próprio processo de transferência desse tipo de energia. A real natureza da radiação é, sem dúvida, algo de grande permanência na investigação científica da física moderna. A energia radiante, dependendo da experiência conduzida, ora se comporta como onda eletromagnética, ora revela de natureza corpuscular (fóton), e tais propriedades coexistem e se completam, referindo-se à escala

subatômica. Sob a ótica ondulatória, a radiação se caracteriza pelo comprimento da onda, ou pela frequência de oscilação, sendo o produto do comprimento da onda pela frequência de oscilação da radiação, que é igual à velocidade de propagação da luz no vácuo. (VAREJÃO, 2006).

Fig. 1 - Espectro eletromagnético



[www.geografia.fflch.usp.br](http://www.geografia.fflch.usp.br)

## 2.2 Fluxo, irradiância e emitância

Para uma maior compreensão da radiação solar, é preciso entender o comportamento da energia radiante e seu fluxo, sendo este a quantidade de energia radiante recebida, transmitida ou emitida por unidade de tempo.

Internacionalmente, para exprimir o fluxo radiante, usa-se o watt (W) como unidade de medida. O fluxo de radiação por unidade de área costuma-se chamar densidade de fluxo radiante. As unidades radiativas mais comuns e os respectivos fatores de conversão são mostrados na tabela 1 e 2.

\*Tabela 1- Quantidade de radiação por unidade de área(dQ/dA)

UNIDADE	J cm <sup>-2</sup>	Cal cm <sup>-2</sup>	mWh cm <sup>-2</sup>
1J cm <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	2,39x10 <sup>-5</sup>	2,78x10 <sup>-5</sup>
1erg cm <sup>-2</sup>	10 <sup>-7</sup>	2,39x10 <sup>-8</sup>	2,78x10 <sup>-8</sup>
1cal cm <sup>-2</sup>	3,6	0,861	1
1mWh cm <sup>-2</sup>	4,19	1	1,163

Fonte: O.M.M. 1971

\*Tabela-2 Fluxo de radiação por unidade de área (d<sup>2</sup>Q/dAdt)

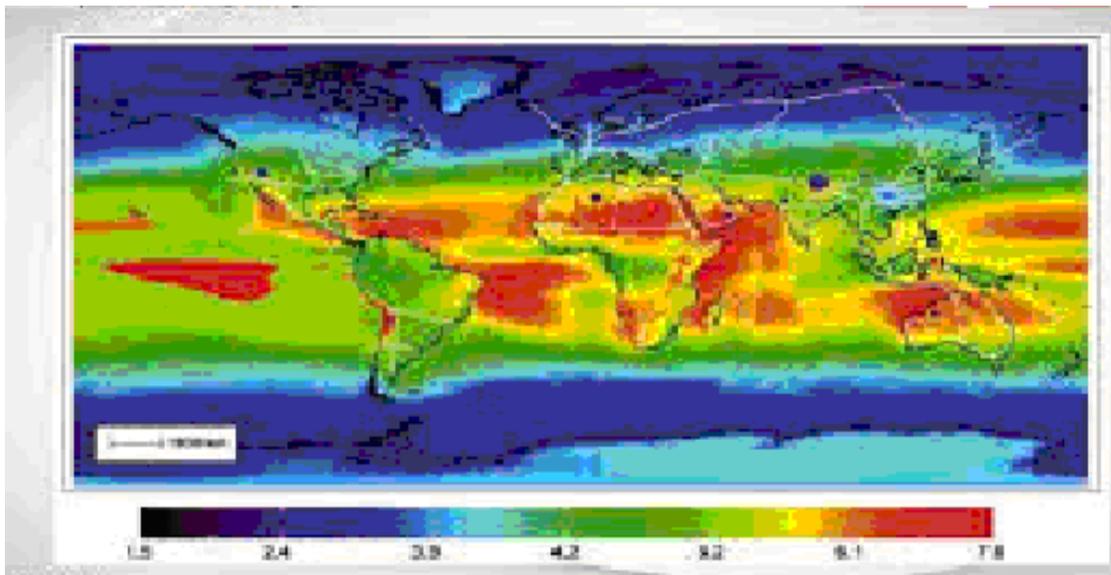
UNIDADE	mW cm <sup>-2</sup>	cal cm <sup>-2</sup> min <sup>-1</sup>
1erg cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	10 <sup>-4</sup>	1,433x10 <sup>-6</sup>
1W m <sup>-2</sup>	0,1	1,433x10 <sup>-3</sup>
1mW cm <sup>-2</sup>	1	0,01433
1cal cm <sup>-2</sup> min <sup>-1</sup>	69,8	1

Fonte: O.M.M. 1971

\* Unidades Radiativas e fatores de conversão

A irradiação solar se configura de modo bem constante. Tal intensidade é cerca de 1367 kW/m<sup>2</sup> no nível da atmosfera, sendo este valor conhecido como constante solar. Parte dessa irradiação é refletida pela atmosfera, outra parte é absorvida em forma de calor, e uma terceira parte, que atinge a superfície do planeta, é absorvida e refletida novamente para a atmosfera. O estado da atmosfera (umidade do ar, nebulosidade e distância que os raios percorrem ao atravessar a atmosfera), define a difusão entre reflexão, absorção e transmissão. A média mundial de energia solar irradiada é de cerca de 165 W/m<sup>2</sup>, correspondendo a mais de 5 mil vezes a necessidade energética da humanidade. (DIENSTMANN, Gustavo, 2009).

Fig. 2 - A radiação media anual no mundo



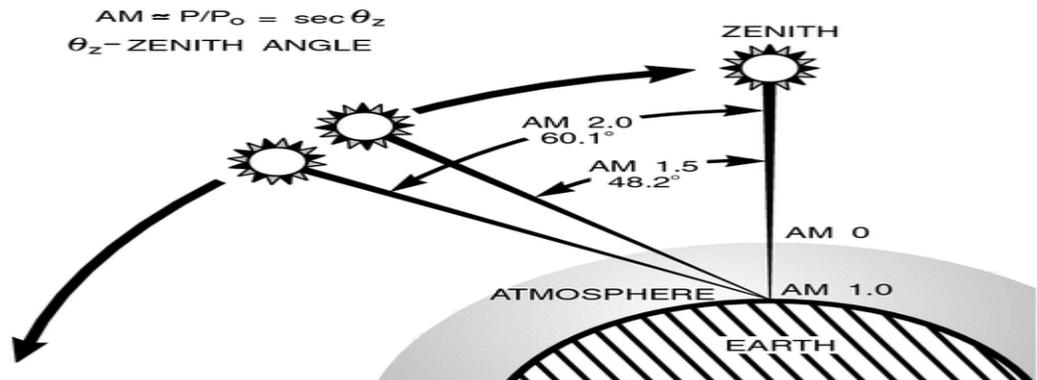
Fonte: Nasa

### 2.3 Efeito fotovoltaico

A variação de irradiação solar em superfície, depende de fatores geográficos, portanto exigiu-se a adoção de um padrão para as medidas de produção e eficiência dos módulos, este padrão é o AM 1,5 ou espectro Air Mass 1,5, essa massa de ar refere-se ao caminho que o sol percorre no interior da atmosfera. Quando o sol está diretamente perpendicular, sobre um vetor normal à superfície (zênite), os raios solares percorrem uma distância mínima dentro da atmosfera: é a AM 1,0. O padrão de AM 1,5 ocorre com o sol a um ângulo de aproximadamente 48° com um vetor normal a superfície. As condições usuais padrão de teste, ocorrem a uma

temperatura de 25°C e irradiação solar de 1000 W/m<sup>2</sup>, típica de dias sem nuvens. Essas condições são mencionadas como *Standard Test Conditions*. (DIENSTMANN, Gustavo, 2009).

Fig. 3 - Air Mass



Fonte: [www.newport.com](http://www.newport.com)

A energia fotovoltaica é convertida em uma única etapa, transformando energia luminosa (luz) em eletricidade. A teoria quântica explica que a luz é composta de “degraus” (patamares), chamados de fótons. A energia dos fótons dependerá da sua frequência, que representa uma cor no espectro visível, essa energia é suficiente para excitar elétrons irradiados e aprisionados, em sólidos promovem níveis energéticos superiores aos encontrados em movimento livre. (DIENSTMANN, Gustavo, 2009).

Naturalmente, quando a luz do sol é absorvida pela matéria, estes fótons agitam os elétrons, onde os elétrons migram para níveis energéticos maiores dentro da matéria, sendo que os elétrons de forma rápida e gradativa recuam e retornam ao estado energético inicial. No entanto, em um dispositivo fotovoltaico, os elétrons excitados são empurrados em assimetria, antes que possam voltar ao estado energético inicial, desse modo, alimentando um circuito externo. A energia armazenada pelos elétrons agitados, gera uma força eletromotriz ou *diferença potencial*. Os tipos de materiais empregados definirão a eficiência dos dispositivos fotovoltaicos e também da forma que estes materiais estão conectados a um circuito externo. (DIENSTMANN, Gustavo, 2009).

Uma das possíveis formas de conversão da energia solar é conseguida através do efeito fotovoltaico que ocorre em dispositivos conhecidos como células fotovoltaicas. Estas

células são componentes optoeletrônicos que convertem diretamente a radiação solar em eletricidade. São basicamente constituídas de materiais semicondutores, sendo o silício o material mais empregado. (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

Vale apenas ressaltar que principal matéria-prima na fabricação das células fotovoltaicas atualmente é o Silício, o que confere uma condição privilegiada ao Brasil, pois possui as maiores jazidas de quartzo de boa qualidade, ideal para a obtenção de Silício com elevado grau de pureza (MOEHLECKE, 2013).

A tensão gerada por uma célula varia entre 0,5 e 1V, segundo os materiais usados, e uma corrente de ordem de dezenas de mili-Ampères por  $\text{cm}^2$ . Mesmo que a corrente seja significativa, a tensão é muito pequena para aplicações usuais, motivo pelo qual se conectam células em série e encapsulam-na em módulos. Um modulo contém de 28 a 36 células em série, gerando cerca de 12V de tensão sob condições padrão de iluminação solar. As células são colocadas em paralelo com um diodo *by pass*, no caso de falha, o módulo como um todo continue a fornecer energia. Um inversor é instalado na saída, no caso de fornecimento em AC. (DIENSTMANN, Gustavo, 2009).

## **2.4 Evolução e Composição dos Módulos Fotovoltaicos**

Inicialmente o desenvolvimento da tecnologia apoiou-se na busca, por empresas do setor de telecomunicações, de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas. O segundo agente impulsionador foi a “corrida espacial”. A célula solar era, e continua sendo o meio mais adequado (menor custo e peso) para fornecer a quantidade de energia necessária para longos períodos de permanência no espaço. (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

Outro uso espacial que impulsionou o desenvolvimento das células solares foi à necessidade de energia para satélites. A crise energética de 1973 renovou e ampliou o interesse em aplicações terrestres. Porém, para tornar economicamente viável essa forma de conversão de energia, seria necessário, naquele momento, reduzir em até 100 vezes o custo de produção das células solares em relação ao daquelas células usadas em explorações espaciais. Modificou-se, também, o perfil das empresas envolvidas no setor. (DIENSTMANN, Gustavo, 2009).

Nos Estados Unidos, as empresas de petróleo resolveram diversificar seus investimentos, englobando a produção de energia a partir da radiação solar. Em 1978 a produção da indústria no mundo já ultrapassava a marca de 1 MWp/ano. O objetivo das pesquisas

americanas na década de 80 era fornecer de 1 a 5,5% de toda a energia elétrica consumida no ano 2000 nos Estados Unidos, através da conversão fotovoltaica. Em 1998 a produção de células fotovoltaicas atingiu a marca de 150 MWp, sendo o Silício quase absoluto no ranking dos materiais utilizados. O Silício, segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, tem sido explorado sob diversas formas: monocristalino (mono-Si), policristalino (poly-Si) e amorfo (a-Si). No entanto, a busca de materiais alternativos é intensa e concentra-se na área de filmes finos, onde o silício amorfo se enquadra. (DIENSTMANN, Gustavo, 2009).

Células de filmes finos, além de utilizarem menor quantidade de material do que as que apresentam estruturas cristalinas requerem uma menor quantidade de energia no seu processo de fabricação, características que, por si só, justificam o esforço em seu aperfeiçoamento. O custo das células solares é, ainda hoje, um grande desafio para a indústria e o principal empecilho para a difusão dos sistemas fotovoltaicos em larga escala. No entanto, a tecnologia fotovoltaica está se tornando cada vez mais competitiva, tanto porque seus custos estão decrescendo, quanto porque a avaliação dos custos das outras formas de geração está se tornando mais real, levando em conta fatores que eram anteriormente ignorados, como a questão dos impactos ambientais. Especialistas afirmam, hoje, que a tecnologia de filmes finos poderá levar, no início do século XXI, a um custo de 1 US\$/Wp, aproximadamente 1/4 dos preços praticados atualmente no mercado internacional, para os módulos fotovoltaicos. Investimentos em melhorias no processo de fabricação também auxiliarão na redução de custo. (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

Entre os desenvolvimentos recentes nos processos de produção para células comerciais de Si estão as tecnologias de fita de Si (Ribbon), o confinamento magnético para o crescimento dos cristais de Si (MCz growth), o corte de células com fio contínuo diamantado, o melhor controle sobre o tratamento superficial (etching) das células e os contactos metálicos enterrados (BCSC - Buried Contact Solar Cells). Alguns destes progressos já são empregados por determinados fabricantes para produção comercial. Um desafio paralelo para a indústria fotovoltaica é o desenvolvimento de acessórios e equipamentos complementares para Sistemas Fotovoltaicos, com qualidade e vida útil comparáveis às dos módulos (fabricantes de módulos de Silício cristalino estão garantindo seus produtos por 25 anos enquanto os de Silício amorfo estão dando em torno de 10 anos de garantia). (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

**Tabela 3 - Representação dos eventos-chave no desenvolvimento das células solares.**

1800	Descoberta do Selênio (Se) (Berzelius)
1820	Preparação do Silício (Si) (Berzelius)
1840	Efeito Fotovoltaico (Becquerel)
1860	Efeito Fotocondutivo no Se (Smith) Retificador do Ponto de Contato (Braun)
1880	Efeito Fotovoltaico no Se (Adams & Day) Células Fotovoltaicas de Se (Fritts/Uljanin)
1900	Fotosensitividade em Cu-Cu <sub>2</sub> O (Hallwachs)
1910	Efeito Fotovoltaico com Barreira de Potencial (Goldman & Brodsky)
1920	Monocristal a partir do Si Fundido (Czochralski) Retificador de Cu-Cu <sub>2</sub> O (Grondahl)
1930	Célula Fotovoltaica de Cu-Cu <sub>2</sub> O (Grondahl & Geiger) Teoria de Bandas em Sólidos (Strutt/Brillouin/Kronig & P) Teoria de Células com Barreiras V e H (Schottky et al)
1940	Teoria da Difusão Eletrônica (Dember) Aplicações Fotométricas (Lange) 1% eficiência em Células de Sulfeto de Tálcio (TI <sub>2</sub> S) (Nix & Treptow)
1950	Crescimento de Células Fotovoltaicas com Junção (Oh1) Teoria de Junções p-n (Shockley)
1955	Junções p-n Difundidas (Fuller)
1958	Célula Solar de Si (Pearson, Fuller & Chapin)
1960	Célula Solar de CdS (Reynolds et al) Teoria de Células Solares (Piann & Roosbroeck/Prince)
1962	O “Bandgap” e a Eficiência das Células (Loferski, R.& W) Teoria da Resposta Espectral, Mecanismos de Perdas (Wolf) Efeitos de Resistência em Série (Wolf & Rauschenbach) Células de Si n/p Resistentes a Radiação (Kesperis & M.) Contatos Evaporados de Ti-Ag (BTL).
1973	Células Violetas, com 15,2% de eficiência.
1980	Células de Silício Amorfo
1992	Células MIS, de 24% de eficiência.

Fonte: “Inserção da Tecnologia Solar no Brasil”

A geração direta de energia elétrica a partir da energia radiante fornecida pelo sol faz-se através de um módulo eletrônico formado por elementos geradores – as células fotovoltaicas. Os módulos ou painéis fotovoltaicos atuais são formados de células feitas de silício, cada célula gera corrente contínua com cerca de 0,5 V de tensão. (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

As células comerciais podem ser de vários tipos de tecnologia, tais como o TELURETO DE CADMIUM (ou CÁDMIO) (CdTe), DISSELENETO DE COBRE E INDIUM (ou ÍNDIO) (CIS), os ORGÂNICOS e CÉLULAS SOLARES PLÁSTICAS destacando-se três: Células de silício mono-cristalino correspondem à primeira geração desta tecnologia. Estas células obtêm-se a partir de barras cilíndricas de silício mono-cristalino 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). São caracterizadas por um rendimento energético de conversão elevado (23% em laboratório e 16-18% disponível nos módulos comerciais). As técnicas de produção são complexas e caras e requerem grande quantidade de energia no seu processo de fabrico, devido à exigência de se usarem materiais em elevado estado de pureza. (superior a 99,999999 %) sendo as de preço mais elevado. (Manual de energia solar fotovoltaica, sem data).

Células de silício poli-cristalino Correspondem à segunda geração desta tecnologia. Estas células são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de bocados de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício arrefece lentamente e solidifica-se. Neste processo, os átomos não se organizam num único cristal, forma-se uma estrutura poli-cristalina com superfícies de separação entre os cristais. São caracterizadas por um rendimento energético de conversão médio (18% em laboratório e 11-13% disponível nos módulos comerciais). As técnicas de produção ainda são complexas e caras, mas requerem menos energia no seu processo de fabricação do que os monos-cristalinos, o seu preço é intermédio. (Manual de energia solar fotovoltaica, sem data).

Células de silício amorfo (não cristalino) Correspondem à terceira geração desta tecnologia. Estas células são obtidas por meio da deposição de camadas muito finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. São caracterizadas por um rendimento energético de conversão baixo (13% em laboratório e 8-10% disponível nos módulos comerciais). As células de silício amorfo são películas muito finas, permitindo a sua utilização em superfícies flexíveis e

superfícies de materiais cerâmicos aplicados na construção como as telhas e painéis de paredes, são as que têm menor preço. (Manual de energia solar fotovoltaica, sem data).

Veja a comparação dos rendimentos na tabela a seguir:

**Tabela 4 - Rendimento elétrico comparado das várias tecnologias do silício**

	<b>Rendimento Típico</b>	<b>Máximo registrado em aplicações</b>	<b>Rendimento máximo registrado em laboratório</b>
<b>Mono-cristalino</b>	12-16%	22.7%	24.7%
<b>Poli-cristalino</b>	12-14%	15.3%	19.8%
<b>Silício amorfo</b>	5-8%	10.5%	12.7%

Fonte: ADIV - Associação para o Desenvolvimento e Investigação de Viseu

O painel solar, o primeiro componente de um sistema elétrico de energia solar, é uma associação de células de silício que geram eletricidade a partir da luz solar e a disponibilizam com características de tensão e corrente adequadas aos consumidores. Nos módulos ou painéis comerciais produzidos industrialmente, as células fotovoltaicas são conectadas em série e em paralelo de forma que na sua saída a energia elétrica tenha as características de tensão e corrente necessários para a sua aplicação, sendo os valores típicos na indústria dos painéis solares: 12V, 24V e 48 V por painel, com potências desde 10 a 320 W. (Manual de energia solar fotovoltaica, sem data).

Por exemplo, um painel típico 12 volts de cerca de 63cm por 137cm conterá 36 células ligadas em série para produzir cerca de 17 volts pico. Se o painel solar for configurado para 24 Volts de saída, haverá 72 células de modo a constituir dois grupos de 12 Volts com 36 células cada, conectados em série, geralmente com um “jumper”, proporcionando uma saída de 24 Volts. Esta tensão cai para 12 a 14 Volts (nos painéis de 12 Volts nominais), resultando a potência em 75 a 100 Watts para um painel desse tamanho. A produção dos módulos em Watt x Hora é calculada para 5 horas de insolação (luminosidade) por dia, logo após sua instalação o módulo começa a gerar energia. (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

Nas aplicações mais comuns são associados diversos módulos conforme a necessidade de tensão e corrente dos pontos de utilização da energia elétrica. Na fabricação, procuram-se dar ao módulo, rigidez na sua estrutura, isolamento elétrico e resistência aos fatores climáticos. Por isso, as células conectadas em série são encapsuladas num plástico elástico (Etil-vinil-acelato) que faz também o papel de isolante elétrico, um vidro temperado com baixo conteúdo de ferro, na face voltada para o sol, e uma lamina plástica multicamada (Poliéster) na face posterior, em alguns casos o vidro é substituído por uma lamina de material plástico transparente. (Manual de energia solar fotovoltaica, sem data).

O módulo completo tem uma moldura normalmente metálica, feita de alumínio ou poliuretano e caixas de conexão ou termina conectores às quais chegam os terminais positivo e negativo da série de células. Nos bornes (terminais ) das caixas conectam-se os cabos que ligam o módulo ao sistema. Os painéis solares geram energia solar, convertendo a luz em eletricidade sem partes móveis, com zero emissão de CO<sub>2</sub> e quase sem manutenção. Podem ser ligados em paralelo para aumentar a corrente (mais energia) e ligados em série para aumentar a tensão para 24, 48 Volt, ou ainda maior tensão. (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

A vantagem de utilizar uma maior tensão de saída nos painéis solares é que se pode usar cabo de secção menor para transferir a mesma energia elétrica a partir do agrupamento de painéis solares para o controlador de carga, para as baterias ou para o inversor (conversor de CC em CA). Como o preço do cobre subiu consideravelmente nos últimos anos, é muito caro comprar condutores de cobre de secção elevada e assim opta-se pela solução de elevar a tensão dos conjuntos de painéis. (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

Será de prever na Europa um forte crescimento, no que respeita aos sistemas fotovoltaicos com ligação à rede pública elétrica. O caso concreto da Alemanha, os sistemas fotovoltaicos com ligação à rede, foram instalados com maior intensidade após a entrada em vigor de subsídios governamentais no âmbito do “Programa dos 1.000 telhados” (1991-1995). (IEI, 2009).

Com a posterior evolução para o “Programa dos 100.000 telhados” (desde 1999) e o “Decreto das Fontes de Energia Renovável” (EEG1/4/2000), o Governo Federal lançou no mercado um conjunto de programas dinamizadores, os quais tiveram reconhecimento a nível mundial. Em Portugal os governos recentes (2002 a 2009) têm criado incentivos ao investimento

em sistemas ligados à rede pública, seja tanto para o uso residencial, como industrial e comercial. (IEI, 2009).

Um dos aspectos mais importantes dos sistemas fotovoltaicos ligados à rede, tem sido a sua interligação à rede pública elétrica. Um sistema fotovoltaico com ligação à rede é composto, normalmente, pelos seguintes componentes:

1. Gerador fotovoltaico (vários módulos fotovoltaicos dispostos em série e em paralelo, com estruturas de suporte e de montagem).
2. Caixa de junção (equipada com dispositivos de proteção e interruptor de corte principal DC)
3. Cabos AC-DC
4. Inversor
5. Mecanismo de proteção e aparelho de medida A figura a seguir mostra a estrutura principal de um sistema fotovoltaico com ligação à rede.

Fig.4 - Esquema de um sistema fotovoltaico ligado à rede



Fonte: [www.pucrs.br](http://www.pucrs.br)

O cabo de ligação de corrente alternada liga o inversor à rede receptora, através do equipamento de proteção. No caso dos inversores tri-fásicos, a ligação à rede de baixa tensão é efetuada com um cabo de cinco condutores. Para os inversores mono-fásicos é usado um cabo de três condutores.

Os sistemas fotovoltaicos distribuídos conectados à rede são instalados para fornecer energia ao consumidor, que pode usar a energia da rede elétrica convencional para complementar a quantidade de energia demandada, caso haja algum aumento do consumo de energia em sua

residência ou estabelecimento comercial. O consumidor pode também vender a energia gerada pelo sistema para a distribuidora, caso use menos energia do que a gerada pelo sistema (MAYCOCK, 1981; MARKVART, 2000; RÜTHER et al., 2005; IEA-PVPS, 2006).

**Tabela 5: Capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos e potencial solar na Alemanha, Espanha e Brasil.**

	Alemanha	Espanha	Brasil
Capacidade Instalada (MW)	3.800	451	0,152*
Potencial (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	900	1800	1950

Fonte: Zilles (2008a) e Varella (2009).

Nota: \* sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

## 2.5 Instalação e Segurança

É necessário compreender todas as instruções de instalação e segurança antes de tentar instalar, ligar, operar ou reparar o painel, durante a instalação, é necessário cumprir todos os regulamentos, diretrizes e códigos em vigor a nível local, regional, nacional ou internacional. A instalação e a manutenção devem ser efetuadas apenas por profissionais qualificados e certificados, os painéis produzem voltagem mesmo quando não estão ligados a quaisquer cargas ou circuitos elétricos. (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

Os painéis produzem praticamente toda a voltagem nominal mesmo que estejam expostos apenas a 5% da luz solar total e tanto a corrente elétrica como a potência aumentam com o aumento da intensidade da luz. Os painéis podem produzir voltagens superiores aos valores especificados, os valores especificados segundo os padrões da indústria foram obtidos em condições de irradiação de 1000 W/m<sup>2</sup> com as células solares à temperatura de 25 °C (77°F). Com temperaturas inferiores, a voltagem e a potência podem ser substancialmente superiores, é necessário garantir que os painéis não serão sujeitos a temperaturas fora da gama de -40 a +80°C) Os reflexos provocados por água ou outras superfícies podem aumentar a luz e, assim, aumentar tanto a corrente como a potência geradas pelo painel. (Manual de energia solar fotovoltaica, sem data).

Não concentre luz sobre o painel de forma artificial, os painéis destinam-se apenas a aplicações exteriores e sobre terra. Os painéis não se destinam a aplicação em espaços interiores, nem em veículos móveis de qualquer tipo, entre as aplicações não permitidas estão as instalações em que os painéis entrem em contato com água salgada ou onde haja alguma possibilidade de ficarem submergidos em água doce ou salgada (por exemplo, barcos, docas e bóias). (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

Existem painéis fabricados especificamente para estas aplicações com características de robustez e estanquicidade adequadas. Nas instalações fixas a face de exposição dos painéis deve estar voltada para o Sul geográfico, com uma inclinação em relação à horizontal dependente da latitude da instalação. Não é recomendável inclinações abaixo de  $15^\circ$  para não permitir a acumulação de sujeira. (Manual de energia solar fotovoltaica, sem data).

O cálculo de inclinação é:  $\text{Inclinação dos painéis} = \text{Latitude} \pm (\text{Latitude}/3)$  por isso em Cabedelo a inclinação dos painéis deve ficar entre a latitude do lugar  $+6^\circ$  e  $-6^\circ$ , a precisão não é rigorosa, portanto pode ser ajustado por aproximação. É obrigatória a ligação à terra da estrutura metálica de suporte e dos próprios painéis, assim como de outras partes metálicas da estrutura do edifício onde está montado o sistema. Para essa ligação pode usar-se cabo de cobre de secção 35-95 mm<sup>2</sup> ou fita de aço cobreado que interligara e envolvera todo o edifício tal como se faz na proteção contra descargas atmosféricas, quando os painéis são montados em telhados inclinados com a inclinação adequada à latitude, ou seja, sem estruturas de elevação dos painéis é recomendado deixar um espaço entre a superfície de fixação e o painel para permitir de circulação do ar. (Manual de energia solar fotovoltaica, sem data).

A ventilação é importante para manter baixas as temperaturas dos painéis e evitar a condensação de umidade na parte traseira dos mesmos. Os painéis podem ser interligados em série ou paralelo, obedecendo à Lei de Ohm, ou seja, quando interligados dois ou mais unidades em paralelo (pólo positivo com pólo positivo e negativo com negativo) a tensão não se altera, mas a corrente é somada. Quando interligados em série (une-se o pólo positivo de um painel ao pólo negativo do outro e toma-se o pólo negativo de um e o pólo positivo do outro para a saída) a tensão final é igual à de um painel multiplicada pelo número de painéis e a corrente permanece inalterada, quando ligados em série, todos os painéis devem ter a mesma característica e tipo. Quando ligados em paralelo, esta regra não é rigorosa, porém é recomendável a instalação de

diodos para proteção e equalização das cargas. (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

Utilize apenas estruturas de apoio, equipamentos, conectores e cabos elétricos que sejam adequados para um sistema elétrico solar, cumpra todas as precauções de segurança associadas aos outros componentes utilizados. Não utilize a caixa de uniões para elevar ou transportar o painel, não se coloque em pé sobre o painel, nem o pise e não sujeite o painel. A parte frontal dos módulos é constituída por um vidro temperado com 3 a 3,5 mm de espessura, o que os torna resistentes até ao granizo. (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

Além disso, admitem qualquer tipo de variação climática. Eles são auto-limpantes devido à própria inclinação que o módulo deve ter, de modo que a sujidade pode escorrer assim que ocorrer chuva. Se o módulo ficar sujo, utilizar água e uma flanela ou esponja de nylon para limpar o vidro. Detergentes não abrasivos ou neutros podem ser utilizados para remoção da sujidade mais persistente. É recomendável uma inspeção a cada seis meses (ou anual) para verificar terminais, apertos e eventuais sombreamentos. Lembre-se, até mesmo a sombra projetada sobre o módulo por um fio (par) telefônico pode reduzir sensivelmente a capacidade do módulo. (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2004).

Fig. 5 - Módulos fotovoltaicos



Fonte: [www.archiproducts.com](http://www.archiproducts.com)

## ***CAPITULO 3***

---

### ***MATERIAIS E MÉTODOS***

### 3.1 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos utilizados neste trabalho foram basicamente consultadas em fontes secundárias para mostrar a situação da cidade de Cabedelo no que diz respeito às suas potencialidades e necessidades de uso da energia solar.

Esta pesquisa é definida como exploratória, pois permite ao pesquisador aumentar sua experiência em torno de determinado problema, além de servir para levantar eventuais possíveis e novos problemas de pesquisa; E descritiva, pois pretende descrever “com exatidão” os fatos e fenômenos de determinada realidade (SOUZA, 2012).

A pesquisa bibliográfica foi realizada no site do IBGE, INPE e do INMET, e em dissertações, teses, trabalho de diplomação e um relatório IEA – LA. A pesquisa documental também foi feita na ENERGISA, ANEEL, IEA, CGEE e na Prefeitura do município de Cabedelo – PB.

YIN, (2001) define como sendo um estudo de caráter empírico o estudo que investiga um fenômeno atual no contexto da vida real, geralmente considerando que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto onde se insere não são claramente definidas.

O município de Cabedelo – PB possui área de 31,915 km<sup>2</sup> (IBGE), localizado no litoral norte paraibano e compõe a região metropolitana de João Pessoa e possui 17.023 domicílios (IBGE, 2010). . Conforme o plano decenal de expansão de energia realizado em 2013, os empreendimentos de geração atualmente em operação no estado da Paraíba totalizam cerca de 600 MW de capacidade instalada. Segundo Brasil (2013), a carga do estado da Paraíba prevista para o período 2013-2022 representa, em média, cerca de 6% do total da região Nordeste, com crescimento médio anual da carga pesada em torno de 3,8 %.

## ***CAPITULO 4***

### ***RESULTADOS***

---

## 4.1 Panorama atual

Hoje em dia, a crescente demanda por energia elétrica está relacionada com o aumento populacional e com isso o aumento do consumo, daí vem a preocupação com o meio ambiente e o melhor aproveitamento energético, aonde o uso de energias renováveis vem sendo cada vez mais utilizada e difundida em todo mundo, mesmo de modo tímido, a utilização de energias renováveis correspondem a apenas 13% do consumo mundial.

Este capítulo visa investigar a quantidade de energia elétrica consumida no Município de Cabedelo – PB e fazer uma projeção futura desse consumo de acordo com o aumento populacional e verificar o potencial econômico do uso de energias renováveis no Município, sendo à energia solar fotovoltaica, o alvo desta pesquisa como alternativa sustentável. A visão do painel de alto nível, “*povos resilientes, planeta resiliente: Um futuro digno de escolhas*”.

A qualidade de vida das pessoas que tem acesso à energia elétrica muda consideravelmente. Eles passam a utilizar novas ferramentas de trabalho, ter acesso a informações e qualificação, dinamizam a sua produção e tem mais lucros, passam a se fixarem mais no campo, e ter mais acesso a educação e saúde.

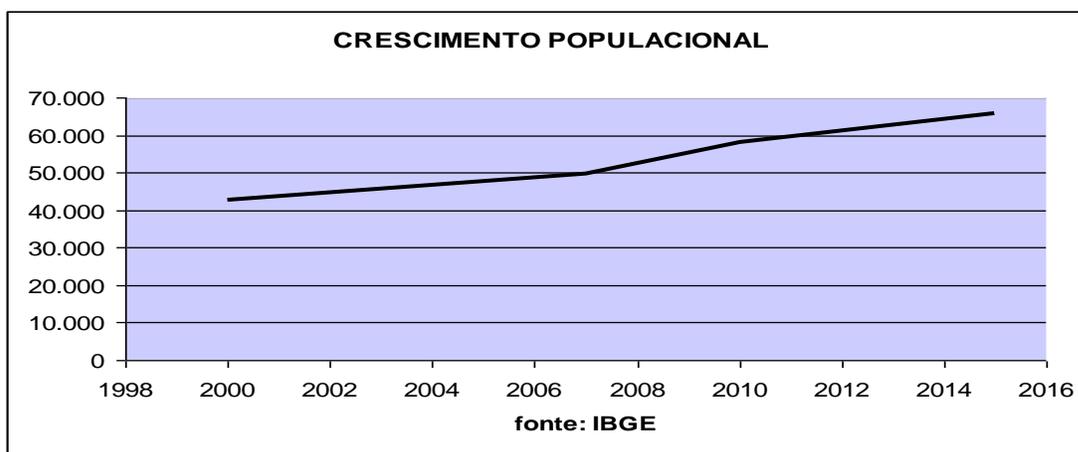
De acordo com SCETTINO (2013), a energia elétrica é um produto imprescindível para a sociedade atual para produzir luz, calor, movimento e outras formas de transformação energética. A indústria de energia elétrica, ou seja, os conjuntos de empresas que formam a cadeia dessa indústria são responsáveis pela geração, transmissão, distribuição e consumo de energia.

A comunidade científica deve ter acesso aos recursos necessários, para levar adiante áreas já promissoras e explorar possibilidades, de forma a maximizar o potencial e reduzir os impactos. Outro ponto importante é a questão do planejamento, que para que se obtenha um desenvolvimento urbano sustentável é de suma necessidade que haja um planejamento. A tendência das cidades, em todo o mundo – principalmente nos países em desenvolvimento – é de que sua população só cresça, e é preciso que as cidades estejam preparadas para suportar esse contingente; de maneira que possua um ambiente de vida seguro e saudável com energia e transportes acessíveis e viáveis, oportunidades de emprego; além da preservação e restauração de espaços verdes.

As cidades também devem estar preparadas para os riscos climáticos, elas devem estar capacitadas e adaptadas para serem capazes de resistir ou pelo menos, passar de forma mais amena aos riscos climáticos. No momento em que na maior parte da superfície terrestre se verifica o caos na Organização do Espaço com degradação acentuada do meio ambiente, desertificação, redução e poluição dos recursos hídricos, desmatamentos, urbanização caótica, desequilíbrios sociais e econômicos, redução da qualidade de vida, o estudo dos Geossistemas, através da integração de seus elementos, oferecendo visão e ação holística, adquire importância fundamental para um planejamento correto da utilização e organização do espaço, ou seja, para a Ciência Geográfica (TROPMAIR, 2000).

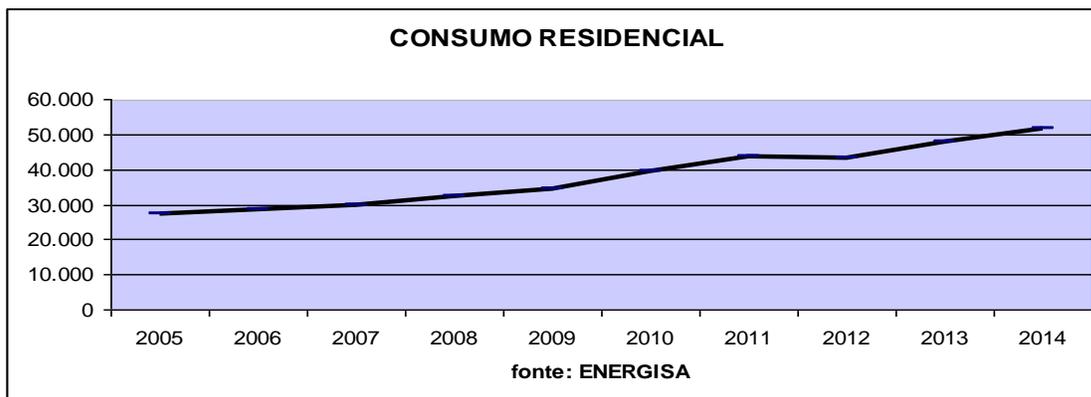
O gráfico a seguir, mostra o crescimento populacional do município de Cabedelo-PB com o passar das últimas décadas:

Fig.6 - Evolução do crescimento populacional em Cabedelo – PB.



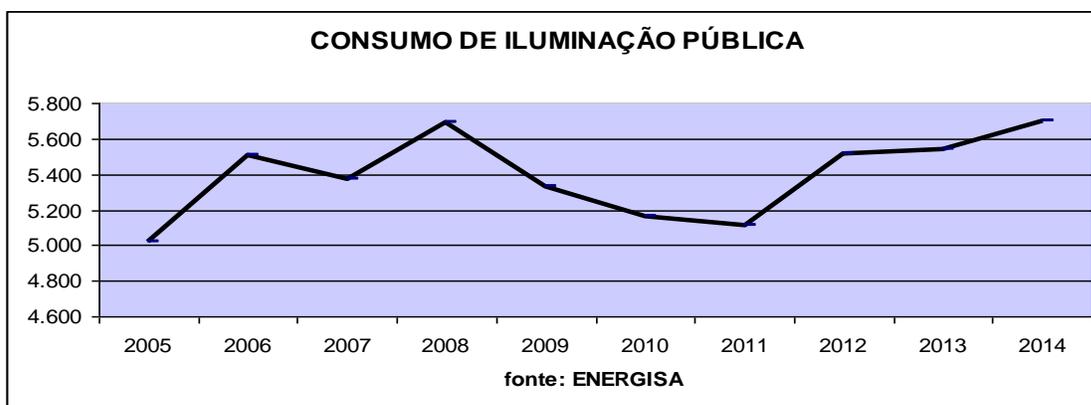
A população cabedelense saltou, em 15 anos, de uma população de 42.832 (IBGE 2000), para uma população de 65.634 (IBGE 2015), estimada para este ano. Deste modo, o consumo de modo geral também aumentou especialmente o consumo de energia elétrica. Os gráficos a seguir, mostram a evolução do consumo de energia elétrica em Cabedelo nos últimos 10 anos em diversos setores.

Fig. 7 - Consumo residencial de energia no município de Cabedelo – PB.



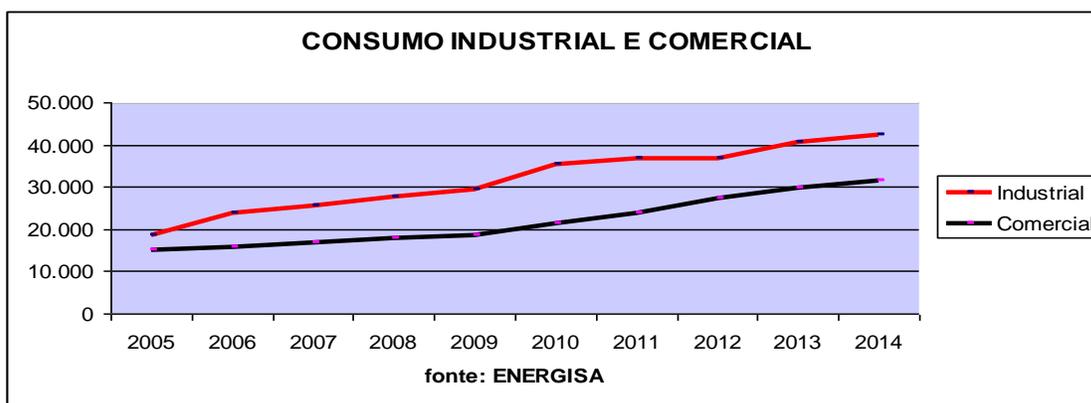
Este gráfico mostra a evolução do consumo elétrico residencial em Cabedelo - PB

Fig.8 - Consumo de energia na iluminação pública no município de Cabedelo – PB.



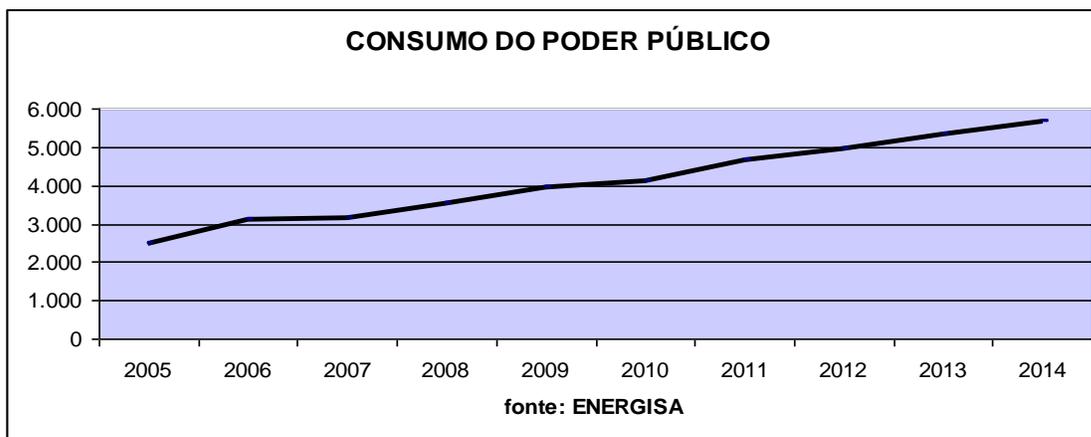
Este gráfico mostra a evolução do consumo elétrico de iluminação pública em Cabedelo – PB

Fig.9 - Consumo de energia na indústria e comércio no município de Cabedelo – PB.



Este gráfico mostra a evolução do consumo elétrico comercial e industrial em Cabedelo – PB

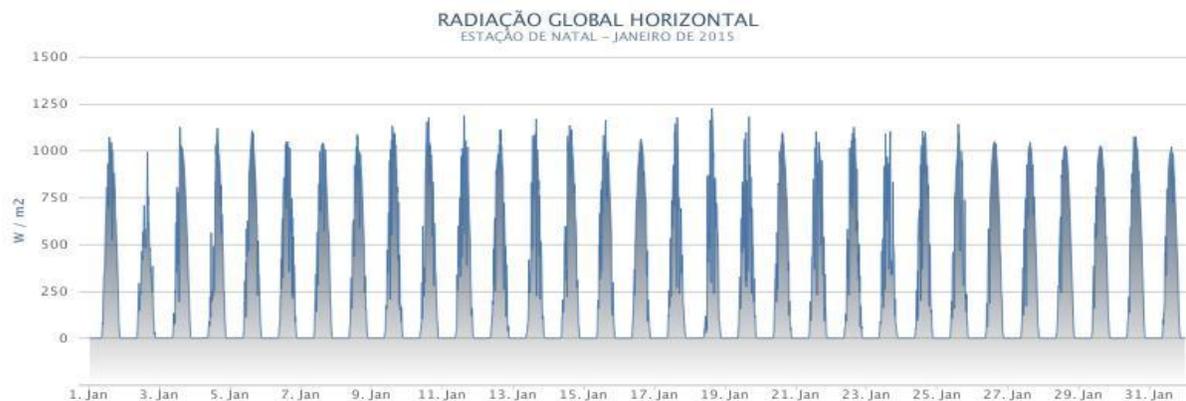
Fig.10 - Consumo de energia do poder público no município de Cabedelo – PB.



Este gráfico mostra a evolução do consumo elétrico do poder público em Cabedelo – PB

Com base nestes dados, pode-se afirmar que a energia elétrica no município, tende a ficar mais cara e diante do panorama atual, com o crescimento populacional, uma alternativa viável, seria a implantação da energia fotovoltaica no município, visto que os níveis de radiação solar são aplicáveis, isso porque, o NEB é referência em irradiação solar e o potencial solar no Brasil como um todo é suficiente para viabilizar qualquer projeto. Os gráficos a seguir, mostram os níveis de radiação global nos municípios de Natal-RN e insolação no município de João Pessoa-PB, estes sevem como referência para o município de Cabedelo-PB, devido a proximidade e condições climáticas similares, apesar do município não possuir base coletora de dados.

Fig.11 - Radiação global horizontal em Natal – RN (01/2015)



Fonte: INMET

Este gráfico mostra os níveis de radiação global Horizontal para o município de Natal – RN para o mês de Janeiro no ano de 2015.

Fig. 12 - Radiação global horizontal em Natal – RN (12/2014)



Fonte: INMET

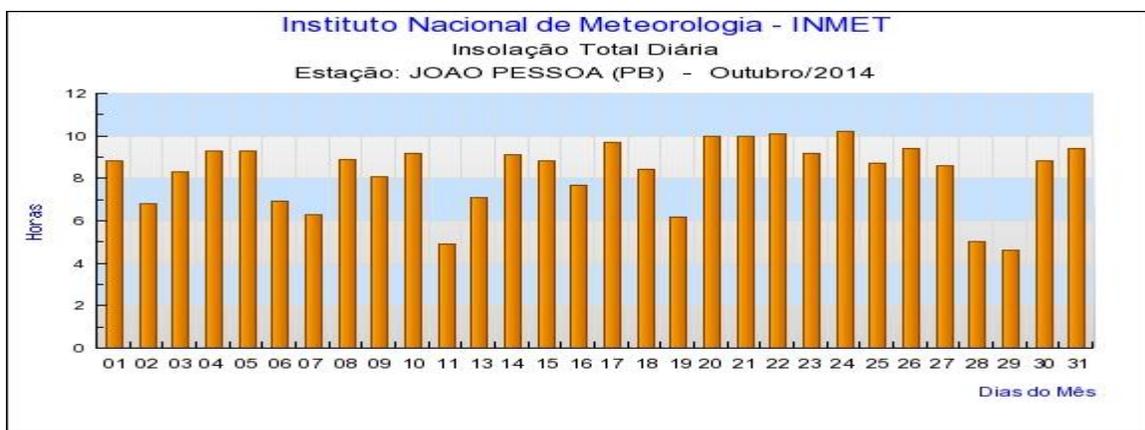
Este gráfico mostra os níveis de radiação global Horizontal para o município de Natal – RN para o mês de Dezembro no ano de 2014.

Segundo CGEE (2010), o potencial de insolação territorial brasileiro é elevado, se comparado aos países que atualmente lideram a produção fotovoltaica, a exemplo da Alemanha. Ressalta-se que para o referido estudo, foram definidas condições padrões para todos os módulos. Para tal, foi definida a intensidade de 1.000W/m<sup>2</sup>. Esta intensidade é chamada de radiação

máxima ou de pico, e, como condição padrão internacional das células, foi utilizada a temperatura de 25°C.

Os doze gráficos a seguir, mostram os níveis de insolação no Município de João Pessoa – PB. Analisando um a um, verifica-se uma diferença de insolação mais acentuada nos meses de Maio, Junho e Julho de 2015, isso devido as estações chuvosas que ocorrem neste período de tempo no litoral de João Pessoa-PB, onde podem ser utilizados para o município de Cabedelo-PB.

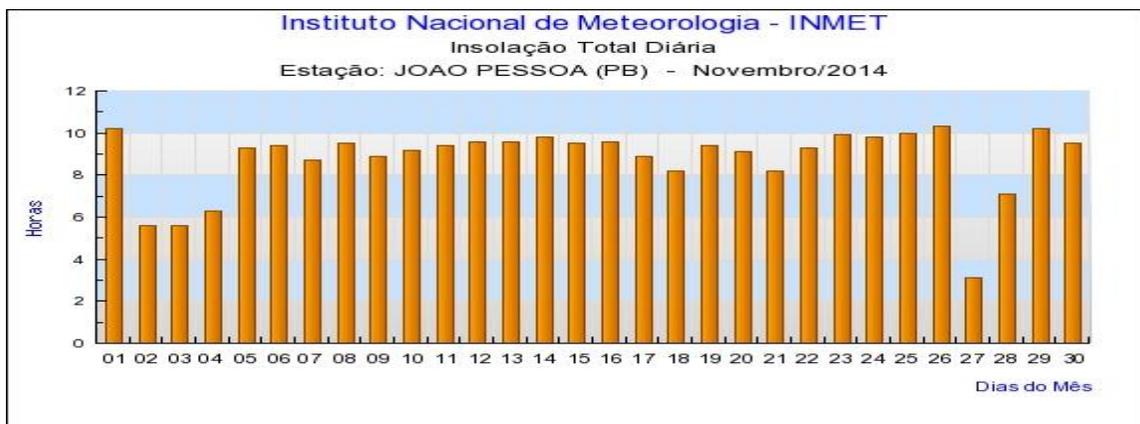
Fig.13 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (10/2014)



Fonte: INMET

Insolação bastante elevada aonde seu pico chega a ter dez horas de insolação.

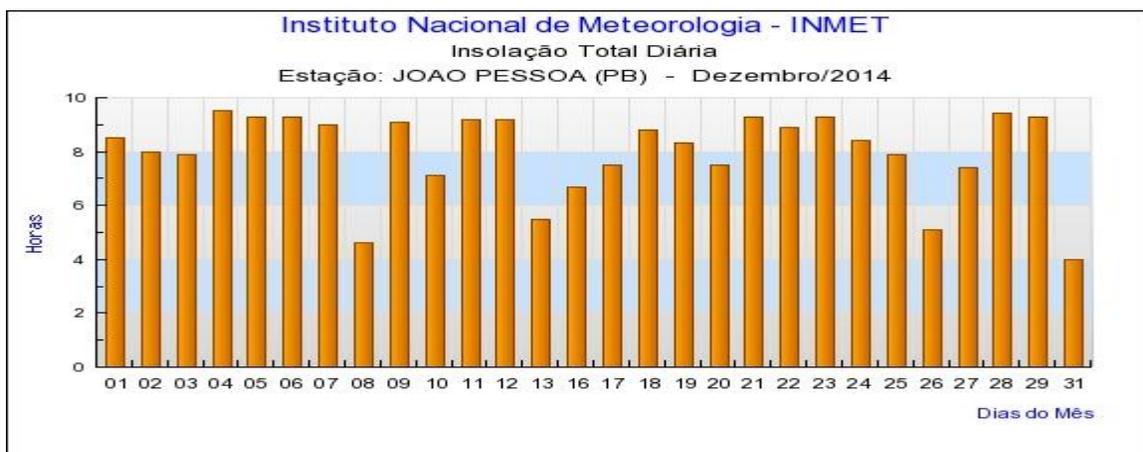
Fig.14 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (11/2014)



Fonte: INMET

Insolação bastante elevada aonde seu pico chega a ter mais de dez horas de insolação.

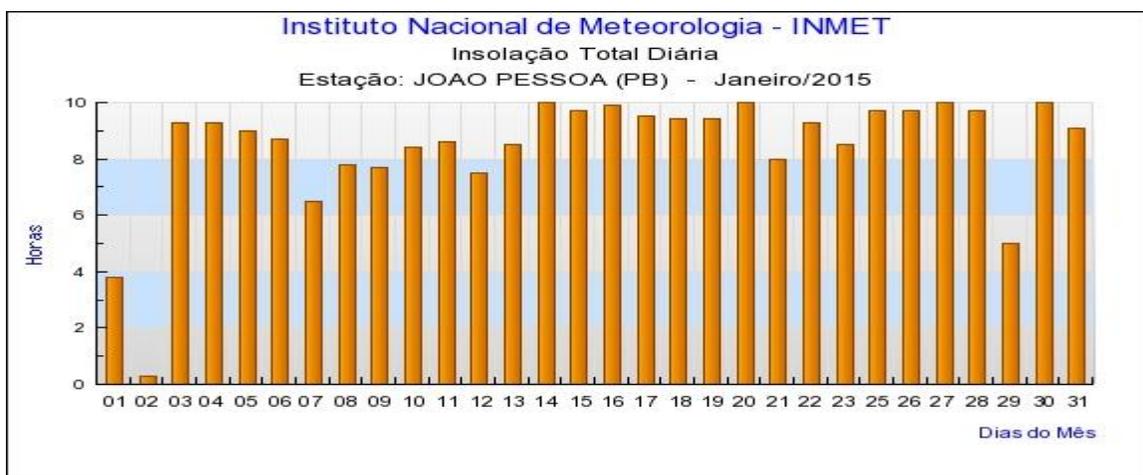
Fig. 15 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (12/2014)



Fonte: INMET

Insolação bastante elevada aonde seu pico chega a ter mais de oito horas de insolação.

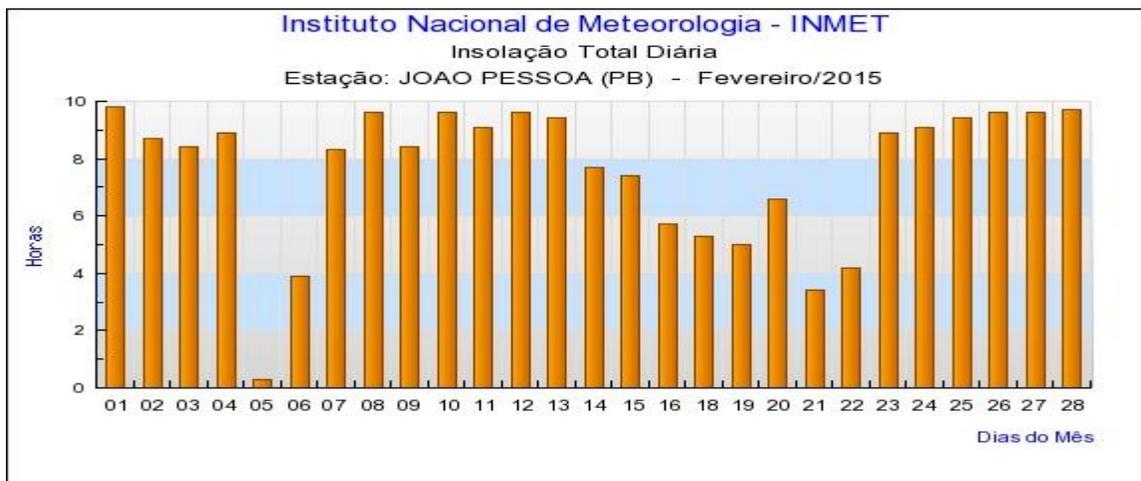
Fig.16 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (01/2015)



Fonte: INMET

Insolação bastante elevada aonde seu pico chega a ter dez horas de insolação.

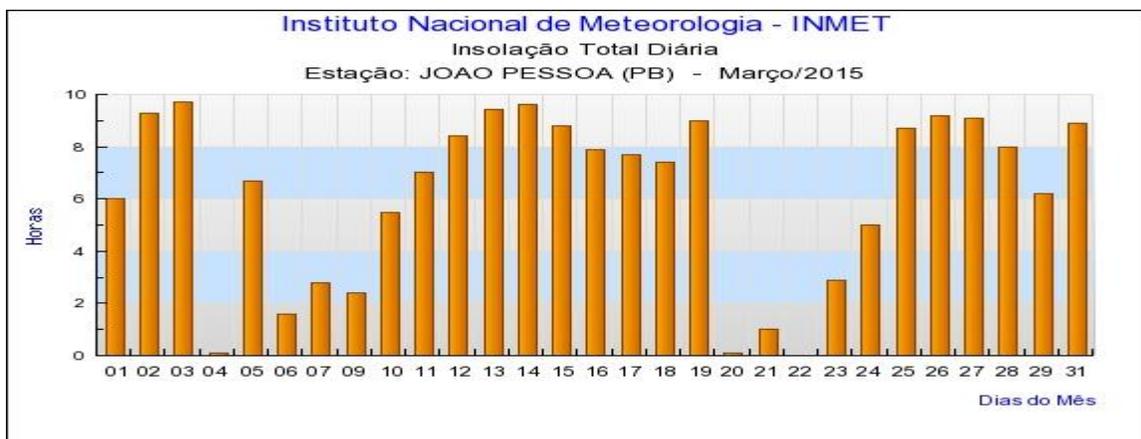
Fig.17 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (02/2015)



Fonte: INMET

Insolação bastante elevada aonde seu pico chega a ter mais de oito horas de insolação. E com apenas três dias de baixa insolação.

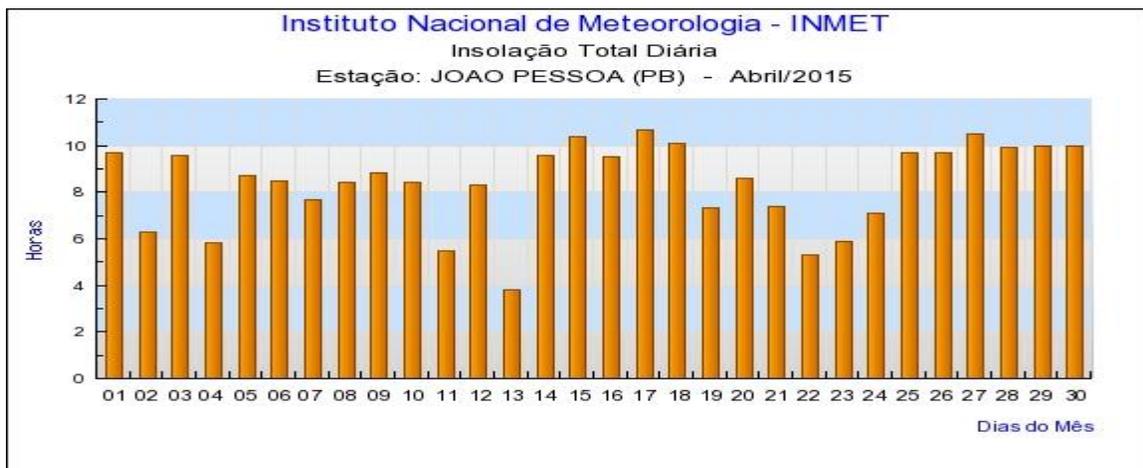
Fig.18 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (03/2015)



Fonte: INMET

Insolação bastante elevada aonde seu pico chega a ter mais de oito horas de insolação. E com apenas sete dias de baixa insolação.

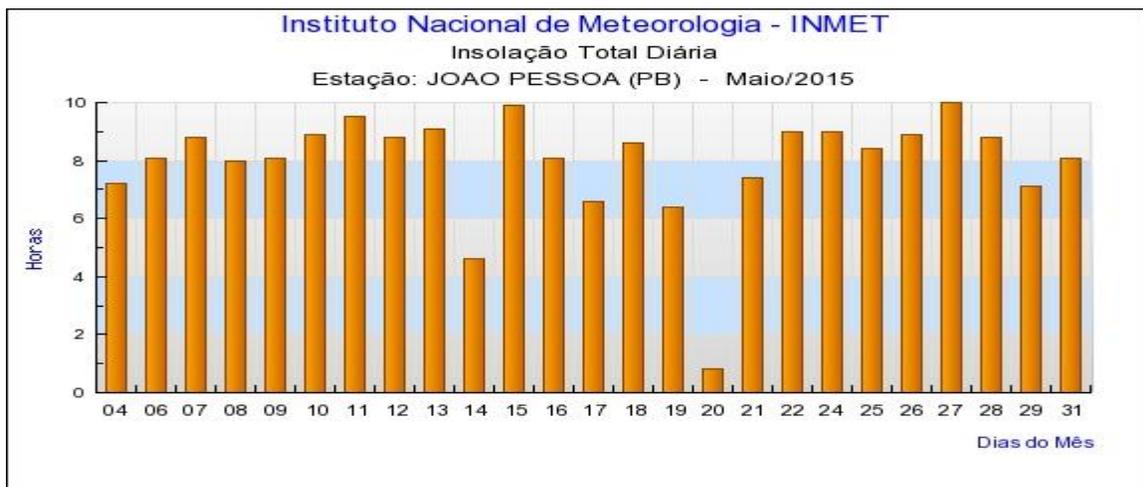
Fig.19 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (04/2015)



Fonte: INMET

Mês bastante regular, com insolação entre quatro e dez horas.

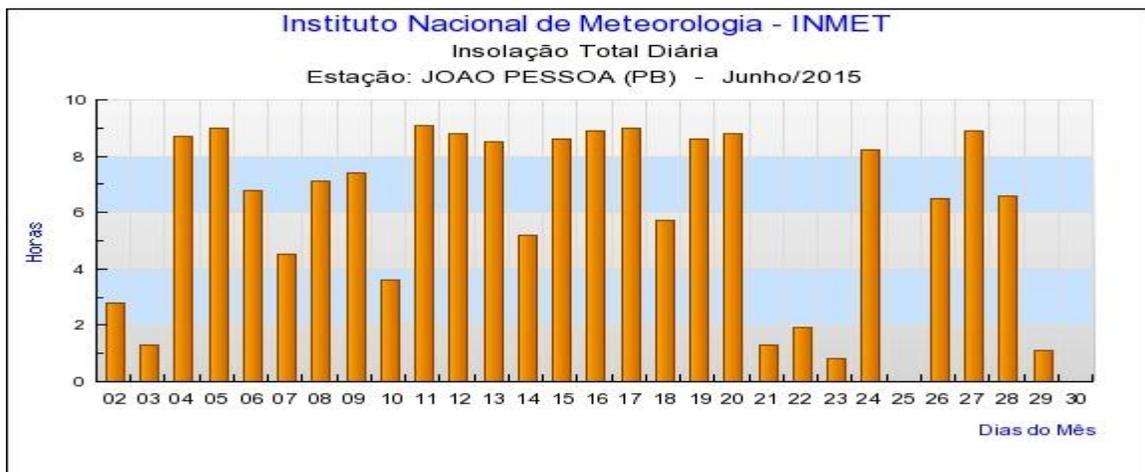
Fig.20 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (05/2015)



Fonte: INMET

Mês bastante regular, com exceção do dia 20, os demais dias estão bastante regulares.

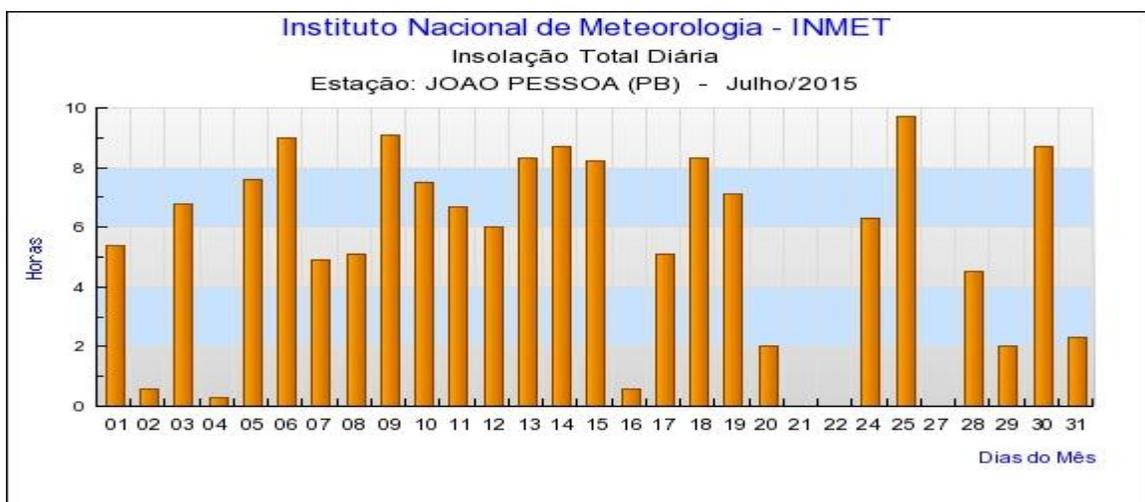
Fig.21 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (06/2015)



Fonte: INMET

Apesar de ser um mês com insolação irregular, nota-se um pico de mais de oito horas de insolação.

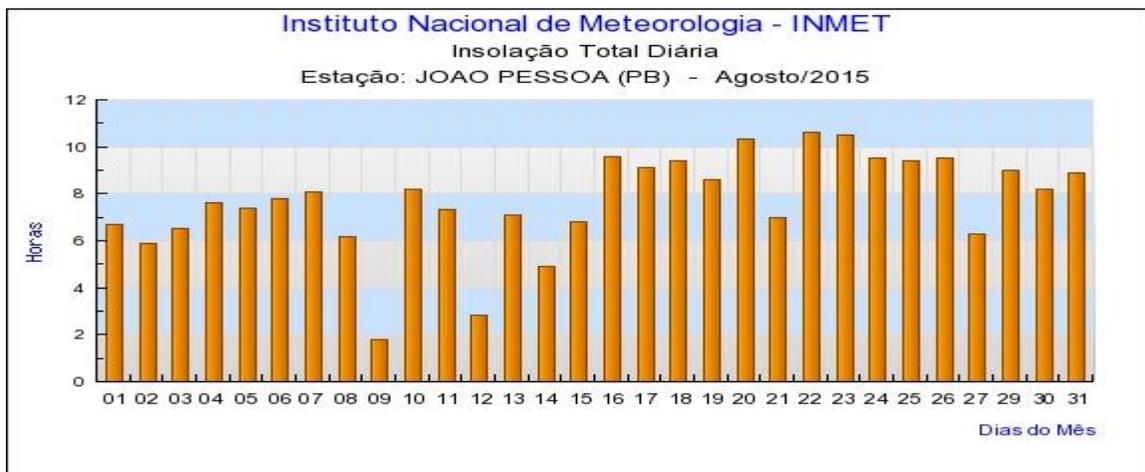
Fig.22 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (07/2015)



Fonte: INMET

Apesar de ser um mês com insolação irregular, nota-se um pico de mais de oito horas de insolação.

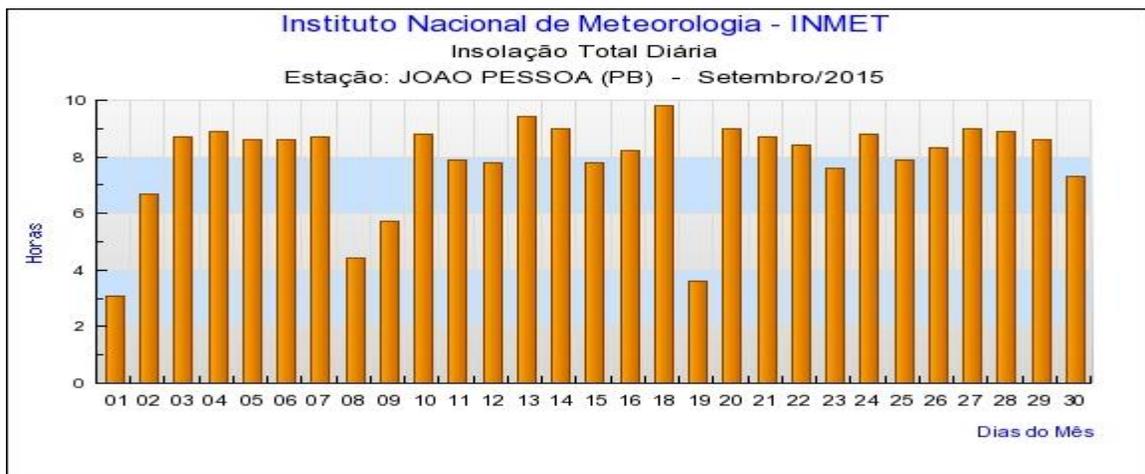
Fig.23 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (08/2015)



Fonte: INMET

Mês bastante regular, onde basicamente a insolação fica entre seis e dez horas.

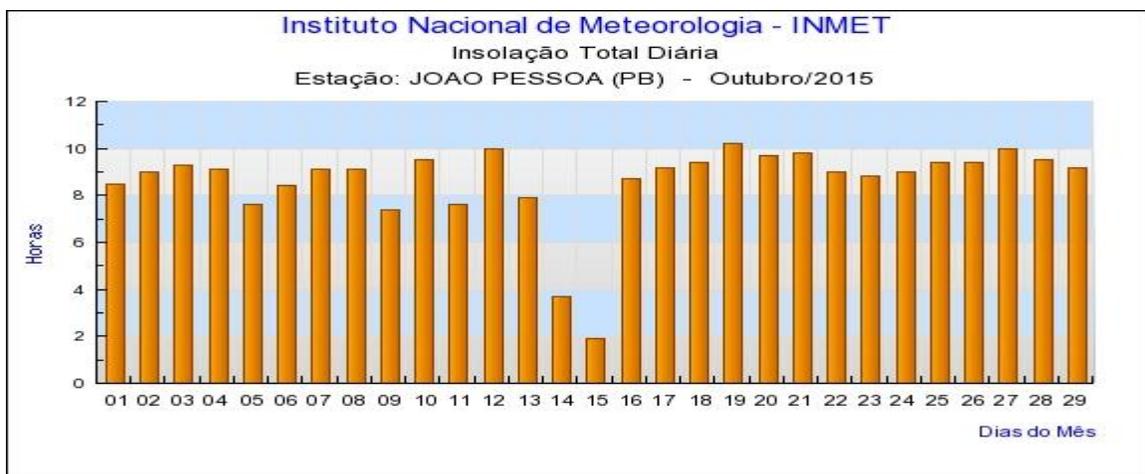
Fig.24 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (09/2015)



Fonte: INMET

Mês bastante regular, com insolação entre quatro e dez horas.

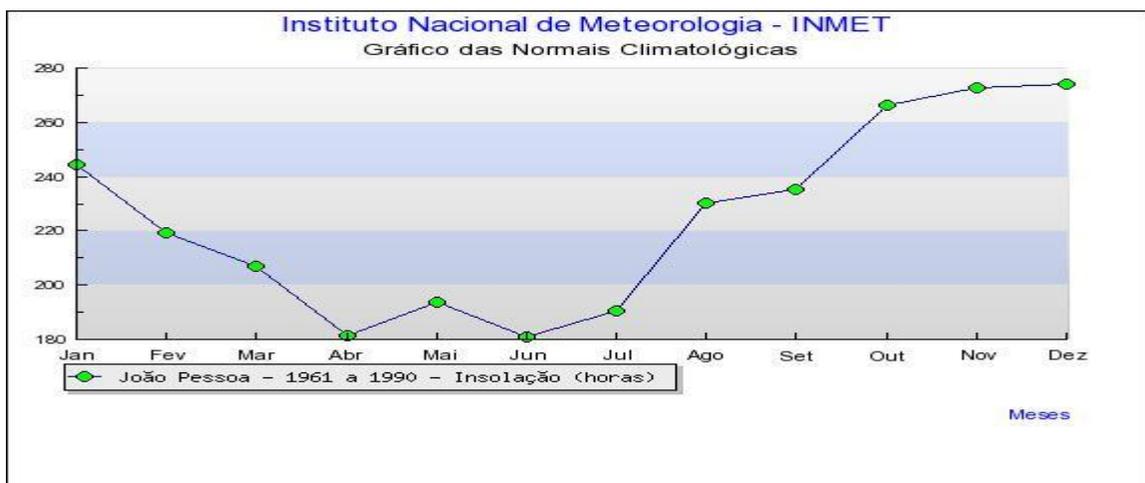
Fig.25 - Insolação total diária em João Pessoa – PB (10/2015)



Fonte: INMET

Mês bastante regular com exceção do dia quinze horas, a insolação fica em torno das sete horas.

Fig.26 - Gráfico de Normais Climatológicas João Pessoa – PB



Fonte: INMET

Gráfico insolação para o município de João Pessoa – PB, datadas de 1961 a 1990.

Os resultados aqui apresentados contribuem na busca e aprofundamento do uso da energia solar fotovoltaica no Município de Cabedelo-PB, podendo, a radiação solar ser ainda

mais explorada, pois é um importante recurso natural e abundante na nossa região. Acordos entre governo estadual, universidades e concessionária para implantação de placas fotovoltaicas em residências de baixa renda, já estão em funcionamento. Mesmo com o pouco avanço do Brasil na introdução da tecnologia solar fotovoltaica, já há alguns incentivos fiscais para alguns equipamentos fotovoltaicos.

A Resolução Normativa n. 482 abriu novas perspectivas para a geração distribuída no Brasil. Esta reduz as barreiras para a conexão à rede de distribuição de pequenos geradores de energia renovável, tornando-se assim um incentivo para que qualquer brasileiro produza sua própria eletricidade (SILVA, 2013).

Os dois impostos mais relevantes que incentivam o uso de alguns equipamentos fotovoltaicos são os Impostos sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS), de competência estadual, e o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), de competência federal. Quanto a legislação vigente, a ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica), órgão que regulamenta a geração, uso e transmissão de energia elétrica, através da resolução normativa n° 482/2012, onde: *Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.*

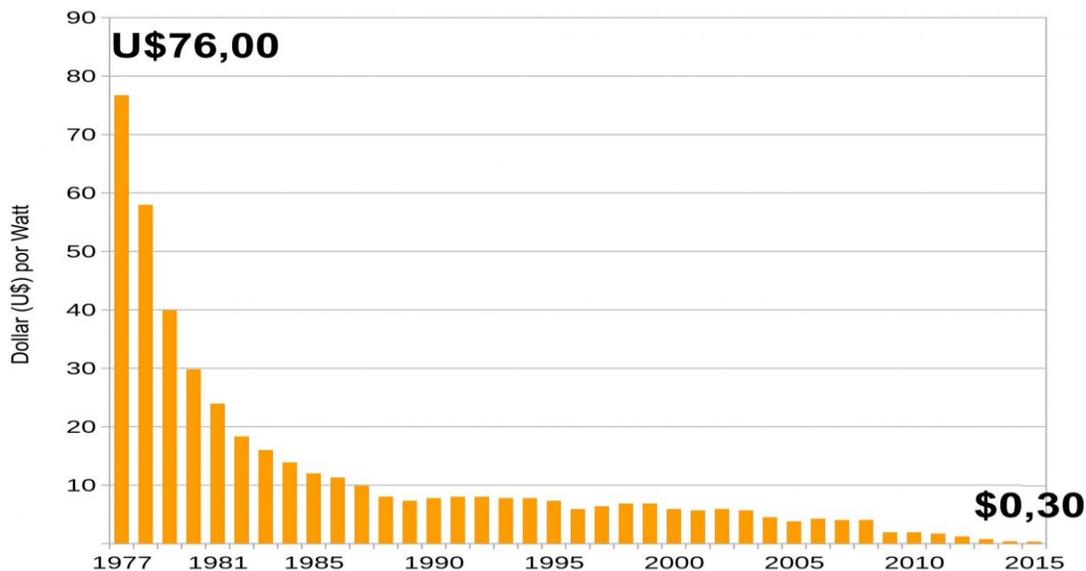
A partir desta resolução o Município de Cabedelo-PB, pode e deve, pensar nesta possibilidade, pois existe um potencial muito forte e que está sendo desperdiçado, obviamente isso irá depender, em primeiro lugar, da vontade política e das parcerias com a distribuidora de energia, no caso, a ENERGISA e com o capital privado, e além do mais , o custo vem caindo a cada ano.

Assim, para que essa nova concepção de rede opere de forma satisfatória, é necessário atender a critérios de segurança, qualidade, confiabilidade, assim como às premissas ambientais, regulatórias e econômicas, se faz necessária a adoção de políticas de otimização e automação da rede elétrica, suportadas pelos avanços tecnológicos da digitalização, da tecnologia da informação e telecomunicações, onde a rede do sistema elétrico será responsável por integrar e operacionalizar todas essas tecnologias (SCHETTINO, 2013).

O alto custo para sua fabricação tem sido objeto de estudo em laboratórios de todo o mundo, pois segundo a NREL (2004) o custo dos sistemas fotovoltaicos tem declinado

continuamente nas últimas décadas, o que implica que esta diminuição deve continuar no futuro. A figura 27 mostra o custo dessa forma de geração de energia, nos últimos anos.

Fig. 27 - Custo de geração de energia fotovoltaica no mundo com o passar do tempo.



Fonte: [www.archiproducts.com](http://www.archiproducts.com)

Os principais fatores que contribuem para um melhor aproveitamento da energia fotovoltaica são:

- **Quantidade de radiação;**
- **Tempo de insolação;**
- **Temperatura dos módulos;**
- **Área de instalação;**
- **Incentivos governamentais;**

Considerando a radiação incidente no município de Cabedelo-PB ser de cerca de 1000 W/m<sup>2</sup>, podendo este valor oscilar, tratando-se de uma padronização para efeito prático, tempo de insolação de no mínimo 6 horas, temperatura média de 25,6°C e uma área mínima de 70 m<sup>2</sup>, e com os incentivos governamentais é possível detectar a quantidade de energia gerada, isso

considerando também o tipo de painel utilizado e suas respectivas eficiências e fazer uma gestão eficiente.

O conhecimento do nível de radiação solar incidente no local onde se instalará o coletor do sistema solar de geração elétrica é da maior importância, pois permite o cálculo da energia solar captada, que é uma das variáveis básicas para o dimensionamento do sistema (REIS, 2006).

Um aproveitamento de apenas 0,01% da radiação solar seria suficiente para suprir toda a demanda energética mundial. Ou seja, equivalentemente, uma hora de energia solar incidente sobre o planeta equivale ao consumo energético mundial anual. ABINEE (2012).

A tabela abaixo informa os valores tomados como referência:

**Tabela 6: Especificações de um módulo fotovoltaico**

DADOS DO MÓDULO FOTOVOLTAICOS	
FABRICANTE	BOSCH
MODELO	M240-3BB
TECNOLOGIA	SILÍCIO MONOCRISTALINO
POTENCIA NOMINAL	240WP
PERDA DE POTÊNCIA ANUAL	0,80%
ÁREA DO PAINEL	1,6434 m <sup>2</sup>
PESO	21Kg
TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO(V <sub>oc</sub> )	37,4 V
COEFICIENTE DA TEMPERATURA DA TENSÃO	-0,32%/°C
CLASSIFICAÇÃO NA ENCE	A
VIDA ÚTIL	25 ANOS

Fonte: [www.brasil.bosch.com.br/](http://www.brasil.bosch.com.br/)

Em condições ideais de insolação, este módulo solar fotovoltaico produz 250W, 8,39A e 29,8V em corrente contínua, este módulo representara uma produção de energia de 31,25 kWh/mês, multiplicando este valor por sete, que corresponde ao numero de placas instaladas, este valor será de 218,75 kWh/mês. Considerando essa produção, em um ano teremos 2625 kWh/ano. O município de Cabedelo-PB possui 17.023 domicílios( IBGE, 2010) e dessa forma, considerando estes dados, o município pode gerar 44.685.375 kWh ou 44.685,375 MW, este valor equivale ao potencial da cidade e portanto pode ser gerido de acordo com a necessidade energética.

## **Conclusão**

Apesar do elevado potencial de aproveitamento solar que o país dispõe, no decorrer da pesquisa foi possível perceber que até então somente poucas tentativas foram realizadas visando incentivar a energia solar fotovoltaica, mas ainda assim bem ínfimas quando comparadas às iniciativas da Alemanha, Japão, EUA e Espanha. Até então, tudo o que se progrediu relacionado aos SFCR tem sido insuficiente no sentido de se criar um arcabouço regulatório específico para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil. Percebe-se nitidamente que o país necessita de um mecanismo regulatório específico de fomento caso pretenda ampliar a participação dessa fonte na matriz energética nacional, pois para efeito de sustentabilidade a energia solar é limpa, não emite gases do efeito estufa e se bem instaladas não agridem a paisagem, por fim, um recurso renovável, podendo oferecer energia mais barata e acessível.

Vale a pena salientar que a energia fotovoltaica é fundamental para avaliarmos o nosso consumo, pois está ligada à eficiência econômica dos aparelhos elétricos em nossos lares, que possam consumir menos energia e aproveitar o máximo possível da energia do sol. Os sistemas fotovoltaicos não necessitam de combustível quando estão em funcionamento e não têm emissões prejudiciais. No entanto, devem ser avaliadas questões que se prendem com o consumo de energia durante o processo de fabrico do equipamento, os fluxos de material e as possibilidades de reciclagem dos materiais, assim como com a reutilização de material auxiliar na transformação de fontes mais acessíveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Ed. - Brasília: Cap.1 e 5- Outras Fontes, 2008.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Tarifas de fornecimento de energia elétrica** / Agência Nacional de Energia Elétrica Ed. - Brasília: ANEEL, 2005.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica; Resolução Normativa N° 482/12; 2012.

CENTRO de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos** / Rio de Janeiro, CRESESB, 2004. p.17 – 30, p 141 – 164.

CGEE. Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. **Relatório do Estudo Prospectivo em Energia Fotovoltaica 2025**. Outubro, 2008.

DIENSTMANN, Gustavo. **Energia solar uma comparação de tecnologias** / Gustavo Dienstmann – Porto Alegre/RS, 2009. p13 – 33.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. **Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

[Http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=250320&search=%7C%7Cin%20fogr%20El%20ficos:-dados-gerais-do-munic%20EDpio](http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=250320&search=%7C%7Cin%20fogr%20El%20ficos:-dados-gerais-do-munic%20EDpio). Acesso em: 22 de Fevereiro de 2015.

[Http://www.ctgas.com.br/index.php/2012-04-16-20-11-31/projetos-em-andamento/128-estudo-da-geracao-fotovoltaica-centralizada-e-seu-impacto-no-sistema-eletrico](http://www.ctgas.com.br/index.php/2012-04-16-20-11-31/projetos-em-andamento/128-estudo-da-geracao-fotovoltaica-centralizada-e-seu-impacto-no-sistema-eletrico). acesso em: 10 de Dezembro de 2015

IEA — International Energy Agency. **Deploying Renewables**, 2009.

JANNUZZI, Gilberto de Martino. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação**. International Energy Initiative para a América Latina (IEI-LA) e Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas/SP, Outubro de 2009.p6 – 31.

NASCIMENTO, Adriana de Souza. **Energia solar fotovoltaica: estudo e viabilidade no nordeste brasileiro** / Adriana de Souza Nascimento.- João Pessoa/PB, 2015. p26 – 31, p39 – 99.

TIBA, C. et al. **Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres**. Recife: Editora Universidade da UFPE, 2000. 111p. Mapas.

SANTOS, Roque Magalhães dos. **Aplicação do método de kriging para estimar campos de radiação solar**: um estudo para o nordeste do Brasil/ Roque Magalhães Brito dos Santos – São José dos Campos: INPE, 2014 p.1 – 9 e p. 29 – 35.

SUBIDA, António. **Manual de energia solar fotovoltaica** ADIV - Associação para o Desenvolvimento e Investigação de Viseu Campus Politécnico 3504-510 VISEU. p10 - 31. Sem data.

VAREJÃO, S. M. A. **Meteorologia e climatologia**. Recife, 2006. Versão digital 2,cap.V.p165 - 208

VIANA, T. S; Ruther; R; Martins F. R; Pereira, E.B. **Assessing the potencial of concetrating solar photovoltaic generation in Brazil with satélite - derived direct normal irradiation**. Solar Energy, v.85; p.486-495, 2011.

---

***5 ANEXOS***

## 5.1 RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012

Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

O DIRETOR - GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto na Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no art. 4º, inciso XX, Anexo I, do Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, na Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, na Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, no Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, o que consta no Processo nº 48500.004924/2010-51 e considerando:

As contribuições recebidas na Consulta Pública nº 15/2010, realizada por intercâmbio documental no período de 10 de setembro a 9 de novembro de 2010 e;

As contribuições recebidas na Audiência Pública nº 42/2011, realizadas no período de 11 de agosto a 14 de outubro de 2011, resolve:

### CAPÍTULO I

#### DAS DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

**Art. 1º** Estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

**Art. 2º** Para efeitos desta Resolução ficam adotadas as seguintes definições:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica,

biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.

## **CAPÍTULO II**

### **DO ACESSO AOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO**

Art. 3º As distribuidoras deverão adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas para tratar do acesso de microgeração e minigeração distribuída, utilizando como referência os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras e, de forma complementar, as normas internacionais.

§1º O prazo para a distribuidora efetuar as alterações de que trata o caput e publicar as referidas normas técnicas em seu endereço eletrônico é de 240 (duzentos e quarenta) dias, contados da publicação desta Resolução.

§2º Após o prazo do § 1º, a distribuidora deverá atender às solicitações de acesso para microgeradores e minigeradores distribuídos nos termos da Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.

**Art.4º** Fica dispensada a assinatura de contratos de uso e conexão na qualidade de central geradora para a microgeração e minigeração distribuída que participe do sistema de compensação de energia elétrica da distribuidora, nos termos do Capítulo III, sendo suficiente a

celebração de Acordo Operativo para os 137 minigeradores ou do Relacionamento Operacional para os microgeradores. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.).

§1º A potência instalada da microgeração ou minigeração distribuída participante do sistema de compensação de energia elétrica fica limitada à carga instalada, no caso de unidade consumidora do grupo B, ou à demanda contratada, no caso de unidade consumidora do grupo A.

**Art. 5º** Quando da conexão de nova unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, ou no caso do §2º do art. 4º, aplicam-se as regras de participação financeira do consumidor definidas em regulamento específico.

Parágrafo único. Os custos de eventuais ampliações ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de microgeração ou minigeração distribuída participante do sistema de compensação de energia elétrica não deverão fazer parte do cálculo da participação financeira do consumidor, sendo integralmente arcados pela distribuidora.

### **CAPÍTULO III**

#### **DO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Art. 6º** O consumidor poderá aderir ao sistema de compensação de energia elétrica, observadas as disposições desta Resolução.

§1º Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora, será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 36 (trinta e seis) meses.

§2º A adesão ao sistema de compensação de energia elétrica não se aplica aos consumidores livres ou especiais.

**Art. 7º** No faturamento de unidade consumidora integrante do sistema de compensação de energia elétrica deverão ser observados os seguintes procedimentos:

I - deverá ser cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, conforme o caso.

II - o consumo de energia elétrica ativa a ser faturado é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto tarifário, quando for o caso, devendo a distribuidora utilizar o

excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes.

III - caso existam postos tarifários e a energia ativa injetada em um determinado posto tarifário seja superior à consumida, a diferença deverá ser utilizada para compensação em outros postos tarifários dentro do mesmo ciclo de faturamento, devendo ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia – TE, conforme definição da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, se houver.

IV - os montantes de energia ativa injetada que não tenham sido compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas para esse fim e atendidas pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica, possuidor do mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.

V - o consumidor deverá definir a ordem de prioridade das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica, devendo a unidade consumidora onde se encontra instalada a geração ser a primeira a ter seu consumo compensado.

VI - em cada unidade consumidora participante do sistema de compensação de energia elétrica, a compensação deve se dar primeiramente no posto tarifário em que ocorreu a geração e, posteriormente, nos demais postos tarifários, devendo ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia – TE para diferentes postos tarifários de uma mesma unidade consumidora, conforme definição da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, se houver.

VII - os créditos de energia ativa resultantes após compensação em todos os postos tarifários e em todas as demais unidades consumidoras, conforme incisos II a VI, expirarão 36 (trinta e seis) meses após a data do faturamento e serão revertidos em prol da modicidade tarifária sem que o consumidor faça jus a qualquer forma de compensação após esse prazo.

VIII - eventuais créditos de energia ativa existentes no momento do encerramento da relação contratual do consumidor serão revertidos em prol da modicidade tarifária sem que o consumidor faça jus a qualquer forma de compensação.

IX - a fatura deverá conter a informação de eventual saldo positivo de energia ativa para o ciclo subsequente em quilowatt-hora (kWh), por posto tarifário, quando for o caso, e também o total de créditos que expirarão no próximo ciclo.

X - os montantes líquidos apurados no sistema de compensação de energia elétrica serão considerados no cálculo da sobrecontratação de energia para efeitos tarifários, sem reflexos na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, devendo ser registrados contabilmente, pela distribuidora, conforme disposto no Manual de Contabilidade do Serviço Público de Energia Elétrica.

XI - Para as unidades consumidoras atendidas em tensão primária com equipamentos de medição instalados no secundário dos transformadores deverá ser deduzida a perda por transformação da energia injetada por essa unidade consumidora, nos termos do art. 94 da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010.

Parágrafo único. Aplica-se de forma complementar as disposições da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, relativas aos procedimentos para faturamento.

#### **CAPÍTULO IV**

#### **DA MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Art. 8º** Os custos referentes à adequação do sistema de medição, necessário para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, são de responsabilidade do interessado.

§1º O custo de adequação a que se refere o caput é a diferença entre o custo dos componentes do sistema de medição requerido para o sistema de compensação de energia elétrica e o custo do medidor convencional utilizado em unidades consumidoras do mesmo nível de tensão.

§2º O sistema de medição deve observar as especificações técnicas do PRODIST e ser instalado pela distribuidora, que deve cobrar dos interessados o custo de adequação.

§ 3º O sistema de medição deve ser registrado no ativo imobilizado em serviço, devendo a parcela de responsabilidade de o interessado ser contabilizada em contrapartida do Subgrupo Obrigações Vinculadas à Concessão do Serviço Público de Energia Elétrica.

**Art. 9º.** Após a adequação do sistema de medição, a distribuidora será responsável pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição ou adequação.

**Art. 10.** A distribuidora deverá adequar o sistema de medição dentro do prazo para realização da vistoria e ligação das instalações e iniciar o sistema de compensação de energia

elétrica assim que for aprovado o ponto de conexão, conforme procedimentos e prazos estabelecidos na seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.

## **CAPÍTULO V**

### **DAS RESPONSABILIDADES POR DANO AO SISTEMA ELÉTRICO**

*Art. 11.* Aplica-se o estabelecido no caput e no inciso II do art. 164 da Resolução Normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010, no caso de dano ao sistema elétrico de distribuição comprovadamente ocasionado por microgeração ou minigeração distribuída incentivada.

*Art.12.* Aplica-se o estabelecido no art. 170 da Resolução Normativa nº 414, de 2010, no caso de o consumidor gerar energia elétrica na sua unidade consumidora sem observar as normas e padrões da distribuidora local.

Parágrafo único. Caso seja comprovado que houve irregularidade na unidade consumidora, nos termos do caput, os créditos de energia ativa gerados no respectivo período não poderão ser utilizados no sistema de compensação de energia elétrica.

## **CAPÍTULO VI**

### **DAS DISPOSIÇÕES GERAIS**

*Art.13.* Compete à distribuidora a responsabilidade pela coleta das informações das unidades geradoras junto aos micro geradores e mini geradores distribuídos e envio dos dados constantes nos Anexos das Resoluções Normativas nos 390 e 391, ambas de 15 de dezembro de 2009, para a ANEEL.

*Art.14.* Ficam aprovadas as revisões 4 do Módulo 1 – Introdução, e 4 do Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição, do PRODIST, de forma a contemplar a inclusão da Seção 3.7 – Acesso de Micro e Minigeração Distribuída com as adequações necessárias nesse Módulo.

*Art. 15.* A ANEEL irá revisar esta Resolução em até cinco anos após sua publicação.

*Art. 16.* Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

**NELSON JOSÉ HÜBNER MOREIRA**

## 5.2 Cabedelo – Consumo de Energia (MWh)

	Residencial	Industrial	Comercial	Rural	Poder Público	Iluminação Pública	Serviço Público	Próprio
2005	27.212	18.468	15.080	24	2.477	5.021	298	34
2006	28.494	23.860	15.566	26	3.093	5.504	261	24
2007	29.616	25.402	16.893	27	3.137	5.372	287	5
2008	32.473	27.459	17.798	37	3.520	5.693	256	3
2009	34.551	29.401	18.616	35	3.937	5.332	306	8
2010	39.504	35.174	21.497	36	4.111	5.164	167	9
2011	43.610	36.745	23.877	43	4.658	5.116	288	17
2012	43.222	36.657	27.307	52	4.972	5.512	235	9
2013	47.973	40.515	29.662	45	5.322	5.539	265	13
2014	51.435	42.329	31.335	47	5.681	5.697	263	24

Fonte: Energisa