



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CÂMPUS PAU DOS FERROS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

EBERTE VALTER DA SILVA FREITAS

**DETERMINAÇÃO DAS RADIAÇÕES SOLARES PARA INSTALAÇÕES
FOTOVOLTAICAS NO ALTO OESTE POTIGUAR**

PAU DOS FERROS

2016

EBERTE VALTER DA SILVA FREITAS

**DETERMINAÇÃO DAS RADIAÇÕES SOLARES PARA INSTALAÇÕES
FOTOVOLTAICAS NO ALTO OESTE POTIGUAR**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, câmpus Pau dos Ferros, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Me. Adelson Menezes Lima.
Co-orientador: Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos.

PAU DOS FERROS

2016

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F862d Freitas, Eberte Valter da Silva .
DETERMINAÇÃO DAS RADIAÇÕES SOLARES PARA
INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS NO ALTO OESTE POTIGUAR /
Eberte Valter da Silva Freitas. - 2016.
40 f. : il.

Orientador: Adelson Menezes Lima.
Coorientador: Wesley de Oliveira Santos.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2016.

1. Energia Solar. 2. Dados Climáticos. 3. Alto
Oeste. 4. Pau dos Ferros. 5. Radiasol2. I. Lima,
Adelson Menezes , orient. II. Santos, Wesley de
Oliveira , co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

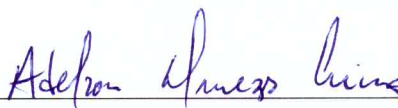
EBERTE VALTER DA SILVA FREITAS

**DETERMINAÇÃO DAS RADIAÇÕES SOLARES PARA INSTALAÇÕES
FOTOVOLTAICAS NO ALTO OESTE POTIGUAR.**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 23 / 05 / 2016.

BANCA EXAMINADORA



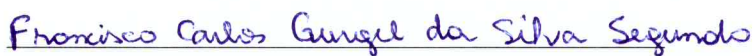
Prof. Me. Adelson Menezes Lima (UFERSA)

Presidente



Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos (UFERSA)

1º Membro Examinador



Prof. Me. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo (UFERSA)

2º Membro Examinador

Dedico este trabalho, a meus pais, irmãos,
minha sobrinha Milena e a meu sobrinho
Mateus que nascerá dias depois da defesa
desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Adelson pela orientação e paciência durante a elaboração desse trabalho em um período curto e corrido de conclusão de curso; ao professor Wesley pela ajuda no levantamento e tratamento de dados, além de correções; e, ao professor Segundo pela amizade e conversas sobre carreira, experiências, projetos e discursões nas aulas de circuitos, além da disponibilidade de participar da banca.

Pai, mãe, irmãos e, em breve, sobrinhos no plural, pensei e tentei fazer um daqueles agradecimentos clichês em que um parágrafo é reservado pra vocês, mas nada que escrevi me deu a sensação de que foi o suficiente e poderia seguir para os parágrafos e agradecimentos seguintes, a verdade é que nada que escreva me dará essa sensação, e tudo que eu fiz, faço e farei é pra vocês e por vocês. Obrigado!

RESUMO

A crescente demanda mundial por eletricidade estimula o uso da energia solar, porém a intensidade variável da radiação faz necessário um levantamento histórico dos seus valores para garantir maior eficiência de um sistema de aproveitamento ao longo do ano. Para obtenção dos dados de radiação global, umidade relativa do ar, temperaturas máxima mínima e média, o presente estudo utilizou dados da estação automática do INMET da cidade de Apodi-RN, localizada a 74,1 km de Pau dos Ferros. Adaptações foram realizadas nos dados visando tornarem-se compatíveis com o método empregado pelo software Radiasol2, o qual possibilita a sintetização de sequências de radiação diária tendo como dados de entrada a série de 12 valores médios mensais de radiação, umidade relativa do ar, temperatura máxima, mínima e média. A coleta e o emprego dos dados demonstraram resultados satisfatórios para médias de irradiação global diárias, as quais, facilmente ultrapassam 2 kWh/m², o que torna alta a incidência de irradiação solar no alto-oeste potiguar e, constata-se ainda, uma baixa variação ao longo dos meses. Esta é uma média superior a de países europeus líderes na produção energética fotovoltaica e condição excelente do ponto de vista de aproveitamento da energia solar para geração de energia elétrica.

Palavras-chave: Dados climáticos. Pau dos Ferros. Rio Grande do Norte. Energia Solar.

ABSTRACT

The growing global demand for electricity encourages the use of solar energy, but the variable intensity of radiation a historical survey is required of its values to ensure more efficient use of a system throughout the year. To obtain the global radiation data, relative humidity, maximum and minimum temperature average, this study used data from the automatic station of INMET the city of Apodi-RN, located 74.1 km from Pau dos Ferros. Adaptations were performed on the data order to become compatible with the method used by Radiasol2 software, which enables the synthesis of daily radiation sequences taking as input the series of 12 monthly average values of radiation, relative humidity, maximum temperature, minimum and average. The collection and use of data demonstrated satisfactory results for averages of daily global radiation, which easily exceed 2 kWh/m², which makes high incidence of solar radiation on the high west Potiguar and it appears still low variation over the months. This is an average higher than in European countries leaders in photovoltaic energy production and excellent condition from the point of view of the solar energy utilization for power generation.

Keywords: Climate data. Pau dos Ferros. Rio Grande do Norte. Solar energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera.	15
Figura 2- Média da radiação diária de fevereiro de 2016 em W/m ²	16
Figura 3 - Ângulo de incidência da radiação solar.	17
Figura 4 - Paralelismo e angulação dos raios solares na altura do Equador (a), dos trópicos (b) e nos pólos (c).	18
Figura 5 - Representação de afélio e periélio.	19
Figura 6 - Zonas térmicas e Linhas imaginárias.	19
Figura 7 - Sucessão das estações do ano.	20
Figura 8 - Mapa da média anual de albedo de superfície obtido por interpolação de vizinho mais próximo.	22
Figura 9 - Estação Automática.	23
Figura 10 - Interface inicial do Software Radiasol2.	24
Figura 11 - Interface Radiasol2.	25
Figura 12 - Entrada Manual de Dados.	29
Figura 13 - Radiação inclinada.	31
Figura 14 - Radiação direta Inclinada.	31
Figura 15 - Radiação difusa inclinada.	32
Figura 16 - Radiação Global Horizontal.	32
Figura 17 - Irradiação inclinada, direta inclinada, difusa inclinada, e Global horizontal em detalhe.	33
Figura 18 – Radiação Inclinada.	34
Figura 19 – Radiação Direta Inclinada.	34
Figura 20 – Difusa inclinada.	35
Figura 21 – Global Horizontal.	35
Figura 22 - Médias mensais de irradiação em kWh/m ²	36
Figura 23 - Novembro, mês das maiores médias.	36
Figura 24 - Fevereiro, mês das menores médias.	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados trabalhados a serem inseridos no software.....	30
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito.

DSA - Divisão de Satélites Ambientais.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

LABSOL - Laboratório de Energia Solar da UFRGS.

SUBMET – Sociedade Brasileira de Meteorologia.

SWERA – Solar and Wind Energy Resource Assessment.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS GERAIS	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 RADIAÇÃO SOLAR.....	14
2.2 POSICIONAMENTO DA TERRA	17
2.2.1 Latitude terrestre e altitude do sol.....	17
2.2.2 Período do ano e duração dos dias.....	18
2.2.3 Albedo	21
2.3 BASE DE DADOS	22
2.3.1 Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.....	22
2.3.2 Software Radiasol2.....	23
2.3.2.1 A Avaliação dos Recursos de Energia Solar e Eólica (SWERA)	26
2.4 ALTO OESTE POTIGUAR.....	26
2.4.1 Cidade de Pau dos Ferros	26
2.4.2 Cidade de Apodi.....	27
3 METODOLOGIA	28
3.1 CONSIDERAÇÕES.....	29
4 RESULTADOS	30
5 CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

O espaço das energias renováveis vem crescendo à medida que os sinais de esgotamento e os prejuízos ambientais das fontes utilizadas em larga escala nos dias atuais vão ficando mais evidentes. Países cujas reservas naturais e posicionamento geográfico são desfavoráveis à produção energética proveniente de combustíveis fósseis, despontam na produção de energia renovável e limpa, muito embora, agora, sejam seguidos e tidos como exemplos pelos demais quando na elaboração de políticas de cunho promocional e viabilizador das novas fontes energéticas.

Dentre as energias renováveis, a energia solar é uma das que sempre ganham destaque devido a sua distribuição quase que uniforme na zona intertropical. O Brasil, por apresentar-se quase que totalmente na zona tropical, inclusive sendo cortado pela Linha do Equador, tem altos índices de radiação solar em quase toda sua extensão e durante a maior parte do ano, todavia, a tardia atenção dada a esse potencial energético faz carecer de estudos que dimensionem e demarquem as áreas mais eficientes para uma possível exploração, sobretudo devido o alto custo dos equipamentos de conversão de energia solar em elétrica.

A simulação do equipamento em operação é uma das técnicas mais precisas de dimensionamento de sistemas de conversão de energia solar, onde, um trabalho bem realizado, permite identificar o potencial de produção máximo e mínimo, possibilitando o estudo da viabilidade e benefícios daquela proposição. Nesse contexto, softwares para geração de dados horários de radiação solar, como o Radiasol e seu sucessor, Radiasol2, atendem a demanda de profissionais fornecendo dados para radiação solar média, necessárias no posterior emprego em programas de simulação e dimensionamento.

Apesar das radiações médias anuais serem elevadas, há pouca disponibilidade dos níveis médios mensais e mesmos diários do alto oeste potiguar, o que torna essa região uma provável matriz energética solar esquecida em um momento em que a energia fotovoltaica torna-se cada vez mais viável economicamente diante do elevado custo da energia elétrica no Brasil e dos aumentos inflacionários das tarifas de eletricidade, além das recentes aprovações da micro e minigeração oriunda de fontes renováveis pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o que deve impulsionar essa atividade nos próximos anos.

Ainda convém lembrar a barreira que a ausência desses dados quantitativos representa à determinação do local com maior garantia de eficiência para instalação, e, sendo os custos de transmissão e distribuição, acrescidos dos impostos, os principais fatores que justificam as altas taxas de eletricidade gerada nas hidrelétricas, o sistema fotovoltaico instalado em áreas

urbanas (sem custo de transmissão) ligadas diretamente à rede elétrica de baixa tensão, em conformidade com o determinado pela ANEEL sobre as micro e miniusinas, torna-se muito competitivo e pode reduzir as contas de eletricidade. Apesar do elevado preço do equipamento e instalação, os sistemas fotovoltaicos duram pelo menos 25 anos, que é o tempo mínimo de vida útil, têm baixo custo de manutenção, torna o consumidor imune a elevação de taxas e apresenta um retorno de investimento estimado com base na redução de gastos, em 7 (sete) anos, segundo Rodrigo Lopes Sauaia, diretor executivo da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica.

Além disso, a proposta de análise da quantidade de radiação para o alto oeste potiguar, em especial a cidade de Pau dos Ferros/RN, e consequente viabilidade de implantação de uma usina solar fotovoltaica apresenta-se então como uma pesquisa relevante, visto a proximidade do local com a linha do equador, bem como estar situado na região do semiárido nordestino, onde há alto índice de radiação solar, estabelecendo a cidade e a região do alto oeste como detentoras de forte potencial energético, tornando válido o investimento na região, motivando não só a comunidade acadêmica e pau-ferrense como empresas do ramo de produção energética fotovoltaica a voltar seus olhos para esse potencial local.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho visa obter o índice de radiação solar no alto oeste potiguar de modo a estabelecer a viabilidade da implantação de usinas solares fotovoltaicas na região.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter valores médios de radiação, umidade relativa do ar e temperatura para o Alto Oeste potiguar;
- Determinar o índice de radiação solar no alto oeste por meio do software Radiasol2;
- Verificar a viabilidade de instalação de uma estação meteorológica automática em Pau dos Ferros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo apresenta inicialmente uma conceituação sobre radiação solar, posicionamento e movimentação terrestre e solar, bem como trata do funcionamento do software Radiasol2, banco de dados oferecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA). Além disso, lista características da cidade de Pau dos Ferros que influenciam na irradiação local, a fim de suprir conhecimentos básicos primordiais para o desenvolvimento e compreensão da pesquisa.

2.1 RADIAÇÃO SOLAR

Radiação solar é a quantidade de energia sob forma de luz e calor, de intensidade variável, emitida pelo sol, que se propaga por meio de ondas eletromagnéticas. É a maior fonte de energia da Terra, principal elemento meteorológico e um dos fatores determinantes do tempo e do clima.

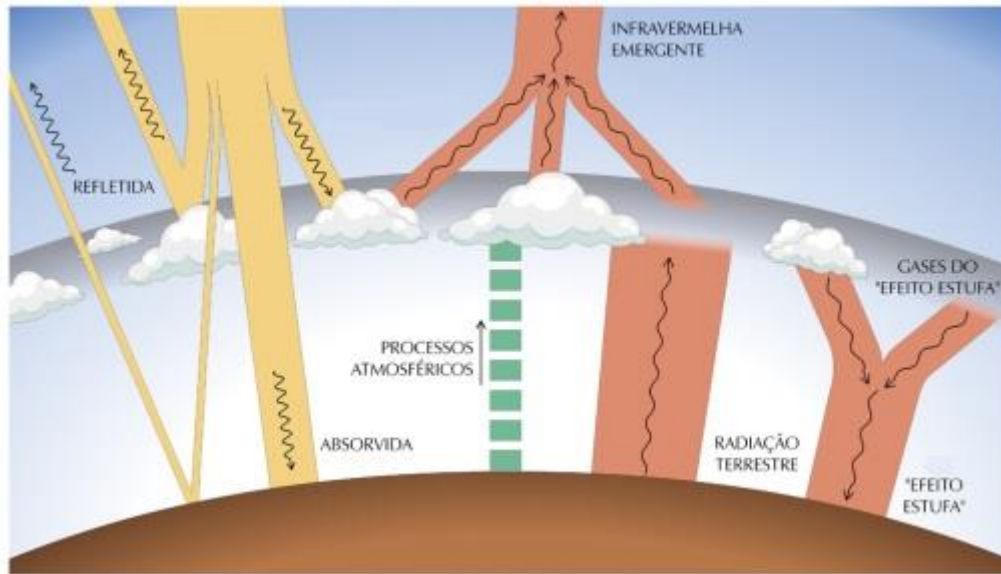
A energia solar chega até nós partindo do Sol e atravessando o vácuo por radiação. Aproximadamente 51% da energia solar que chega ao topo da atmosfera consegue atingir a superfície da Terra. Um total de 49% de radiação solar nunca chega a ser absorvida pela superfície do planeta, sendo refletida de volta ao espaço pelas camadas mais densas da atmosfera, partículas em suspensão, topos de nuvens e pelas características reflexivas da superfície da terra, dos oceanos e das calotas polares (SUBMET, 2011).

Os cerca de 51% restantes da radiação de curto comprimento de onda atravessam com facilidade a camada dos gases de estufa, que é transparente para comprimentos de onda mais energéticos. Esta energia radiante atinge a superfície da Terra, onde é absorvida pelo solo e pela água. Estes atuam como absorvedores de calor, armazenando a energia recebida de curto comprimento de onda. A energia é, em seguida, reemitida como uma radiação infravermelha, menos energética, de maior comprimento de onda em direção ao espaço.

Conforme a Figura 1, quando a radiação de maior comprimento de onda atinge a região dos gases de estufa, a sua maior parte é imediatamente refletida de volta à Terra ou absorvida e reemitida. A perda de calor pelo planeta fica significativamente reduzida.

Embora a maior parte da radiação de maior comprimento de onda não consiga passar pelos gases de estufa, ao final, 12% desta emissão atravessa os gases e escapa para o espaço.

Figura 1- Diagrama dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera.



Fonte: Adaptado de Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006.

A radiação que atinge a superfície da Terra é chamada de radiação solar global, a recebida indiretamente na superfície, de radiação solar difusa, a incidente diretamente, de radiação solar direta e a quantidade de energia devolvida pela Terra, sob a forma de radiações de grande comprimento de onda, de radiação terrestre.

A radiação direta é a fração dos raios solares com maior potencial de aproveitamento energético, em comparativo com o potencial da radiação difusa (VIEIRA, 2014).

Segundo a Sociedade Brasileira de Meteorologia (SBMET, 2011), a radiação global pode ser medida com instrumentos que registram a energia que atinge o solo: actinógrafos ou solarímetros. Na falta destes instrumentos, pode ser estimada a partir das horas de insolação.

A radiação de maior comprimento de onda redirecionada de volta à Terra pelos gases de estufa é novamente absorvida pelo solo e pela água na sua superfície. O ciclo de remissão e reflexão se repete com o pacote original de energia diminuindo 12% a cada vez, até que tenha finalmente escapado totalmente para o espaço.

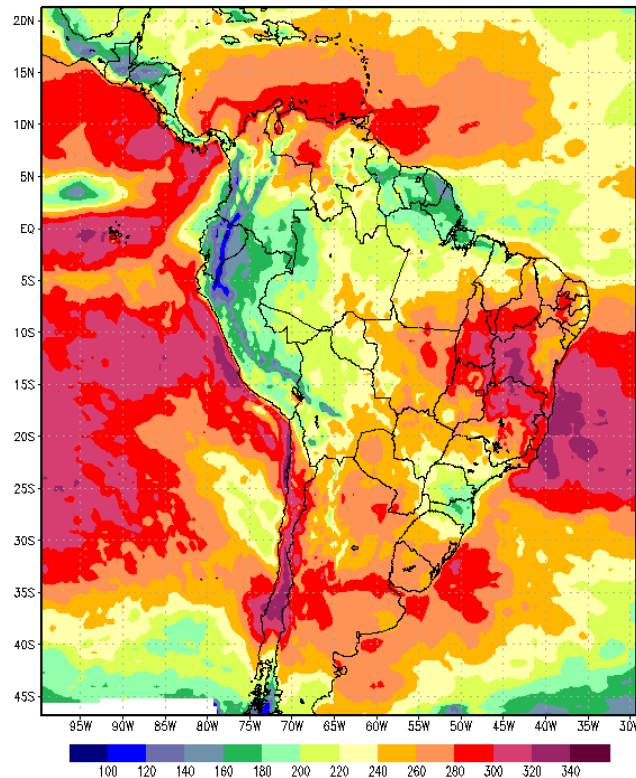
Tendo em conta que a quantidade de energia recebida à superfície é igual à devolvida para a atmosfera, a Terra encontra-se em equilíbrio térmico. Mesmo assim, estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial (CRESESB, 2006).

Segundo o Atlas Brasileiro de Energia solar 2006,

“[...] uma extensa base de dados de satélite e dados coletados em superfície foi necessária para o mapeamento do fluxo de radiação solar incidente no território brasileiro. Além disso, uma base de dados confiável e de alta qualidade de irradiação solar em superfície é essencial para a validação das estimativas fornecidas pelo modelo de transferência radiativa.”

Na Figura 2, encontra-se imagem de satélite fornecida pela Divisão de Satélites Ambientais (DSA) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), que mostra o índice da radiação média diária no mês de fevereiro de 2016, no qual é possível notar altas médias no nordeste brasileiro.

Figura 2- Média da radiação diária de fevereiro de 2016 em W/m^2 .



Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE, 2016.

Segundo WANDERLEY & CAMPOS (2013), a densidade média do fluxo energético da radiação solar, quando medida num plano perpendicular à direção da propagação dos raios solares no topo da atmosfera terrestre, é igual a 1.367 W/m^2 , valor este designado por constante solar.

Esse número referência à energia radiante antes que ocorram perdas e distribuições. Mesmo assim, admitindo que cerca de 50% retornem para o espaço, o solo é atingido por algo em torno de $1 \text{ cal/cm}^2 \times \text{min}$, equivalente a $0,64 \text{ kW/m}^2$. Isso significa dizer que uma área de 100 m^2 recebe, em 12 horas de insolação, uma quantidade de energia de 64×10^6 calorias, isto é, aproximadamente $2,8 \times 10^8$ joules. Portanto, é grande a quantidade de energia solar que chega ao solo e está disponível para o uso.

2.2 POSICIONAMENTO DA TERRA

A eficiência dos processos de aproveitamento de energia solar no Brasil está diretamente atrelada à radiação solar incidente na região de aplicação. Assim, é importante conhecer o posicionamento da Terra, seus movimentos e consequentes variações nas condições ambientes que possam a vir interferir no nível de radiação solar (VIEIRA, 2014).

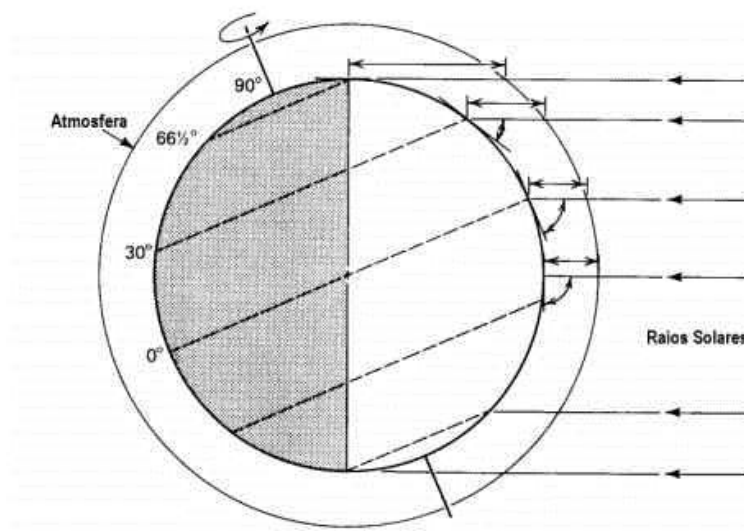
A quantidade de energia solar recebida à superfície da Terra varia de lugar para lugar e durante o ano devido a órbita terrestre ser elíptica, havendo, então, uma variação e uma distribuição desigual desta energia.

As variações quanto ao volume de energia recebida dependem, entre outros fatores, da latitude, altitude do sol, período do ano e duração dos dias.

2.2.1 Latitude terrestre e altitude do sol

A latitude faz variar a radiação solar, devido ao ângulo de incidência. O fato de a Terra ser esférica contribui para este fenômeno, diminuindo, assim, o ângulo de incidência, porque aumenta a inclinação dos raios solares, o que se traduz numa maior superfície receptora de energia. Dessa maneira, quanto menor a latitude, maior é a radiação solar, porque a inclinação dos raios solares é menor. Logo, o sul apresenta uma radiação solar mais elevada que o norte e quanto mais nos afastarmos do Equador, menor é a temperatura, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Ângulo de incidência da radiação solar.

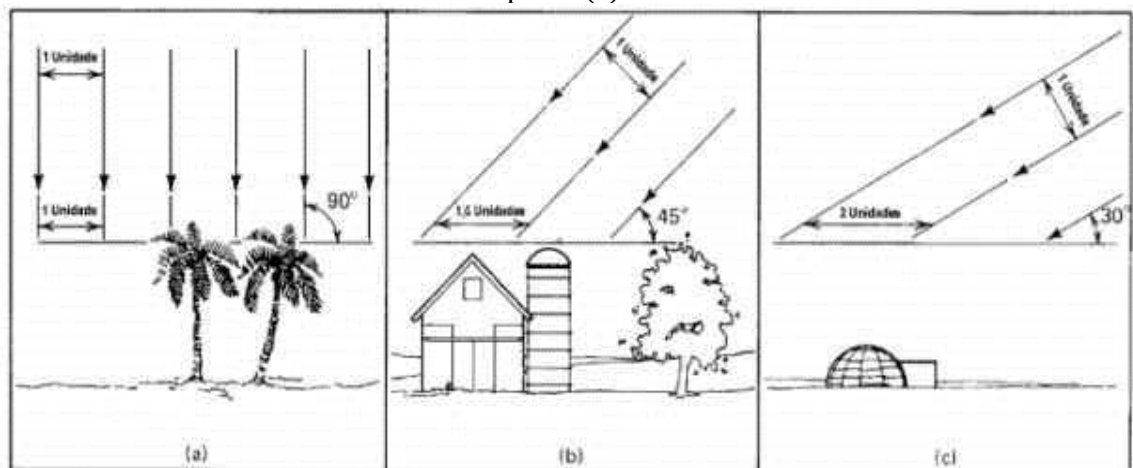


Fonte: Movimentos da Terra, estações – UFPR, 2016.

A altitude do Sol, que é o ângulo de inclinação com que os raios solares atingem a superfície, é um dos principais fatores que determina o montante de energia solar recebida. Quanto mais perpendiculares são os raios, mais intensos se apresentam. Pela Figura 4, observa-se que, na linha do Equador, onde a latitude é zero, os raios são perpendiculares (maior altitude do Sol) e a insolação atinge seus níveis máximos. Nas regiões polares, ao contrário, onde os raios penetram inclinados, há uma maior dispersão da energia pela superfície onde a mesma se distribui. É importante não confundir a Altitude do sol com a altitude em relação ao nível do mar, haja vista que o aumento desta provoca um aumento da nebulosidade e uma redução da insolação, o que reduz a radiação solar.

O Movimento Aparente do Sol (MAS) é o movimento que o sol aparenta realizar diariamente, deslocando-se de leste para oeste, devido ao movimento de rotação da Terra. Zênite corresponde ao ponto mais alto do movimento aparente do sol às 12 horas na altura do Equador.

Figura 4 - Paralelismo e angulação dos raios solares na altura do Equador (a), dos trópicos (b) e nos polos (c).



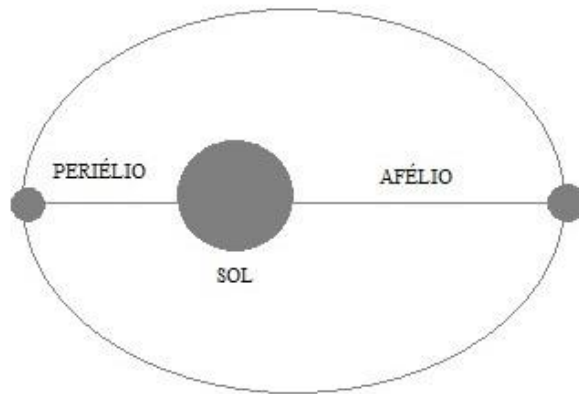
Fonte: Adaptado de Movimentos da Terra, estações – UFPR, 2016.

2.2.2 Período do ano e duração dos dias

A distância média da Terra ao Sol é de 150 milhões de quilômetros, contudo como a órbita da Terra em torno do Sol é elíptica há uma época em que a Terra está mais próxima do Sol, chamada de periélio e cuja distância é de 147 milhões de quilômetros em 31 de dezembro e, portanto, a insolação será maior. Em 1º de julho a distância entre os dois astros é maior, sendo aproximadamente igual a 152 milhões de quilômetros e chamada de afélio, apresentando uma radiação menor. A diferença entre esses períodos, no que diz respeito à

insolação pode atingir a cifra de até 7%. Abaixo, a Figura 5 traz representação das distâncias máximas e mínimas entre o Sol e a Terra decorrentes da órbita de translação.

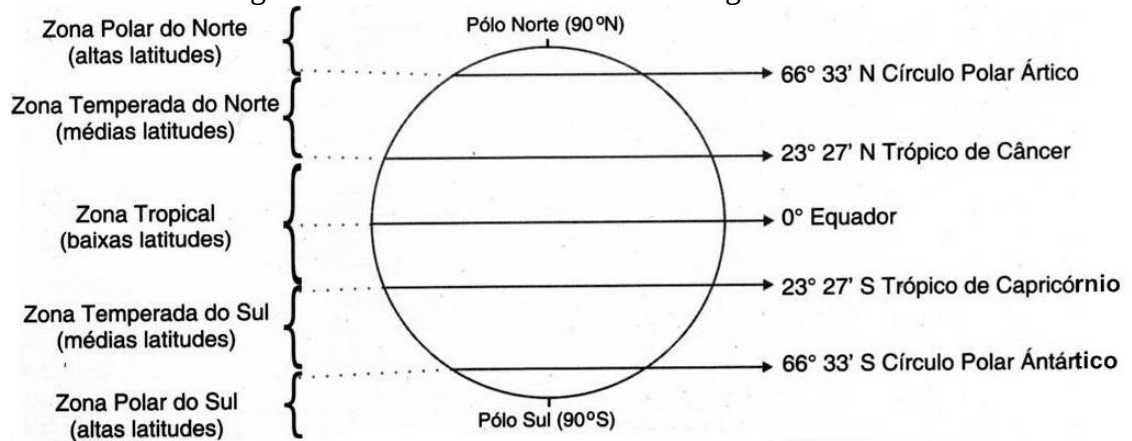
Figura 5 - Representação de afélio e periélio.



Fonte: Autor, 2016.

A Obliquidade da eclíptica corresponde à inclinação do Equador terrestre em relação ao plano de órbita, correspondendo a um ângulo agudo de $23^{\circ}27'33''$. A forma da Terra e a maneira pela qual os raios solares incidem sobre ela justificam a existência das zonas de iluminação ou zonas térmicas, como pode ser observado abaixo.

Figura 6 - Zonas térmicas e Linhas imaginárias.



Fonte: Adaptado de Movimentos da Terra, estações – UFPR, 2016.

A Zona Intertropical situa-se entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio (áreas de baixas latitudes), sendo atravessada ao centro pela linha equatorial. Constitui a zona mais quente do globo, onde não se observam as estações do ano. As Zonas Temperadas, aparecem nas áreas de médias latitudes, a partir dos trópicos até os círculos polares, nelas a ocorrência das quatro estações é bem observada. As Zonas Polares situam-se no interior dos círculos polares e constituem as regiões do globo, quase que permanentemente cobertas por gelo.

Considerando a obliquidade da eclíptica e o movimento de translação, pode-se observar que os raios solares não incidem de maneira igual em toda a superfície terrestre no decorrer do ano, ou seja, incidem com maior ou menor intensidade, determinando as diferenças de aquecimento.

De acordo com a Figura 7, entre 21 de dezembro e 21 de março, os raios solares incidem com maior intensidade sobre o hemisfério Sul, ocasionando o verão, e com menor incidência no hemisfério Norte, ocasionando o inverno.

Entre 21 de março e 21 de junho, os raios solares incidem com maior intensidade na altura do Equador, tendo como consequência o outono no hemisfério Sul e a primavera no hemisfério Norte.

Entre 21 de junho e 23 de setembro, há menor incidência de raios solares sobre o hemisfério Sul, ocasionando o inverno, e maior incidência no hemisfério Norte, propiciando o verão.

Entre 23 de setembro e 21 de dezembro, os raios solares incidem com maior intensidade na altura do Equador, resultando na primavera para o hemisfério Sul e outono para o hemisfério Norte.

Figura 7 - Sucessão das estações do ano.



Fonte: Adaptado de MAGNOLI, D.; SCALZARETTO, R.

Durante o verão, as temperaturas são mais elevadas e os dias são cada vez mais longos à medida que ocorre maior afastamento do Equador. No inverno, as temperaturas são mais baixas e as noites são cada vez mais longas à medida que o corre maior afastamento do Equador. No início da primavera, os dias e as noites apresentam a mesma duração, ficando

cada vez mais longos conforme o verão se aproxima. Da mesma maneira ocorre com o aquecimento, ou seja, as temperaturas tendem a se elevar. Ao iniciar o outono, os dias e as noites apresentam a mesma duração, porém, à medida que o inverno se aproxima, as temperaturas declinam e as noites vão se tornando mais longas. Evidentemente, o hemisfério que estiver voltado para o Sol (verão) apresentará dias mais longos e, conseqüentemente maior insolação.

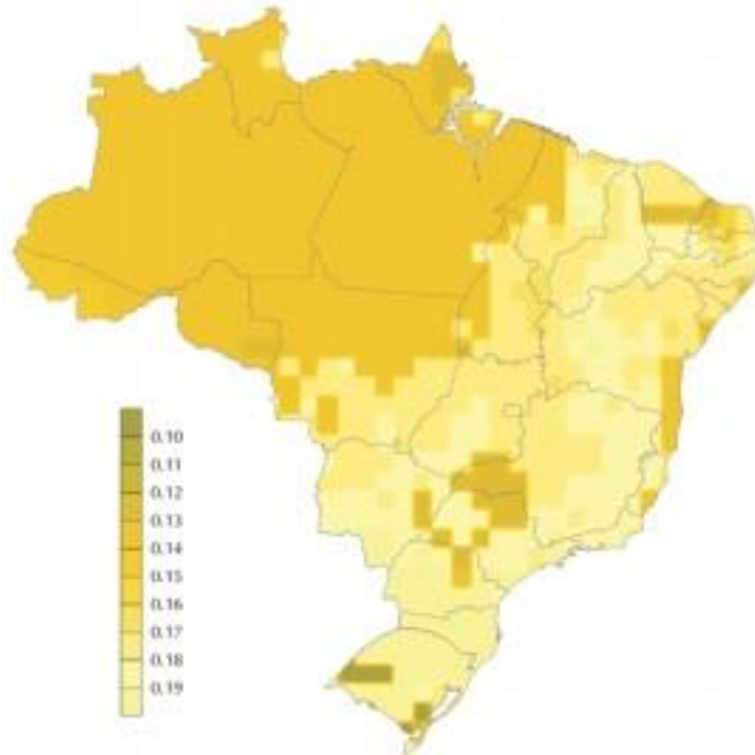
2.2.3 Albedo

Outro fator importante na variação do volume de energia recebida é o albedo. O Albedo corresponde à capacidade que os diferentes componentes da superfície terrestre têm de refletir parte da radiação solar e não a absorver. Cada área do planeta apresenta um albedo específico, medido em porcentagem. Já o albedo terrestre, que é a razão entre a radiação média refletida pela superfície do planeta e a proveniente do Sol, é de 30%.

“O albedo de superfície é função da refletância da camada de cobertura do solo e de seu uso. Essa refletância varia no transcorrer do ano dependendo do estágio de crescimento da vegetação, estação do ano e variações interanuais do clima.” (ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2006).

Na Figura 8 observa-se que a região do Alto Oeste apresenta uma das maiores médias de albedo de superfície da região Nordeste.

Figura 8 - Mapa da média anual de albedo de superfície obtido por interpolação de vizinho mais próximo.



Fonte: Adaptado de Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006.

2.3 BASE DE DADOS

2.3.1 Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) tem por missão o fornecimento livre e de qualidade de informações meteorológicas a sociedade brasileira de modo a possibilitar e influenciar a tomada de decisões, sobretudo no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável. É realizado diariamente pelo INMET o monitoramento, análise e previsão de tempo e de clima nas várias estações instaladas em todo o país.

O Banco de Dados Meteorológicos do INMET conta com dados de informações diárias tomadas desde 1961, além de possuir projeto de recuperação e incorporação de dados históricos a seu banco digital. Diariamente são publicadas, a previsão do tempo, avisos e boletins meteorológicos, levantamentos meteorológicos e climatológicos. Os dados, históricos e diários, são disponibilizados gratuitamente na página <http://www.inmet.gov.br>.

Na Figura 9 é possível observar a configuração e distribuição de equipamentos de medição de uma estação automática do INMET.

Figura 9 - Estação Automática.



Fonte: INMET, 2016.

2.3.2 Software Radiasol2

Cada ângulo da superfície detém um nível de radiância diferente, decorrente das condições já discutidas, assim, para obter dados do potencial de um local durante o ano seria necessário a realização de medições de longo prazo e no determinado ângulo do local escolhido. Existem vários modelos de estimativas de radiação em superfícies inclinadas, desenvolvidos para suprir essa demanda. Aqui, foi o utilizado o modelo empregado pelo software Radiasol2.

O programa RADIASOL, desenvolvido no Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, atendia a demanda de profissionais da construção civil interessados em estudar o potencial de instalação de placas fotovoltaicas em seus projetos com base no índice de radiação local médio fornecido. A versão atual do software, o RADIASOL2, engloba as funções do projeto original e agrega outras, como a possibilidade de emissão de planilhas a serem usadas em outros programas de dimensionamento e testes de instalação, além de possuir maior banco de dados, e minimizar erros.

É utilizado principalmente por pesquisadores que atuam na área de energia solar e pretende auxiliar os interessados em utilizar a energia solar no Brasil a realizar cálculos de

determinação da disponibilidade da radiação solar em planos de diferentes orientações (UFRGS, 2014).

Figura 10 - Interface inicial do Software Radiasol2.



Fonte: Autor, 2016.

Apesar de conter um banco de dados, é importante salientar que o Radiasol2 não é um programa de geração de dados, sendo indicado o uso de seus dados já cadastrados, quando o usuário não dispõe de levantamentos de irradiação confiáveis para o dimensionamento.

“Para facilitar a sua utilização o RADIUSOL2 dispõe de duas opções de entrada de dados, além da simples digitação dos dados iniciais requeridos. Uma destas opções incluem dados climáticos relacionados com coordenadas geográficas da localização. Trata-se da opção de origem dos dados por MAPAS com dados de irradiação solar em média mensal obtidos através do programa SWERA e com demais dados climáticos obtidos dos mapas disponibilizados na Internet pelo INMET.” (UFRGS, 2014).

Para a sintetização de dados sequenciais de irradiação solar horária são requeridos dados médios mensais da irradiação solar diária incidente sobre uma superfície horizontal. Além disso, são requeridos média mensal das temperaturas média, máxima e mínima. A umidade relativa não é utilizada nos cálculos.

Figura 11 - Interface Radiasol2.

RadiaSol 2 - Escolher Localidade

Desvio Azimutal: 0

Inclinação do Módulo: 45

Albedo Local: 20

Origem dos Dados: ☒ Mapas (SWERA) ☐ Interpolação do Banco de Dados

Cidade: Interpolado

Opções:

Temperatura Média		Temperatura Mínima		Temperatura Máxima	
40		40		40	
30		30		30	
20		20		20	
10		10		10	
0		0		0	
J F M A M J J A S O N D		J F M A M J J A S O N D		J F M A M J J A S O N D	

Radiação		Radiação Inclinada		Umidade Relativa	
7		7		100	
5,25		5,25		75	
3,5		3,5		50	
1,75		1,75		25	
0		0		0	
J F M A M J J A S O N D		J F M A M J J A S O N D		J F M A M J J A S O N D	

Fonte: Autor, 2016.

Caso o usuário não disponha dos dados, pode posicionar o cursor na unidade de federação desejada e selecionar uma das cidades que possuem dados cadastrais, ou mesmo, inserir as coordenadas geográficas de um ponto específico qualquer e obter dados oriundos de interpolação.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), para maximizar o aproveitamento da radiação solar, pode-se ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia.

Em geral, o ângulo de inclinação dos painéis deve ser igual à latitude do local de instalação, e devem ser posicionados com as superfícies direcionadas a linha do equador, todavia, se o local de instalação tiver latitude inferior a 10° sul ou norte, o ângulo de inclinação é indiferente para a eficiência do sistema (MATERS, 2004).

2.3.2.1 A Avaliação dos Recursos de Energia Solar e Eólica (SWERA)

A SWERA tem por missão alargada fornecer informações de alta qualidade sobre os recursos energéticos renováveis para os países e regiões em todo o mundo, juntamente com as ferramentas necessárias para aplicar esses dados de maneira a facilitar políticas e investimentos em energias renováveis. No Brasil, serve de base para políticas de incentivo e aproveitamento de energias renováveis.

2.4 ALTO OESTE POTIGUAR

O Território do Alto Oeste Potiguar é composto por 30 municípios e, segundo a última contagem realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, uma população de 194.032 habitantes correspondendo a 6,43% da população total do Estado. O polo do território é o município de Pau dos Ferros, considerado como centro comercial, de serviços e financeiro.

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o território apresenta de forma geral um clima tropical quente e seco ou semiárido, caracterizando-se por altas temperaturas que variam entre 25° C e 34° C, escassez e irregularidade das precipitações pluviométricas e umidade relativa do ar que variam, respectivamente, de 400 a 600mm e 59% a 76% ao ano devido estar localizado próximo a Linha do Equador.

2.4.1 Cidade de Pau dos Ferros

A cidade de Pau dos Ferros está localizada no interior do Rio Grande do Norte, na mesorregião Oeste Potiguar e microrregião de Pau dos Ferros, a cerca de 392 quilômetros da capital estadual, Natal, e a 1867 quilômetros da capital federal, Brasília. Segundo censo demográfico realizado pelo IBGE em 2010, sua população estimada para 2015 é de 29.954 habitantes, figurando como 18º município mais populoso do estado, possuindo área territorial total de 259,959 quilômetros quadrados.

A cidade tem por coordenadas geográficas, -6.10249 de latitude (6° 6' 9" Sul), -38.2092 de longitude (38° 12' 33" Oeste). Sua altitude é de 196 metros, com médias entre cem e duzentos metros, é constituído pela Depressão Sertaneja - São Francisco. Boa parte da cobertura original foi destruída para a prática agrícola, principalmente o cultivo de algodão.

Seu clima é semiárido quente e seco segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, com temperatura média anual de 26,7°C e precipitação média de 827 milímetros (mm) anuais. O tempo médio de insolação é de aproximadamente 2700 horas anuais, com umidade relativa do ar de 66% (IBGE, 2015).

Ao lado de Caicó e Mossoró, Pau dos Ferros está entre os municípios mais quentes do Rio Grande do Norte e por estar na região intertropical, a incidência não apresenta grandes variações durante o ano, portanto as temperaturas médias são constantes e elevadas durante o ano todo, o que dificulta a identificação das estações.

A radiação solar depende de fatores como a localidade, a estação do ano, a composição atmosférica, a cobertura de nuvens e a forma da superfície (WANDERLEY & CAMPOS, 2013).

Apesar de não possuir uma estação, Pau dos Ferros localiza-se próximo da cidade de Apodi e por isso os dados de radiação deste são passíveis de considerações no estudo da irradiação naquele.

2.4.2 Cidade de Apodi

A cidade de Apodi localiza-se a 74,1km de Pau dos Ferros, percurso que pode ser realizado de carro sem transito em uma hora e nove minutos. Tem por coordenadas 05°40' de latitude Sul, 37°47' de longitude Oeste. A cidade tem por altitude 67m e clima semiárido Bsh na classificação de Köppen-Geiger, possuindo, portanto, baixa nebulosidade, forte insolação, elevadas temperaturas poucas e mal distribuídas chuvas. Sua temperatura média compensada anual é de 27°C, sendo 24°C a mínima e 34°C a máxima.

A cidade de Apodi foi escolhida como fonte de dados para o estudo já que possui a estação mais próxima, bem como apresenta características climáticas semelhantes às do Alto Oeste potiguar, em especial, ao polo de Pau dos Ferros.

3 METODOLOGIA

Foi solicitado ao INMET, cinco dados da estação automática da cidade de Apodi -RN, correspondente ao período de 1 de janeiro a 31 de dezembro de 2015, para resultados mais exatos.

As estações automáticas registram a cada hora, e para todos os dias, a radiação solar, temperatura, ponto de orvalho, precipitação, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e velocidade do vento. Vale ressaltar, que o instituto utiliza Tempo Universal Coordenado (UTC), sendo a hora em Brasília correspondente a três unidades a menos que a registrada.

A partir da obtenção dos dados foram feitas adaptações para que esses se adequassem ao software Radasol2. Este necessita que sejam inseridos os dados, em W/m^2 , de radiação, e valores de umidade relativa, temperaturas mínimas, médias e máximas, como pode ser observado na Figura 12. Uma vez que a radiação solar é medida pela estação automática em kJ/m^2 , foi necessária a conversão. Desta forma, sabe-se que 1 watt equivale a 1 joule por segundo e como essa medida de radiação global é feita em cada hora (3600s) dividiu-se o valor por 3600 para obter o valor de radiação global em W/m^2 . Como não é fornecida a temperatura média, esta foi obtida pela média entre a máxima e a mínima. Já que a estação faz o levantamento horário e o software utiliza valores mensais, e visando minimizar erros, foi feita uma média horária mensal e em seguida a média mensal. Além disso, os dados de radiações negativas, que correspondem as medidas feitas no período noturno onde há déficit, foram desconsideradas uma vez que agiriam para distanciar o valor encontrado na pesquisa do valor real.

Inserindo no software os valores de radiação, umidade e temperatura mínima, máxima e média, podem ser obtidos os dados de radiação global horizontal, inclinada, difusa inclinada e a difusa direta no ano ou em um determinado mês podendo-se ainda escolher a sugestão de melhor ângulo de inclinação para a região.

Os valores medidos mostram a alta incidência de irradiação solar em Apodi-RN e constata-se também, uma baixa variação ao longo dos meses. Esta é uma condição excelente do ponto de vista de aproveitamento da energia solar para geração de energia elétrica (WANDERLEY & CAMPOS, 2013).

Figura 12 - Entrada Manual de Dados.

Entre com os dados da localização do sistema:

Latitude: Longitude: Nome:

Mês	Radiação*	Umidade Relativa	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Janeiro					
Fevereiro					
Março					
Abril					
Maio					
Junho					
Julho					
Agosto					
Setembro					
Outubro					
Novembro					
Dezembro					

* Radiação em kWh/m²-dia

Fonte: Autor, 2016.

3.1 CONSIDERAÇÕES

Entre Março e Abril de 2015 a estação automática da cidade de Apodi-RN não registrou os dados horários. Segundo informou o INMET, a provável causa das falhas foi pane nos sensores ou sinal de satélite. Para realização deste trabalho, os dados de radiação, umidade relativa, temperaturas mínimas, médias e máximas, desses meses foram considerados como sendo iguais às do mesmo período de 2016. Igualmente obtidos pela estação automática do INMET da cidade de Apodi-RN, os dados não promovem prejuízos ao projeto já que são de apenas dois meses e do ano seguinte ao dos demais dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram considerados apenas os dados de radiação no período das 09:00h as 21:00 UTC, que corresponde o período de 06 horas da manhã às 18 horas da noite horário de Brasília, uma vez que nos demais não há radiação. Para os demais dados, foram consideradas às 24 horas do dia.

Para cada variável foi calculada a média horária mensal antes do cálculo da média total mensal.

No Quadro 1, encontram-se dispostos os valores a serem inseridos no software, estando à radiação em kJ/m^2 como é obtida pelo INMET e em W/m^2 como é necessário para emprego no Radiasol2.

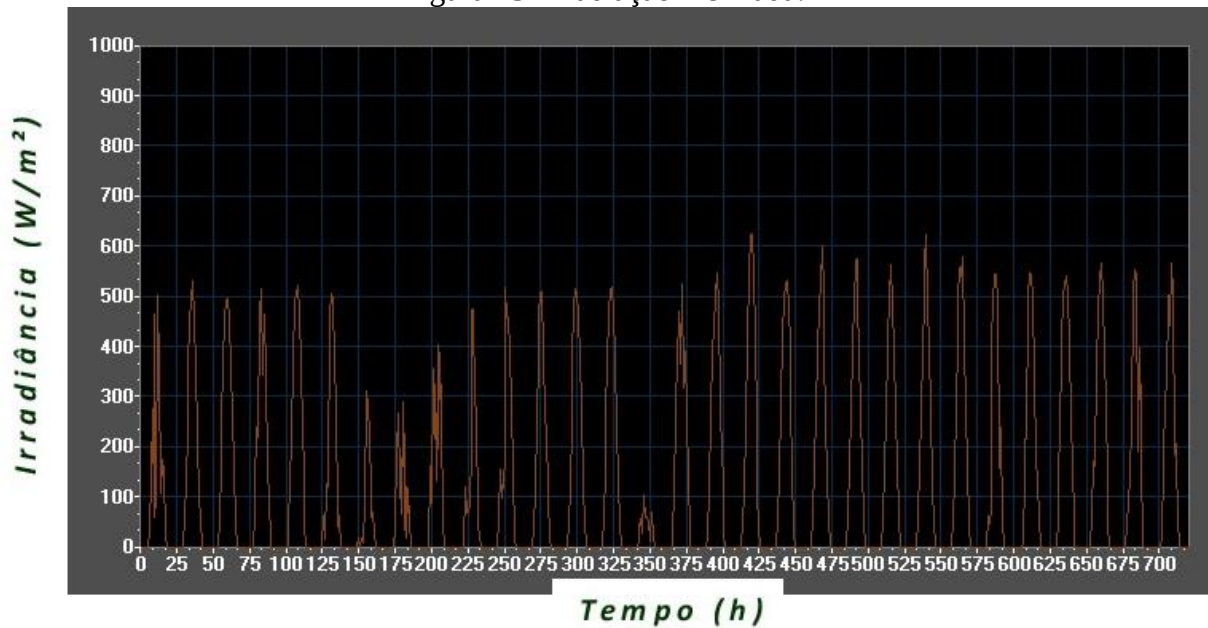
Quadro 1 - Dados trabalhados a serem inseridos no software.

	RADIAÇÃO (kJ/m^2)	RADIAÇÃO (W/m^2)	TEMP. MÁX(°C)	TEMP. MED(°C)	TEMP. MIN (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)
JANEIRO	1874,02	0,52	29,8	29,05	28,3	52,6
FEVEREIRO	1767,99	0,49	30,5	29,75	29	54,7
MARÇO	1971,01	0,54	29,4	28,75	28,1	59,2
ABRIL	1773,07	0,49	29,6	29,02	28,43	65,46
MAIO	1719,71	0,48	28,87	28,19	27,5	69,31
JUNHO	1543,9	0,43	28,4	27,8	27,2	59,3
JULHO	1497,3	0,42	28,3	27,7	27,1	56,5
AGOSTO	1859,1	0,52	28,8	28,15	27,5	49
SETEMBRO	1993,9	0,55	29,1	28,4	27,7	51,1
OUTUBRO	1987,6	0,55	29,4	28,7	28	50,3
NOVEMBRO	2119,7	0,59	30,2	29,7	28,7	50
DEZEMBRO	1923,4	0,53	30,2	29,5	28,8	52,2

Fonte: Autor, 2016.

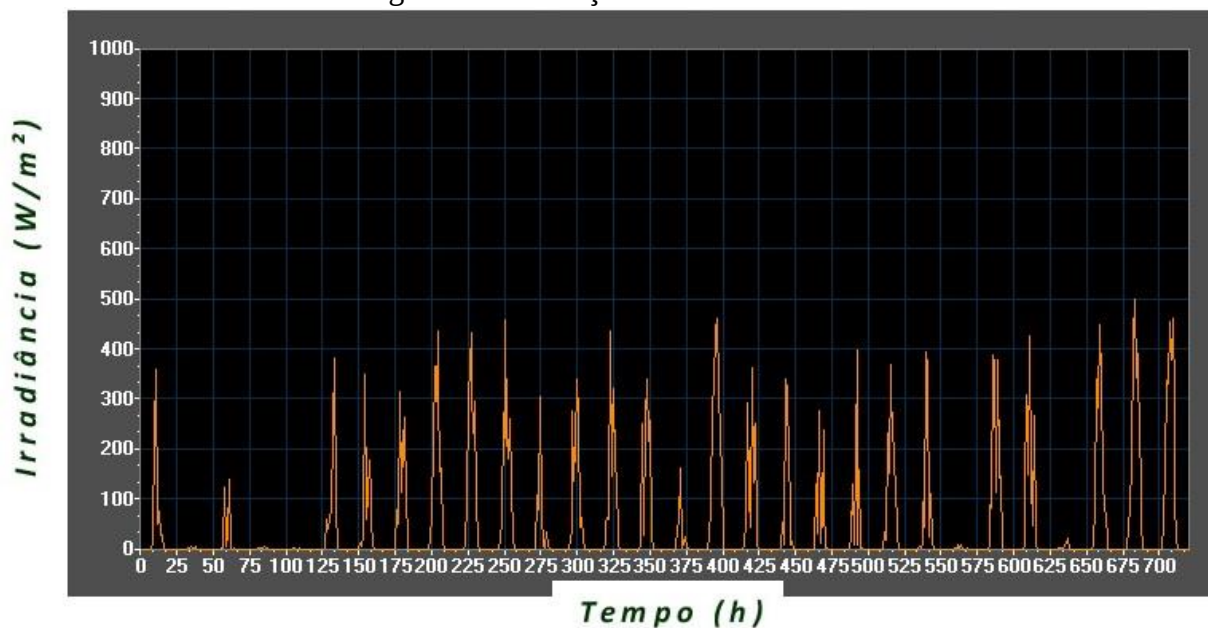
As figuras 13 a 16 correspondem ao acréscimo e decréscimo das irradiações ao longo de 24 horas durante 30 dias, havendo uma descontinuidade de 1 hora entre o fim das variações de um dia e o início das do dia seguinte e estando a marcação horária disposta de forma contínua, assim, o primeiro dia corresponde a onda de 0 a 24h, cujo valor de irradiação máximo foi de 506W/m^2 e o valor 25 representado no gráfico corresponde a descontinuidade de 1 hora entre ele e o segundo dia.

Figura 13 - Radiação inclinada.



Fonte: Autor, 2016.

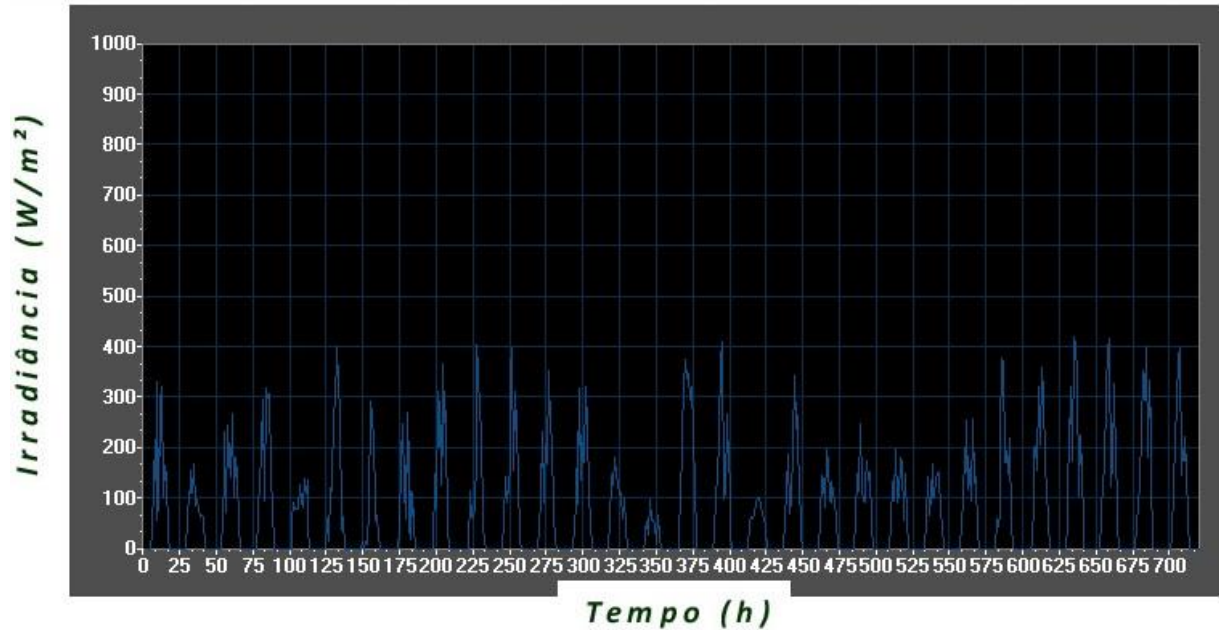
Figura 14 - Radiação direta Inclinada.



Fonte: Autor, 2016.

Na Figura 14, onde estão representados graficamente os valores diários de radiação direta inclinada - a mais eficiente para a produção de energia fotovoltaica – observam-se valores muito baixos ao longo de alguns dias, isso se deve a ocorrência de nebulosidade, poluição, e, sobretudo, dias chuvosos.

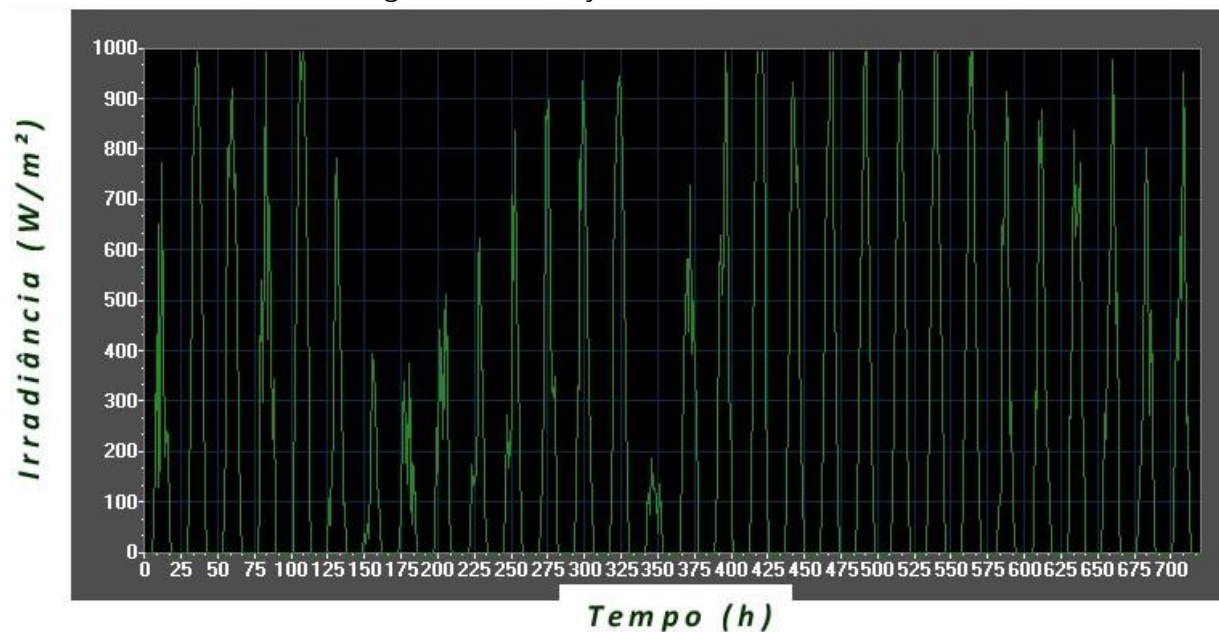
Figura 15 - Radiação difusa inclinada.



Fonte: Autor, 2016.

Na Figura 15, observa-se que os valores de radiação difusa são consideráveis se relacionados, principalmente com os de radiação direta, o que a torna, apesar do seu baixo potencial de exploração, uma complementar de poder considerável no estudo.

Figura 16 - Radiação Global Horizontal.

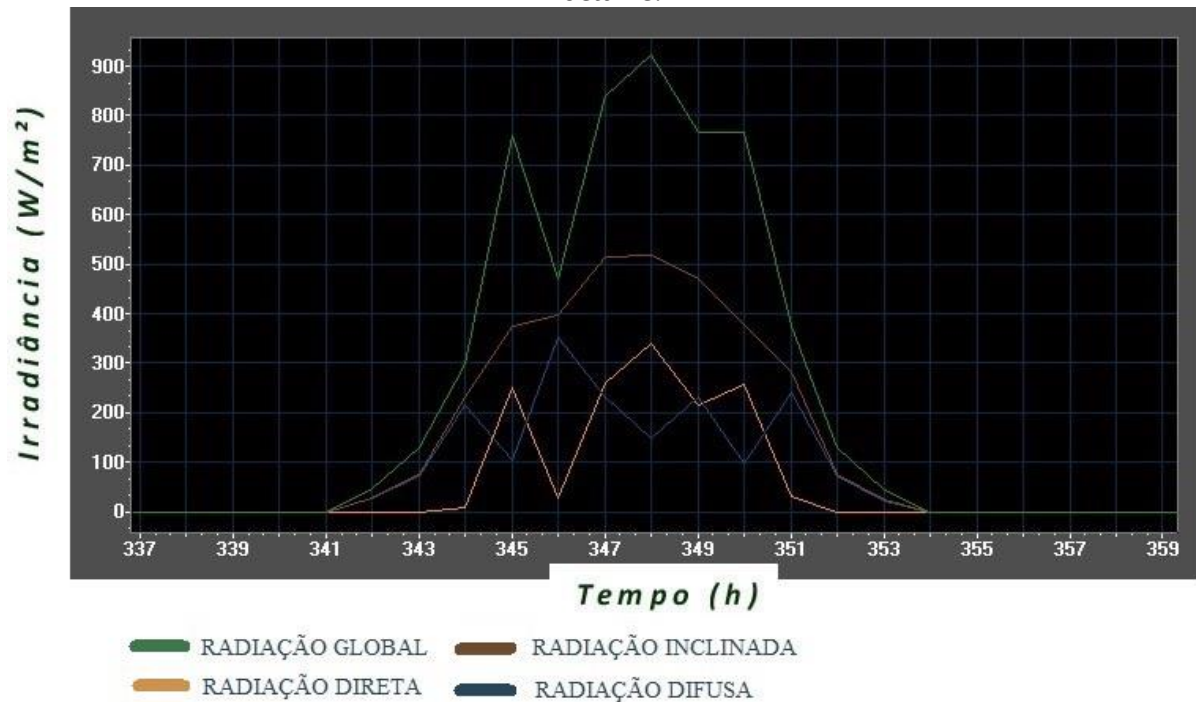


Fonte: Autor, 2016.

Na Figura 16 os valores da radiação global estão dispostos de modo que é possível observar que por vezes ultrapassam a escala única estabelecida aqui para todas as radiações, que varia de 0 a 1000W/m², visando facilitar o comparativo entre as curvas.

Na Figura 17 observam-se em detalhe as quatro irradiações no 14º dia, no qual verifica-se que só há valores consideráveis durante 12 horas.

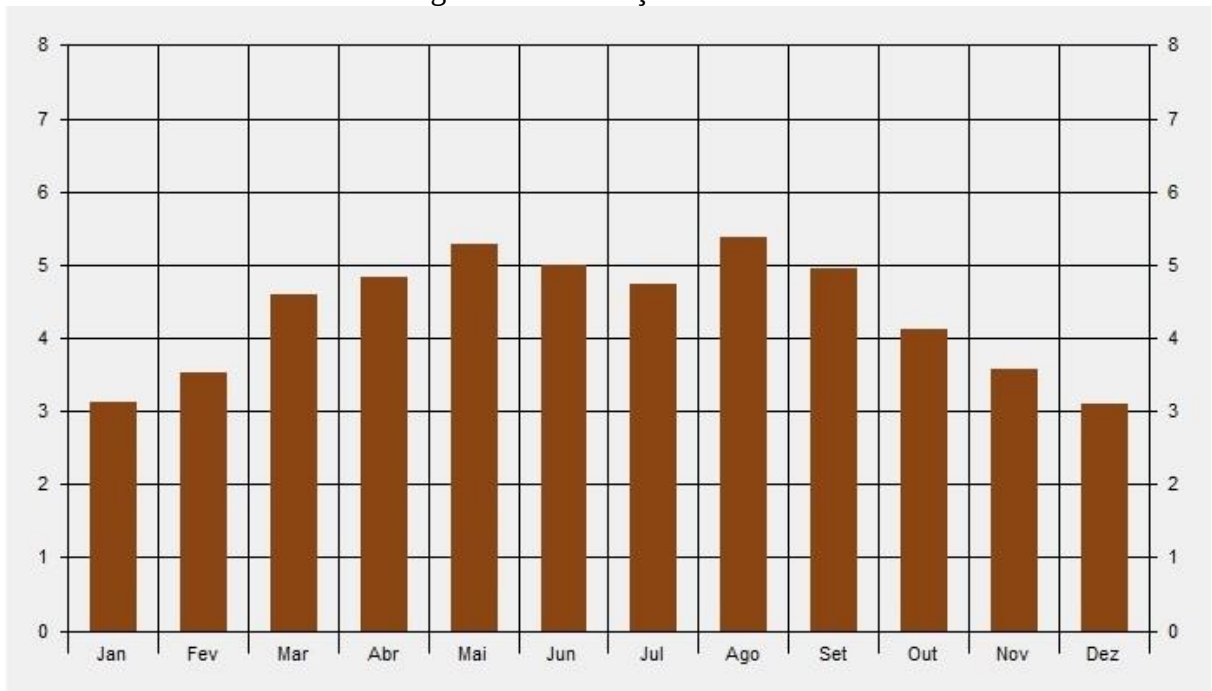
Figura 17 - Irradiação inclinada, direta inclinada, difusa inclinada, e Global horizontal em detalhe.



Fonte: Autor, 2016.

Nas figuras de 18 a 21 encontram-se os valores de irradiação média mensal em kWh/m²/dia distribuídos em colunas. A escala foi fixada de 0 a 8 na vertical para todas as radiações de modo a permitir o comparativo entre as médias de todas.

Figura 18 – Radiação Inclinada.



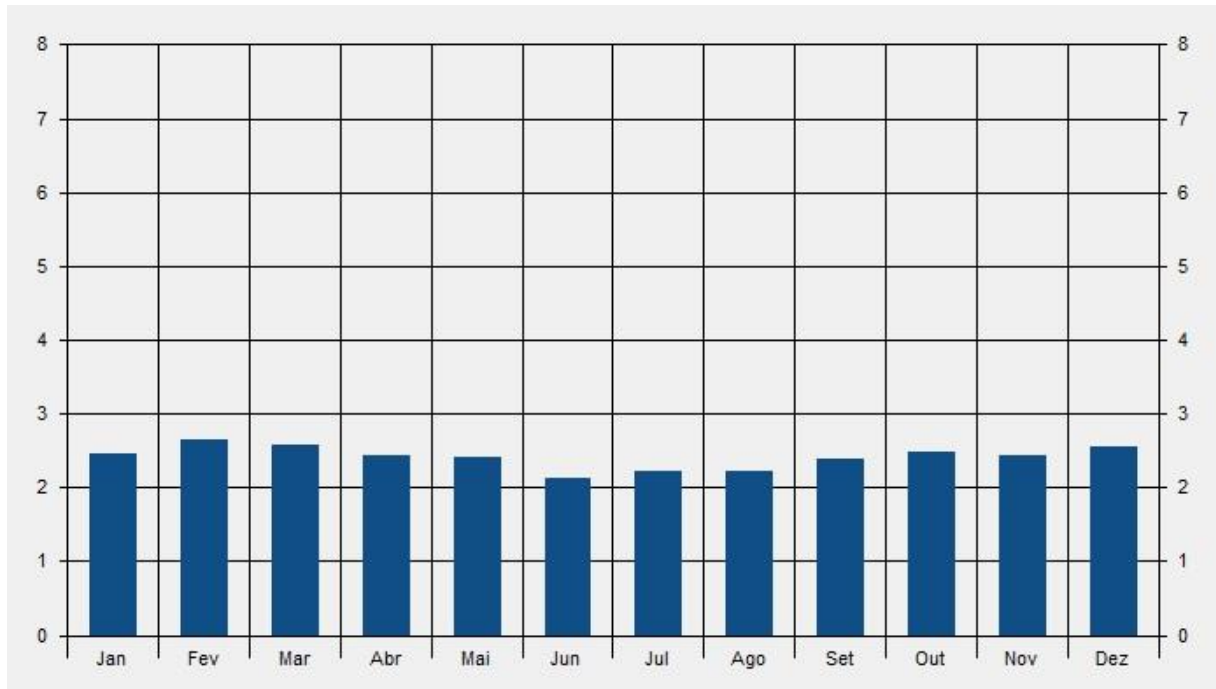
Fonte: Autor, 2016.

Figura 19 – Radiação Direta Inclinada.



Fonte: Autor, 2016.

Figura 20 – Difusa inclinada.



Fonte: Autor, 2016.

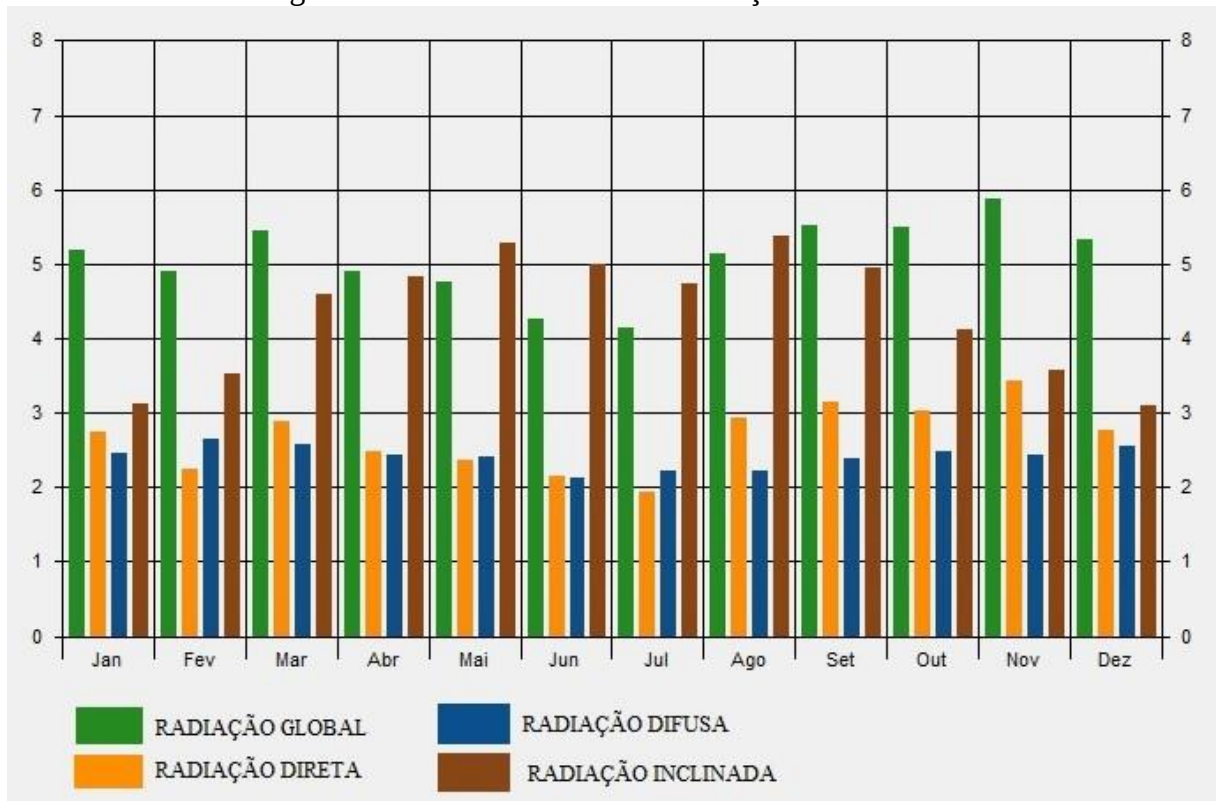
Figura 21 – Global Horizontal.



Fonte: Autor, 2016.

Na Figura 22, as médias mensais das quatro radiações são dispostas lado a lado o que permite observar a baixa variação e consequente constância dos altos índices ao longo do ano.

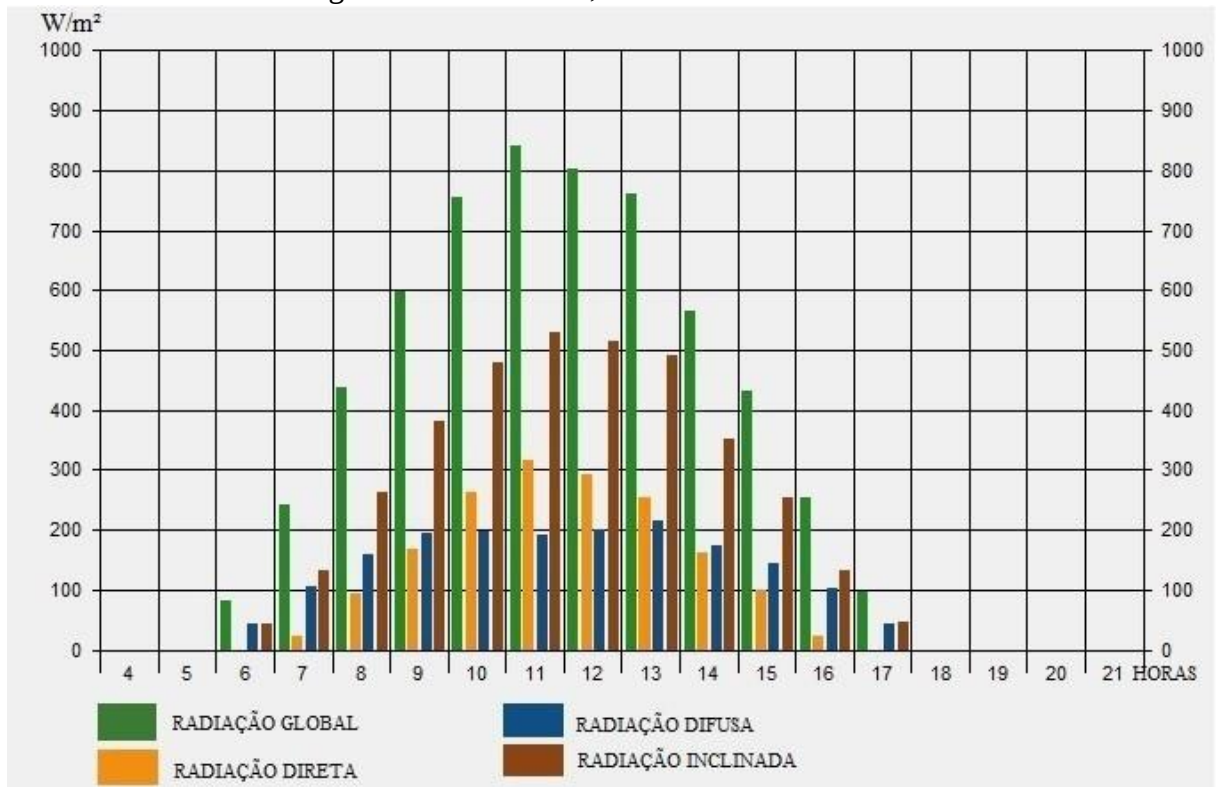
Figura 22 - Médias mensais de irradiação em kWh/m².



Fonte: Autor, 2016.

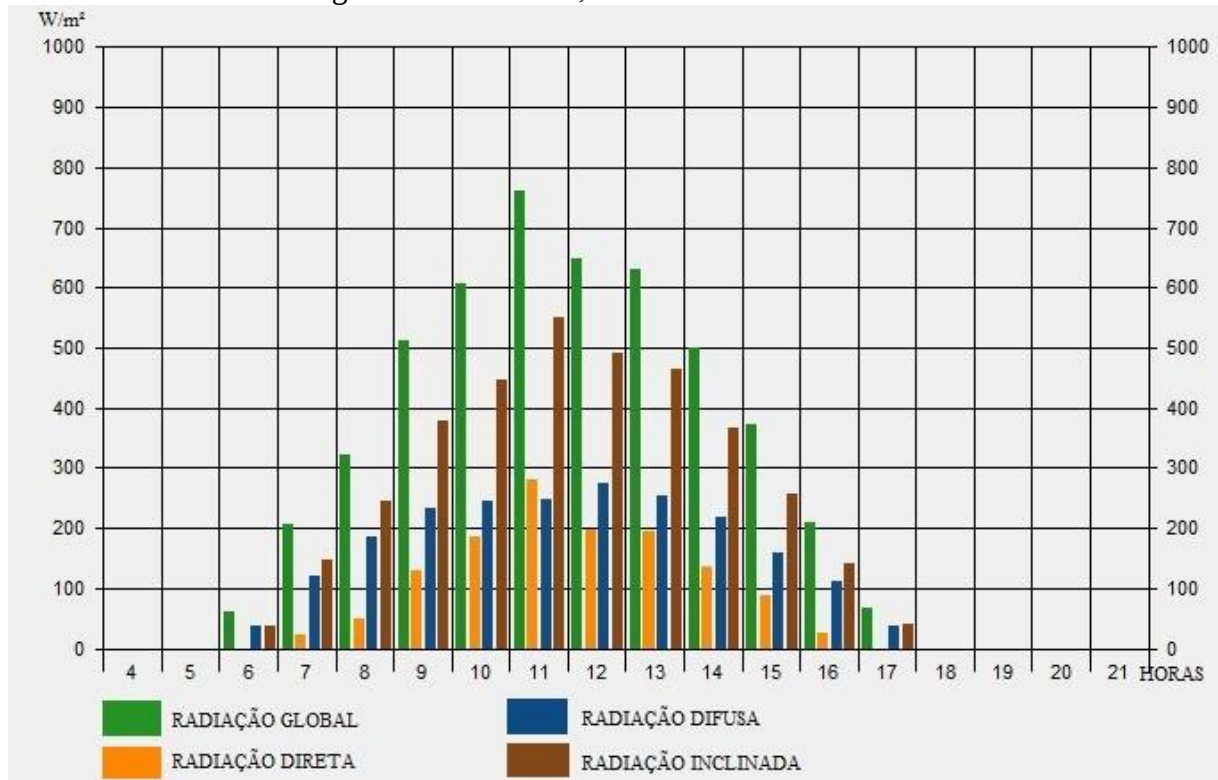
Abaixo o mês de maiores e menores médias, respectivamente. Irradiação média na vertical em W/m².

Figura 23 - Novembro, mês das maiores médias.



Fonte: Autor, 2016.

Figura 24 - Fevereiro, mês das menores médias.



Fonte: Autor, 2016.

O Software forneceu a radiação solar global, inclinada, difusa, difusa inclinada, direta e o melhor ângulo de inclinação para Apodi, acaso haja interesse na instalação de uma placa fotovoltaica. Estando próxima a Apodi, e, assim como as demais cidades localizadas no alto oeste potiguar, cujas características climáticas são classificadas como bsh, Pau dos Ferros apresenta potencial quantitativo muito próximo aos valores encontrados.

Foram desconsiderados os valores de albedo local, uma vez que o propósito em primeira instância era apenas a determinação das irradiações.

5 CONCLUSÕES

O levantamento do potencial de radiação solar local é útil para o planejamento inicial de uma futura planta de geração de energia elétrica já que uma das primeiras ações a serem realizadas antes da instalação de um sistema de geração distribuída com painéis fotovoltaicos deve ser medir a quantidade de radiação incidente. Com essas informações podemos tanto aumentar a eficiência de um sistema de geração distribuída para determinada região e perfil de carga como também podemos prever a sua viabilidade em casos que o painel tem uma direção e angulação pré-definidas, como em telhado de casas.

Apesar de o Brasil ainda ter uma baixa participação na geração de energia elétrica por fonte solar há previsão de um aumento do uso dessa tecnologia em sua matriz energética, pois possui características naturais favoráveis, tais como, altos níveis de insolação e não possui a característica de invernos com neve, o que requereria maiores investimentos em manutenção.

De acordo com os resultados, a cidade de Apodi alcança em seu mês de menor média global de irradiação, o valor de 2,1 kWh/m²/dia que é um nível bem maior que a média europeia – líder mundial no setor - cujos valores estão compreendidos entre 1,3kWh/m²/dia e 1,9 kWh/m²/dia. Demonstra-se assim o grande potencial para a inserção de geração distribuída por fonte solar na região do alto oeste potiguar.

Devido a crise enfrentada no país, e aos cortes do governo nos repasses as universidades, atingindo, sobretudo as de menor porte que não prestam serviços a empresas privadas, como a Ufersa, é necessário a busca e incentivo a resoluções que promovam eficiência, permitindo no mínimo manter o básico ao seu funcionamento, e, sendo a Ufersa um impulsionador no desenvolvimento da cidade de Pau dos Ferros, e ainda, como está é o polo de referência na região do alto oeste, um estudo que mostra o potencial da produção de energia por meio da determinação da radiação solar no município, pode desmistificar a visão que se tem do emprego e sucesso – energético e financeiro — dessa nova energia, despertando interesse e facilitando a aceitação de empresários locais.

Além disso, a ausência de uma estação meteorologia na cidade de Pau dos Ferros é um fator de dificuldade na aquisição de dados precisos, já que a cidade é um polo na microrregião, centro financeiro de várias cidades vizinhas, e sendo as previsões de crescimento desse tipo de matriz energética, consideravelmente promissoras graças as políticas de incentivos, o município carecerá de levantamentos precisos para permitir, incentivar e potencializar instalações vindouras.

REFERÊNCIAS

- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA. **Atlas**. Brasil: ANEEL, 2006. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em 22 Mar. 2016.
- A. KRENZINGER, R. C. B. RADIASOL2 SOFTWARE PARA SINTETIZAR DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR. IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES CLA) y XVII Simpósio Peruano de Energía Solar (XVII – SPES), 2010.
- CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Energia solar, princípios e aplicações**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2006. Disponível em:<http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2016.
- CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMATICOS. **Irradiancia média diária**. Brasil: Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, DSA – CPTEC/INPE,2016. Disponível em: <<http://satellite.cptec.inpe.br/radiacao/>>. Acesso em 04 Abr 2016.
- DE OLIVEIRA, L. A. **Estudo da influência da irradiação e da temperatura na geração solar fotovoltaica**. 2015. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Energia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2015.
- ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Radiação solar: Balanço de Energia**. São Paulo: ESALQ/USP, 2009. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/Aula5.pdf>>. Acesso em 19 Abr. de 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Infográficos**. Brasil: IBGE, 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>>>. Acesso em 14 fev. 2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações Automáticas**. Brasil: INMET, 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 13 fev. 2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Brasileiros de Energia Solar**, 1. ed., 2006. Brasil: INPE, 2006. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em 02 Abr. 2016.

MAGNOLI, D.; SCALZARETTO, R. **Geografia, espaço, cultura e cidadania**. São Paulo: Moderna, 1998. v. 1.

MASTERS, Gilbert M. **Renewable and efficient electric power systems**, 1 ed., 2004.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE METEOROLOGIA. **Balanco de Radiação**. Brasil: SBMET, 2011. Disponível em: <<http://www.sbmet.org.br/ecomac/pages/trabalhos/balanco%20de%20radiacao.pdf>>. Acesso em 19 Abr. de 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Movimentos da Terra, estações**. Paraná: Departamento de Física – UFPR, 2016. Cap.2. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>>. Acesso em 29 fev. 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Radiasol2 software para sintetizar dados de radiação solar**. Rio Grande do Sul: Laboratório de Energia Solar/PROMEC – UFRGS, 2014. Disponível em: <[http://perusolar.org/17-spes-ponencias/01-DatosMeteorologicos/KrenzingerArno/Krenzinger_\(Brasil\).pdf](http://perusolar.org/17-spes-ponencias/01-DatosMeteorologicos/KrenzingerArno/Krenzinger_(Brasil).pdf)>. Acesso em: 13 fev. 2016.

VIEIRA, R. G. **Análise comparativa do desempenho entre um painel solar estético e com rastreamento no município de Mossoró-RN**. Mossoró, 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Comunicação e Automação) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Rio Grande do Norte, 2014.

VILLALVA, Marcelo; GAZOLI, Jonas. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012. 224 p.

WANDERLEY, A. C. F.; CAMPOS, A. L. P. S. **Perspectivas de inserção da energia solar fotovoltaica na geração de energia elétrica no Rio Grande do Norte**. Rio Grande do Norte: UFRN, 2013. Disponível em: <www2.ifm.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/download/1493/677>. Acesso em 10 Mai. De 2016.