

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia

**ESTUDO DOS PROCEDIMENTOS DE CERTIFICAÇÃO DE
DADOS SOLARIMÉTRICOS E DA PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA
PARA EMPREENDIMENTOS FOTOVOLTAICOS COM VISTA À
PARTICIPAÇÃO NOS LEILÕES DE ENERGIA NO BRASIL**

Autor: Fernando Alves de Castro
Orientador: Prof. Dr. Jorge Andrés Cormane Angarita

Brasília, DF

2021



FERNANDO ALVES DE CASTRO

**ESTUDO DOS PROCEDIMENTOS DE CERTIFICAÇÃO DE
DADOS SOLARIMÉTRICOS E DA PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA
PARA EMPREENDIMENTOS FOTOVOLTAICOS COM VISTA À
PARTICIPAÇÃO NOS LEILÕES DE ENERGIA NO BRASIL**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Andrés Cormane Angarita

**Brasília, DF
2021**



**ESTUDO DOS PROCEDIMENTOS DE CERTIFICAÇÃO DE
DADOS SOLARIMÉTRICOS E DA PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA
PARA EMPREENDIMENTOS FOTOVOLTAICOS COM VISTA À
PARTICIPAÇÃO NOS LEILÕES DE ENERGIA NO BRASIL**

Fernando Alves de Castro

Monografia submetida como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, [em 21 de maio de 2021], apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr. Jorge Andrés Cormane Angarita, UnB/FGA

Orientador

Prof. Dr. Alex Reis, UnB/FGA

Membro

Prof. Dr. Rudi Henri Van Els, UnB/FGA

Membro

Brasília, DF

2021

Dedicado a Deus,
Por me dá força para lutar pelos
meus ideais
E aos meus pais, Josias (in
memorian) e Lindalva, a minha esposa
Andréia e filhos Gustavo e Miguel.

AGRADECIMENTOS

Para completar mais essa etapa na minha vida contei com a ajuda de diversas pessoas, não só durante o período da graduação, mas durante toda a vida. Pessoas que de uma maneira ou de outra colaboraram com o alcance do meu objetivo e que serei eternamente grato.

Agradeço a Deus primeiramente, sem o qual nada faz sentido. A minha mãe Lindalva, pelo amor, por tudo que sou e que sei. Aos meus irmãos, que mesmo indiretamente, colaboraram com o alcance do meu sonho.

Agradeço aos meus amigos e colegas de trabalho, de Furnas Centrais Elétricas, sem ajuda dos quais, a jornada teria sido muito mais difícil, agradeço a todos pelas inversões de horário e troca de folgas para possibilitar minha ida para faculdade, enfim, serei eternamente grato a todos.

Não poderia deixar de enaltecer minha gratidão a uma pessoa muito especial, à minha esposa Andréia, pelo amor, incentivo, dedicação e compreensão dos inúmeros momentos dedicados a esse trabalho. Agradeço aos meus filhos, Gustavo e Miguel, por entenderem minha luta e me incentivarem, espero que eu seja um exemplo para os dois.

Ao professor Doutor Jorge Andrés Cormane Angarita pela orientação, dedicação e sua grande contribuição para a elaboração desse trabalho.

A todos, familiares e amigos, que contribuíram para a realização desse sonho.

A todos vocês minha eterna gratidão e MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRATC.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	16
2.REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1.Leilões de energia elétrica.....	21
2.2.Instruções para cadastro e habilitação técnica em um leilão de energia	26
2.2.1.Objetivo.....	26
2.2.2.Diretrizes.....	26
2.2.3. Procedimentos para cadastro e habilitação técnica.....	27
2.2.4.Documentação requerida.....	27
2.2.5.Certificação dos dados solarimétricas e produção anual de energia	28
2.2.5.1.Certificação dos dados solarimétricos.....	29
2.2.5.2.Certificação da produção anual de energia.....	31
2.3.Fatores de perdas de sistemas fotovoltaico.....	33
2.4.Garantia física.....	35
3.METODOLOGIA DO TRABALHO.....	36
3.1.Certificação dos dados solarimétricos.....	36
3.2.Certificação da produção anual de energia.....	37
4.RESULTADOS.....	40
4.1.Certificação dos dados solarimétricos.....	40
4.1.1.Redde SONDA.....	40
4.1.1.1. Estação de Brasília.....	44
4.1.1.2.Ficha técnica dos equipamentos da estação solarimétrica de Brasília	45
4.1.2.Tratamento dos dados.....	49
4.2.Certificação da produção anual de energia.....	57
4.2.1.Módulo fotovoltaico selecionado.....	57
4.2.2.Inversor on-grid.....	57
4.2.3.Utilizando o PVsyst para dimensionamento da usina fotovoltaica.....	59
5.CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72

“Sonha e serás livre de espírito...luta e serás livre na vida.”
(Ernesto Che Guevara)

RESUMO

A produção de energia elétrica a partir do uso de sistemas fotovoltaicos vem crescendo nos últimos anos no Brasil e isso é importante para diversificar a matriz elétrica brasileira. O país possui um grande potencial de geração de energia elétrica a partir da energia do sol e a contratação de energia elétrica é realizada através dos leilões organizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE. Para um empreendedor participar desse leilão como vendedor de energia elétrica é necessário antes se habilitar tecnicamente, essa habilitação segue diretrizes do Ministério de Minas e Energia - MME e a Empresa de Pesquisa Energética - EPE através de suas notas técnicas orientam como obter essa habilitação técnica. A EPE através de sua nota técnica Nº EPE-DEE-RE-065/2013-r6_UFV trata das instruções para solicitação de cadastramento e habilitação técnica de empreendimentos fotovoltaicos, a obtenção da certificação dos dados solarimétricos e da produção anual de energia é um dos requisitos para se habilitar aos leilões. Diante disso, este trabalho se propõe avaliar o procedimento de certificação de dados solarimétricos e da produção anual de energia. Para realizar esse estudo, primeiramente foi realizado o tratamento e análise dos dados de uma estação solarimétrica da Rede SONDA localizada em Brasília e posteriormente serão realizadas simulações com o uso do software PVsyst para verificar as estimativas de produção anual de energia. O tratamento e análise dos dados evidenciaram que os dados coletados na estação da rede SONDA de Brasília podem ser utilizados para estimar a produção anual de energia. Já a simulação com o uso do PVsyst evidenciou as perdas inerentes aos sistemas fotovoltaicos, a produção anual de energia e a produção certificada de energia P50.

Palavras-chave: sistemas fotovoltaicos, leilões, habilitação, dados solarimétricos e produção de energia.

ABSTRACT

The production of electric energy from the use of photovoltaic systems has been growing in recent years in Brazil and this is important to diversify the Brazilian electric matrix. The country has great potential for generating electricity from the sun and electricity is contracted through auctions organized by the Electric Energy Trading Chamber - CCEE. For an entrepreneur to participate in this auction as a seller of electricity, it is necessary to qualify technically, this qualification follows guidelines from the Ministry of Mines and Energy - MME and the Energy Research Company - EPE through their technical notes guide how to obtain this technical qualification. EPE, through its technical note N° EPE-DEE-RE-065/2013-r6_UFV, deals with instructions for requesting registration and technical qualification of photovoltaic projects, obtaining certification of solarimetric data and annual energy production is one of the requirements to qualify for auctions. Therefore, this work aims to evaluate the certification procedure for solarimetric data and annual energy production. In order to carry out this study, data and analysis of a SONIM Network solarimetric station located in Brasília were first performed and simulations will be carried out later using the PVsyst software to verify the annual energy production estimates. The treatment and analysis of the data showed that the data collected at the SONDA network station in Brasília can be used to estimate the annual energy production. The simulation with the use of PVsyst showed the losses inherent to photovoltaic systems, the annual energy production and the certified production of P50 energy.

Keywords: photovoltaic systems, auctions, habilitation, solarimetric data and energy production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de recurso solar no mundo	17
Figura 2 - Mapa de recurso solar no Brasil	18
Figura 3 - Agentes do mercado de energia elétrica do Brasil.....	22
Figura 4 - Etapas de um leilão de energia elétrica	25
Figura 5 - Produção de energia líquida	33
Figura 6 - Fatores de perdas em um módulo fotovoltaico de 1200 kWp	34
Figura 7 - Perdas estimadas no PVsyst	39
Figura 8 - Mapa da localização das estações da Rede SONDA	41
Figura 9 - Estação de referência	41
Figura 10 - Temperatura máxima e mínima, precipitação média e umidade relativa	44
Figura 11 - Piranômetro Kipp & Zonen Série CPM.....	45
Figura 12 – Pirgeômetro Kipp & Zonen Modelo CGR 4	46
Figura 13 – Pireliômetro Kipp & Zonen Modelo CHP 1.....	46
Figura 14 – Termohigrômetro.....	47
Figura 15 – Barômetro Vaisala Modelo PTB110	47
Figura 16 – Anemômetro Ultrassônico 2D Campbell Scientific modelo windsonic1- L.....	48
Figura 17 – Pluviômetro Campbell Scientific Modelo TB4.....	48
Figura 18 – Datalogger Campbell Scientific Modelo CR300	49
Figura 19 – Dados utilizados na análise.....	50
Figura 20 – Correlação entre radiação solar e velocidade do vento	52
Figura 21 – Correlação entre radiação solar e umidade	52
Figura 22 – Correlação entre irradiação solar e temperatura.....	53
Figura 23 – Irradiação solar e temperatura	54
Figura 24 – Ano típico com base nos dados Rede SONDA	55
Figura 25 – Comparativo entre anos típicos.....	56
Figura 26 – Módulo fotovoltaico JKM335PP-72-V.....	57
Figura 27 – Inversor SUN2000-100KTL-H1	58
Figura 28 – Dimensionamento da quantidade de módulos fotovoltaicos	61
Figura 29 – Disposição dos módulos fotovoltaicos	62
Figura 30 – Produção normalizada	63
Figura 31 – Rendimento global do sistema (PR).....	64

Figura 32 – Diagrama de perdas do ano inteiro	66
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados analisados de maio de 2018 até abril 2019.....	51
Tabela 2: Média mensal das variáveis analisadas de maio de 2018 até abril de 2019.....	53
Tabela 3: Anos típicos.....	55
Tabela 4: Parâmetros elétricos,térmicos e mecânicos do módulo JKM335pp-72-V .	57
Tabela 5: Características elétricas do Inversor Huawei SUN2000-100KTL-H1.	58
Tabela 6: Valores usuais para o albedo.	60
Tabela 7: Balanço e resultados principais.....	65
Tabela 8: Estimativa de geração de energia anual e indicador P50.....	67
Tabela 9: Comparativo produção anual de energia P50.	68

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACL – Ambiente de Contratação Livre
ACR – Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN – Balanço Energético Nacional
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CRESESB – Centro de Referência de Energia solar e Eólica
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MME – Ministério de Minas e Energia
ONS – Operador Nacional do Sistema
SIN – Sistema Interligado Nacional
SONDA – Sistema Nacional de Organização de Dados
UFV – Usina Fotovoltaica

1. INTRODUÇÃO

Existe uma preocupação no mundo para a obtenção energia elétrica de maneira mais sustentável, com uso de fontes renováveis. Nesse contexto, o Brasil tem uma posição de destaque, pois de acordo com (EPE, 2020) mais de 70 % da matriz elétrica brasileira é oriunda de fontes renováveis, com uma predominância da geração hidráulica. O Balanço Energético Nacional (BEN) de 2020 mostra a capacidade instalada no Brasil em Megawatt (MW) nos anos de 2018 e 2019. O quadro 1 mostra esse comparativo:

Quadro 1 – Capacidade instalada

Fonte	Ano de 2018	Ano de 2019	Variação
Hidrelétrica	104.139	109.058	4,7 %
Térmica	40.523	41.219	1,7 %
Eólica	14.390	15.378	6,9 %
Solar	1.798	2.473	37,6 %
Nuclear	1.990	1.990	0,0 %
Capacidade disponível	162.840	170.118	4,5 %

Fonte: (EPE, 2020)

A geração de energia elétrica no Brasil é baseada fortemente na geração hidráulica, mas de acordo com (EPE, 2020) há um incremento na matriz elétrica brasileira de energia fotovoltaica entre os anos de 2018 e 2019, porém a participação da energia solar ainda é bem pequena. O quadro 01 mostra um crescimento da oferta de energia elétrica proveniente de empreendimentos fotovoltaicos.

A figura 1 mostra o mapa de recurso solar no mundo, onde as localidades com tonalidades do laranja ao vermelho são onde se tem os maiores e melhores recursos solares. De acordo com CRESESB (2014, p.81) “Os projetos de sistemas fotovoltaicos normalmente exigem uma irradiação de no mínimo 3 a 4 kWh/m²”.

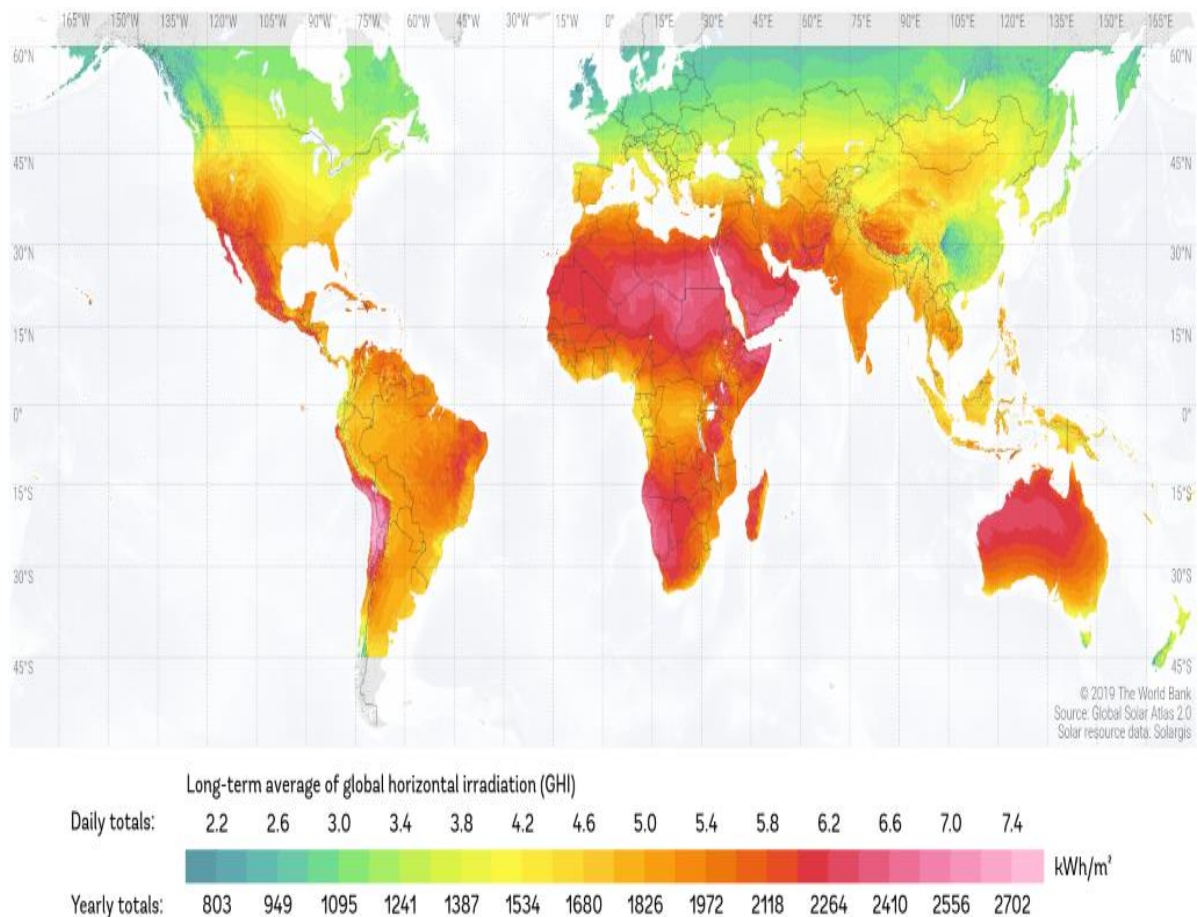


Figura 1 – Mapa de recurso solar no mundo
Fonte: (SOLARGIS, 2020)

O mapa de recurso solar do mundo mostra que o Brasil possui um potencial muito grande de produção de energia elétrica através da energia solar. O CRESESB fala em uma irradiação de 3 kWh/m² a 4 kWh/m² por dia e pelo mapa é perceptível que todo o Brasil tem irradiação que se enquadra nesse mínimo. A seguir será apresentada a figura 2 que mostra o mapa de recurso solar do Brasil.

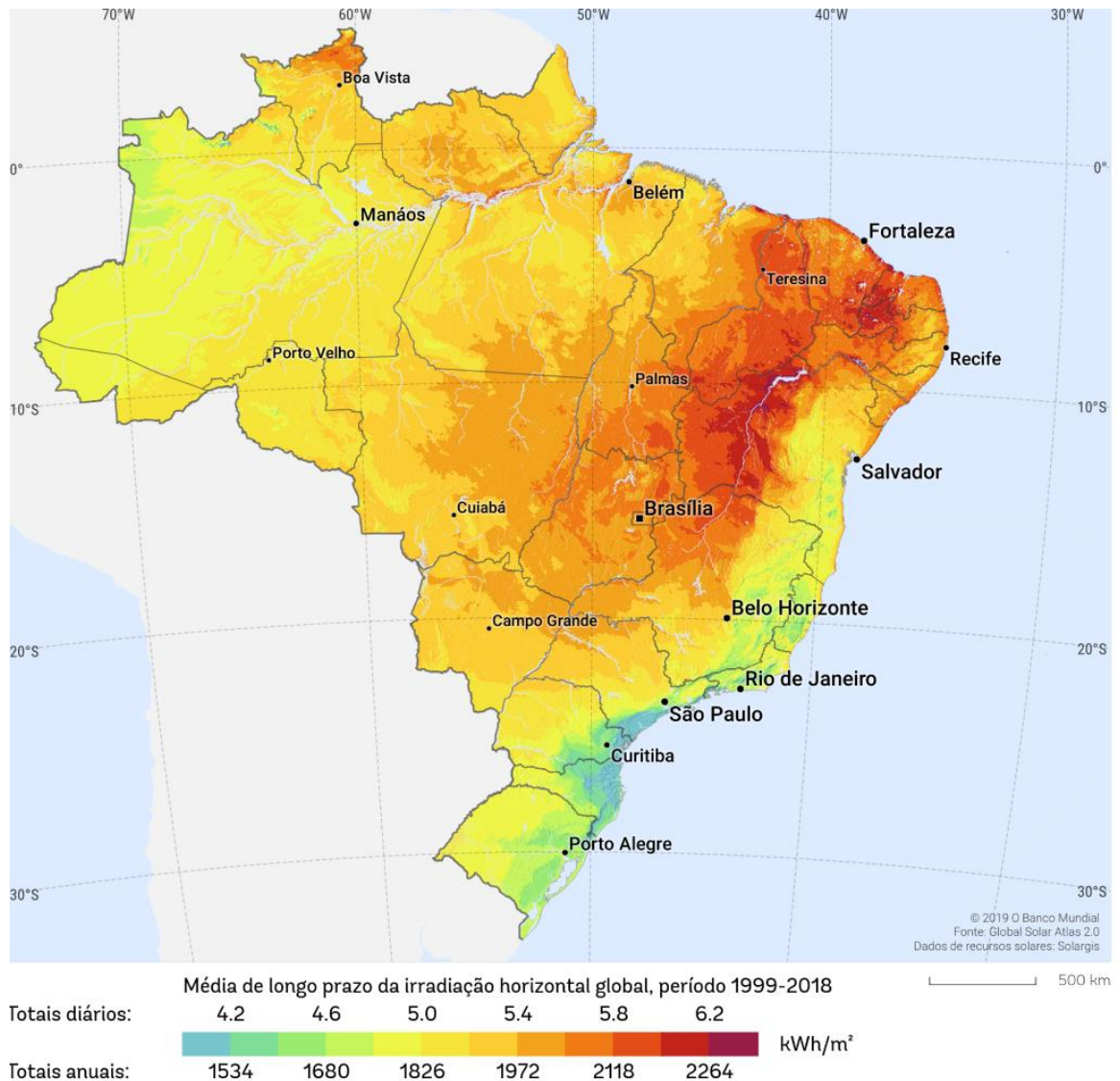


Figura 2 - Mapa de recurso solar no Brasil
Fonte: (SOLARGIS, 2020)

O mapa de recurso solar no Brasil mostra o grande potencial de geração de energia elétrica proveniente da energia solar. Há um grande potencial principalmente na região Centro-Oeste e Nordeste. Apesar desse grande potencial de produção de energia elétrica através da energia solar, essa fonte de energia não pode ser a principal da matriz elétrica do país, pois não é uma energia firme. De acordo com Duarte (2005, p. 3) “energia firme é a maior carga possível de ser suprida continuamente pelo sistema, no caso de repetição das vazões históricas registradas, em particular, da pior sequência hidrológica”. As termelétricas e as hidrelétricas são consideradas fontes firmes capazes de garantir o atendimento da demanda de carga típica do sistema, já as fontes renováveis como eólica e solar fotovoltaica são

consideradas fontes intermitentes, pois depende de uma variabilidade temporal. (PEREIRA, 2017, p.13).

A energia elétrica proveniente da energia solar poderia ser usada de maneira complementar e nos períodos de estiagem faria com que os níveis dos reservatórios das hidrelétricas fossem mantidos e não precisaria fazer uso das termelétricas. Para a contratação de energia elétrica proveniente de grandes empreendimentos fotovoltaicos é necessária a participação em leilões de energia elétrica.

A principal forma de contratação de grandes blocos de energia no Brasil é o leilão. Nele, os empreendedores são os geradores de energia, ou seja, as empresas donas das usinas que geram energia elétrica. Os compradores são distribuidores e transmissores, ou seja, as concessionárias que irão repassar a energia comprada ao consumidor final. A ANEEL determina que a responsável pelo leilão seja a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). De acordo com a CCEE, a comercialização de energia no Brasil é realizada em duas esferas de mercado: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Para que um empreendedor possa participar do leilão como vendedor, ele deve apresentar um projeto que esteja tecnicamente habilitado e também deve estar cadastrado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) seguindo várias diretrizes no Ministério de Minas e Energia – MME. A nota técnica N° EPE-DEE-RE-065/2013-r6_UFV trata das instruções para solicitação de cadastramento e habilitação técnica de empreendimentos fotovoltaicos, mais especificamente trata de que maneira se obtém a certificação de dados solarimétricos e a certificação de produção anual de energia.

A obtenção da certificação de dados solarimétricos e da certificação de produção anual de energia é um dos requisitos exigidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para estar habilitado a participar de leilões de energia elétrica, de acordo com a portaria do MME nº 102/2016 Ministério de Minas e Energia - MME, para participação nos leilões de energia exige-se:

“Art. 6º Os empreendedores com projetos de geração a partir de fonte solar deverão atender as condições para Cadastramento e Habilitação Técnica, estabelecidas no art. 4º e, também, aos seguintes requisitos:

(...)

II - No ato do Cadastramento, apresentação de histórico de medições contínuas de irradiação global horizontal, por período não inferior a doze meses consecutivos, realizadas no local do empreendimento, integralizadas a cada dez minutos, para empreendimentos fotovoltaicos, sem tecnologia de concentração da irradiação”.

O item II do artigo 6º trata especificamente dos dados solarimétricos e mostra de que maneira esses dados devem ser tratados para se obter a habilitação para participar de leilões de energia elétrica.

Diferente das fontes convencionais, a energia solar é intermitente e depende da variabilidade temporal devido sua forte relação com os fenômenos atmosféricos e com os movimentos da Terra. O Brasil possui um grande potencial a ser explorado de geração de energia fotovoltaica, mas para isso necessita de dados solarimétricos confiáveis. Com dito anteriormente, a energia solar é intermitente e apresenta variabilidades temporal e espacial elevadas em razão de sua forte relação com o clima local e fatores tais como cobertura de nuvens, concentração de gases atmosféricos, sistemas sinóticos, entre outros fatores astronômicos associados aos movimentos orbitais e de rotação da Terra (PEREIRA, 2017).

A variabilidade da fonte solar causa impactos nos aspectos técnicos, econômicos, de segurança e qualidade da rede, com isso, é de fundamental importância ter dados confiáveis. De acordo com (Wilcox e Stoffel, 2009) as medições de radiação solar, no local da instalação da usina fotovoltaica, são consideradas importantes para o projeto de sistemas de conversão de energia solar e para a avaliação de desempenho de instalações.

Para saber o potencial do recurso solar disponível em determinada localidade e propor projetos de aproveitamento de energia solar, é necessária a realização de medições locais com a utilização de instrumentos solarimétricos, procurando avaliar o comportamento da radiação em diferentes períodos de análise (anuais, sazonais, diárias) e as influências climáticas.

O objetivo geral do presente trabalho é avaliar o procedimento de certificação de dados solarimétricos e certificação de produção anual de energia para

empreendimentos fotovoltaicos com vista à participação nos leilões de energia elétrica.

Para se alcançar esse objetivo, trabalho será dividido em dois objetivos específicos a seguir:

- Avaliar desde o ponto de vista dos métodos de análise de dados os procedimentos de certificação de dados solarimétricos com vista à participação nos leilões de energia elétrica;
- Verificar por meio de simulação computacional a produção anual de energia com base em dados reais.

Esta pesquisa justifica-se diante da necessidade de se quantificar o recurso solar e a produção de energia anual para a participação em leilões de energia elétrica e com isso ter um melhor aproveitamento do potencial solar do Brasil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico disponibilizará ao leitor um breve conhecimento sobre os leilões de energia elétrica no Brasil, de como são obtidos o cadastro e a habilitação técnica para participação nos leilões de energia elétrica e o conceito de garantia física.

2.1. Leilões de energia elétrica

A CCEE é a instituição responsável pelo equilíbrio operacional do mercado de comercialização de energia, porém atua sempre em sintonia com os demais agentes do setor elétrico brasileiro. A figura 3 mostra a estrutura atual do setor:

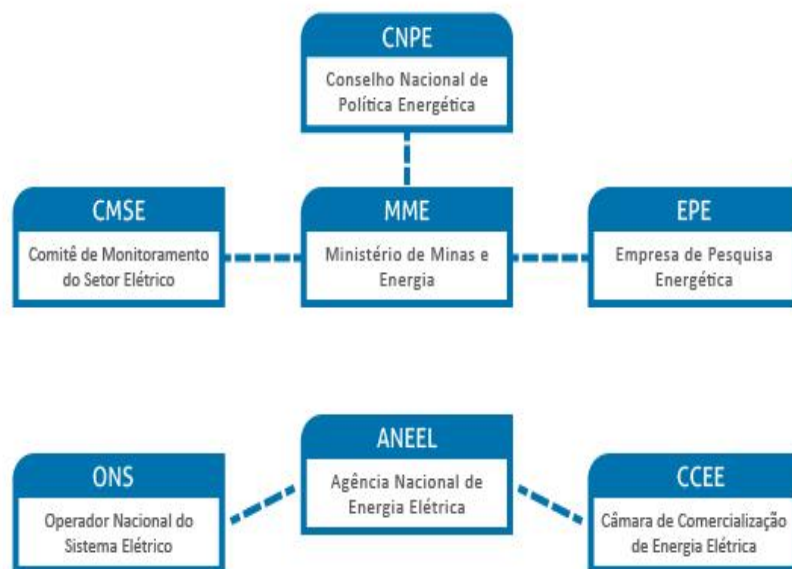


Figura 3 - Agentes do mercado de energia elétrica do Brasil
Fonte: (CCEE, 2020)

A seguir serão apresentadas as atribuições de cada um dos agentes descritos na figura 3:

- A Aneel tem as atribuições de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. Zelar pela qualidade dos serviços prestados, pela universalização do atendimento e pelo estabelecimento das tarifas para os consumidores finais, sempre preservando a viabilidade econômica e financeira dos agentes e da indústria, também é responsabilidade da Aneel;
- O CMSE é um órgão sob coordenação direta do Ministério de Minas e Energia - MME, criado com a função de acompanhar e avaliar a continuidade e a segurança do suprimento elétrico em todo o território nacional;
- O CNPE é um órgão interministerial de assessoramento à Presidência da República que tem como principais atribuições a formulação de políticas e diretrizes de energia que assegurem o suprimento de insumos energéticos a todas as áreas do país, incluindo as mais remotas e de difícil acesso;
- A EPE é uma instituição vinculada ao Ministério de Minas e Energia cuja finalidade é a prestação de serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético;

- O MME é o órgão do governo federal responsável pela condução das políticas energéticas do país. Suas principais obrigações incluem a formulação e a implementação de políticas para o setor energético, de acordo com as diretrizes definidas pelo Conselho Nacional de Política Energética – CNPE;
- O ONS é a instituição responsável por operar, supervisionar e controlar a geração de energia elétrica no Sistema Integrado Nacional - SIN e por administrar a rede básica de transmissão de energia elétrica no Brasil.

No Brasil a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) é a responsável pelos leilões de energia elétrica. Os leilões são a principal forma de contratação de energia elétrica no Brasil e são realizados através de delegação da ANEEL. Atendem as demandas dos Agentes Distribuidores, que por sua vez atendem os consumidores cativos. O critério de menor tarifa é sempre utilizado para definir os vencedores do leilão, garantindo desta forma a modicidade tarifária, a qual é uma das missões da CCEE. (CCEE, 2020).

O governo, por meio da realização dos leilões, coordena a expansão do parque gerador. Os leilões são processos licitatórios. Os empreendedores contratados nos leilões estabelecem com os agentes de distribuição os Contratos de Comercialização de Energia Elétrica condizentes as suas necessidades de compra para entrega no ano de início de suprimento da energia contratada (EPE, 2019).

O critério de menor tarifa é utilizado para definir os vencedores dos leilões, a seguir será apresentado o funcionamento das modalidades existentes de acordo com a CCEE (2020):

- Leilão de venda - O objetivo do leilão de venda realizado em 2002 foi tornar disponíveis, aos agentes distribuidores e comercializadores, os lotes de energia ofertados por empresas geradoras federais, estaduais e privadas, assegurando-se igualdade de acesso aos interessados;
- Leilão de fontes alternativas - O leilão de fontes alternativas foi instituído com o objetivo de atender ao crescimento do mercado no ambiente regulado e aumentar a participação de fontes renováveis – eólica, biomassa e energia proveniente de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) – na matriz energética brasileira;

- Leilão de excedentes - O leilão de excedentes foi realizado pelo MME em 2003, e teve como objetivo a venda dos excedentes de energia elétrica das concessionárias e autorizadas de geração decorrentes da liberação dos contratos iniciais, bem como os montantes estabelecidos nas Resoluções Aneel nº 267, 450 e 451, todas de 1998, compreendidos como energia de geração própria;
- Leilão estruturante - Leilões estruturantes destinam-se à compra de energia proveniente de projetos de geração indicados por resolução do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e aprovados pelo presidente da República. Tais leilões se referem a empreendimentos que tenham prioridade de licitação e implantação, tendo em vista seu caráter estratégico e o interesse público;
- Leilão de energia de reserva - A contratação da energia de reserva foi criada para elevar a segurança no fornecimento de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), com energia proveniente de usinas especialmente contratadas para esta finalidade, seja de novos empreendimentos de geração ou de empreendimentos existentes;
- Leilão de energia nova - O leilão de energia nova tem como finalidade atender ao aumento de carga das distribuidoras. Neste caso são vendidas e contratadas energia de usinas que ainda serão construídas;
- Leilão de energia existente - O leilão de energia existente foi criado para contratar energia gerada por usinas já construídas e que estejam em operação, cujos investimentos já foram amortizados e, portanto, possuem um custo mais baixo;
- Leilão de compra - Os leilões de compra foram realizados nos anos 2003 e 2004. Sua implantação deu-se em virtude da Lei nº 9.648/1998, que estabeleceu a liberação do volume de energia atrelado aos contratos iniciais à proporção de 25% ao ano, considerando o montante contratado em 2002;
- Leilão de ajuste - Os leilões de ajuste visam a adequar a contratação de energia pelas distribuidoras, tratando eventuais desvios oriundos da diferença entre as previsões feitas distribuidoras em leilões anteriores e o comportamento de seu mercado.

Para um empreendedor participar desses leilões é necessário antes obter o cadastro e habilitação de acordo com as nota técnicas da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Nessa etapa muitos projetos podem ser recusados pelos mais diversos motivos: irregularidades com o terreno, licenciamento ambiental, falta de dados solarimétricos, entre outros. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), empresa pública federal que tem por finalidade prestar serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, desde o primeiro leilão, tem sido fundamental para o aperfeiçoamento das regras e dos parâmetros básicos definidos nas portarias de diretrizes do MME, além disso, conduz todo o processo de habilitação técnica dos empreendimentos de geração participantes (EPE, 2019).

A figura 4 exemplifica a sucessão de acontecimentos para a o leilão de energia.

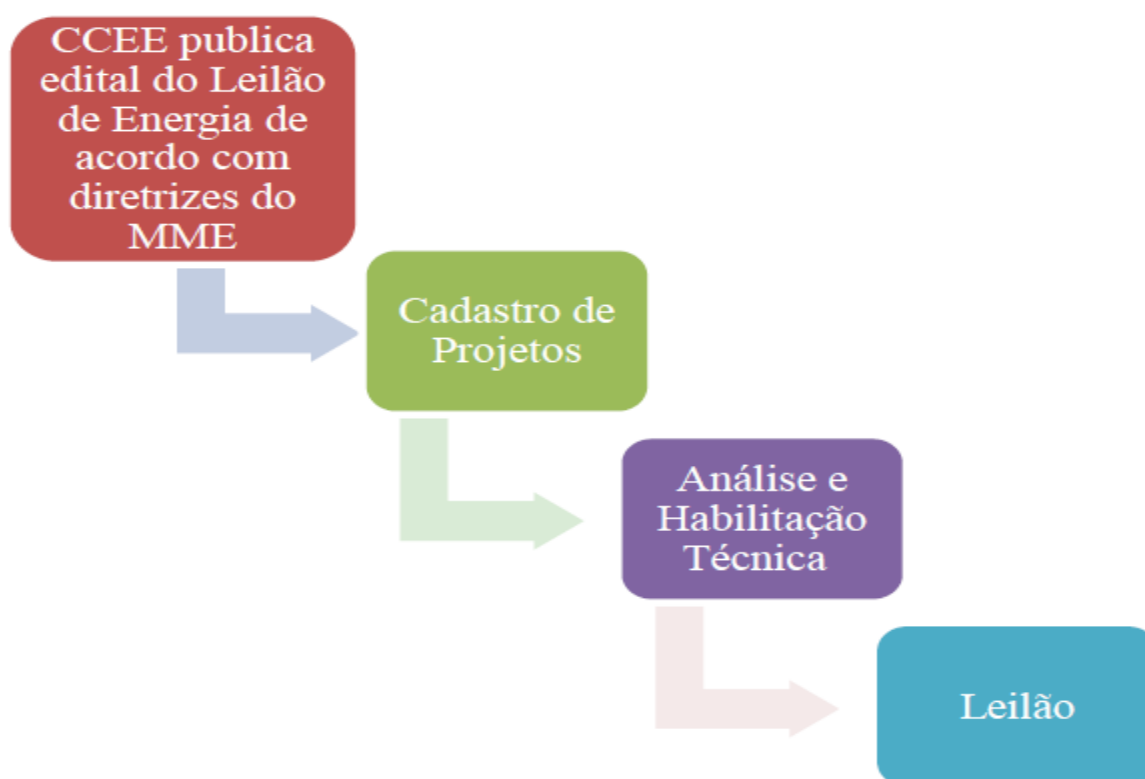


Figura 4 - Etapas de um leilão de energia elétrica

2.2. Instruções para cadastro e habilitação técnica em um leilão de energia

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) operacionalizou a Portaria MME nº 102, de 22 de março de 2016, através de suas notas técnicas. Com isso, o

empreendedor deve adotar procedimentos para obtenção da habilitação em participar dos leilões de energia elétrica realizados pela CCEE. Nos tópicos seguintes serão apresentados os pontos importantes da referida nota técnica.

2.2.1. Objetivo

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) através de sua nota técnica Nº EPE-DEE-RE-065/2013-r6_UFV trata dos procedimentos a serem adotados para a solicitação de cadastramento de empreendimentos fotovoltaicos com vista à obtenção de habilitação técnica da EPE, para a participação nos leilões de compra de energia elétrica, para o Sistema Interligado Nacional (SIN), onde serão celebrados contratos de comercialização no Ambiente de Contratação Regulada – ACR.

A referida nota técnica tem como objetivo estabelecer a forma de apresentação da documentação de empreendimentos fotovoltaicos e com isso operacionaliza-se, desta forma, o disposto na Portaria MME nº 102, de 22 de março de 2016, e suas alterações, bem como as demais normas infralegais que regem esse processo.

As informações fornecidas pelo empreendedor serão utilizadas para: o cálculo das Garantias Físicas dos empreendimentos fotovoltaicos, a composição dos contratos de compra e venda de energia no ACR.

2.2.2. Diretrizes

O art. 9º da portaria MME nº 102, de 22 de março de 2016 diz que não serão habilitadas, ou emitidas as Declarações de Aptidão à Inscrição no Leilão - DAIL para os empreendimentos cujos agentes interessados não apresentem a totalidade dos documentos.

A documentação requerida deverá ser apresentada em formato digital pelos agentes até a data limite para cadastramento. No decorrer da análise, em conformidade com o disposto no art. 9º, § 4º, da Portaria MME nº 102/2016, a EPE poderá exigir informações e documentos adicionais e promover diligências com vistas à complementação das análises necessárias à habilitação técnica dos empreendimentos.

2.2.3. Procedimentos para cadastro e habilitação técnica

Os dados serão inseridos no Sistema de Acompanhamento de Empreendimentos Geradores, chamado de AEGE. Esse sistema tem como finalidade possibilitar aos empreendedores a inserção dos dados de seus empreendimentos.

A inclusão dos dados do empreendimento gerador de energia no Sistema AEGE será um dos elementos constitutivos para o seu futuro Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia. Para o preenchimento do AEGE devem ser observadas as instruções constantes do MANUAL DO AEGE PARA EMPREENDEDORES (EPE-DEE-RE-028/2013), disponível no sítio da EPE na internet, www.epe.gov.br.

2.2.4. Documentação requerida

O cadastro será solicitado através do preenchimento de um requerimento ao qual deverá ser anexada a mídia digital contendo todo o conjunto de documentos estabelecidos Portaria MME nº 102, de 22 de março de 2016. O formulário para solicitação de cadastramento e os documentos estabelecidos estão nos anexos da nota técnica.

A Ficha de Dados é o documento que apresenta os dados técnicos, cronograma, orçamento e características operacionais de um empreendimento, e é gerada automaticamente a partir dos dados inseridos pelo empreendedor no Sistema AEGE. Todos os campos constantes da Ficha de Dados no Sistema AEGE deverão ser obrigatoriamente preenchidos.

Conforme o art. 2º da Portaria MME nº 102/2016, para fins de habilitação técnica pela EPE os empreendimentos de geração deverão estar registrados na Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Conforme disposto no inciso X, §3º do art. 4º da Portaria MME nº 102/2016, o Registro emitido pela ANEEL, com características técnicas compatíveis com o projeto, é um dos documentos obrigatórios para cadastramento e habilitação técnica do empreendimento.

Deverá ser incluído na documentação do processo de habilitação o memorial descritivo do projeto da Central Geradora Fotovoltaica – UFV, contemplando a sumarização a seguir apresentada:

- Características gerais do empreendimento, tais como: localização e acessos, infraestrutura disponível, recurso solar e condições climáticas e caracterização geral do terreno da UFV;
- Concepção técnica da UFV, tais como: características das unidades geradoras (módulos fotovoltaicos e inversores), descrição dos demais equipamentos e sistemas de controle e equipamentos elétricos;
- Índices de indisponibilidade;
- Custo fixo anual de operação e manutenção;
- Desenhos de projeto e diagramas unifilares;

Outra exigência é a apresentação da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) e nesta deve constar obrigatoriamente o nome e endereço da empresa contratante e da empresa contratada, nome e número do registro do profissional, título (mecânica, elétrica, civil, etc.) do responsável pelo projeto, nome do empreendimento, potência instalada e o endereço onde o mesmo será construído.

Também fará parte da documentação requerida a licença ambiental e os Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto ao Meio Ambiente – EIA/RIMA.

2.2.5. Certificação dos dados solarimétricas e produção anual de energia

No ato do cadastramento deverá ser apresentada a Certificação de Dados Solarimétricos e a Certificação de Produção Anual de Energia. Todos os procedimentos, critérios, normas e cálculos utilizados nas certificações deverão seguir as recomendações de entidades nacionais e internacionais.

As Certificações deverão abordar o descritivo dos trabalhos realizados, contemplando, entre outros fatores, as características principais do empreendimento em questão, os parâmetros e critérios adotados, metodologias e softwares empregados para análises de consistência, correlação e extrapolação de dados de irradiação e cálculo da Produção Certificada.

De acordo com a Portaria MME nº 102/2016, serão exigidos no ato do Cadastramento:

- Para empreendimentos sem tecnologia de concentração da radiação: o mínimo de 12 (doze) meses consecutivos de medição da irradiação global horizontal no local do empreendimento; e

Para empreendimentos com tecnologia de concentração da radiação: o mínimo de 12 (doze) meses consecutivos de medição da irradiação direta normal no local do empreendimento e, a partir de 2018, o mínimo de 36 (trinta e seis) meses consecutivos desta medição.

2.2.5.1. Certificação dos dados solarimétricos

Como requisito para certificações dos dados solarimétricos é preciso apresentar uma ficha técnica da estação solarimétrica de onde os dados foram coletados. Nessa ficha técnica deve contar:

- As coordenadas UTM de localização;
- Detalhes da instalação, tais como: o terreno onde foi montada, isso pode ser feito por meio de fotos;
- Data de instalação e relação de todos os equipamentos do sistema de medição instalados e suas características técnicas.

A estação deve estar equipada, no mínimo, com instrumentos de medição de irradiância global horizontal (dois piranômetros, padrão “First Class” ou superior, conforme norma ISO 9060:1990, orientados no plano horizontal), umidade relativa, temperatura e velocidade do vento. Os instrumentos deverão estar calibrados e deverá ser apresentada comprovação de tal fato.

Para a certificação dos dados solarimétricos é preciso de acordo com a nota técnica Nº EPE-DEE-RE-065/2013-r6_UFVda EPE constar obrigatoriamente:

- Outras fontes de dados solarimétricos consideradas, sendo ela da rede privada ou da rede pública;
- Análise de consistências dos dados, descrevendo os períodos de falhas e a metodologia de preenchimento;
- Avaliação da correlação dos dados de medição local com dados solarimétricos de longo prazo (histórico de pelo menos 10 anos) em intervalos horários ou menores, além da descrição da metodologia de ajuste de dados, caso utilizada;
- Descrição do procedimento utilizado para geração do ano meteorológico típico a partir dos dados de longo prazo ajustados, obtidos conforme item anterior;

- Diagrama de trajetória solar anual no local do empreendimento, com azimute e altura solar, considerando a topografia do horizonte;
- Médias horárias mensais de irradiação global horizontal (kWh/m²), e temperatura ambiente (°C) e médias mensais de longo prazo da irradiação global horizontal (kWh/m²) e temperatura ambiente (°C), todas calculadas com base no ano meteorológico típico;
- Determinação das incertezas associadas à irradiação global horizontal;
- Os arquivos digitais em formato “Excel” com as medições da(s) estação(ões) solarimétrica(s) contendo os registros originais (“brutos”) e os dados tratados. O arquivo com os registros brutos deve contemplar a totalidade de dados da série, conforme registro original do equipamento, inclusive as medidas consideradas não válidas. O arquivo com os dados tratados deve contemplar a série de dados resultante após a realização do tratamento e do preenchimento de falhas.

Já como requisitos de medições a nota técnica N° EPE-DEE-RE-065/2013-r6_UFVda EPE diz que a certificação da campanha de medições solarimétricas no local do empreendimento deverá atender aos seguintes itens:

- As medições deverão ser realizadas em pelo menos uma estação solarimétrica, dentro de um raio de até 10 km do local do empreendimento;
- Deverão ser medidas as seguintes grandezas: Irradiação Global Horizontal, dados de temperatura, da umidade relativa do ar e velocidade do vento;
- A frequência de medição deverá ser a cada segundo e os dados integralizados a cada dez minutos;
- A campanha de medições deverá ter período não inferior a 12 (doze) meses consecutivos;
- O índice de perda de dados deverá ser inferior a 10% (dez por cento) e o período contínuo de ausência de medições não poderá superar 15 (quinze) dias;
- No caso de perdas de dados, deve-se informar a taxa de perda e a origem da recuperação dos dados por meio de correlação com outras fontes representativas da região.

2.2.5.2. Certificação de produção anual de energia

Para a obtenção da certificação da produção anual de energia de acordo com a nota técnica Nº EPE-DEE-RE-065/2013-r6_UFVda EPE deverá constar obrigatoriamente as seguintes informações:

- Descrição detalhada da metodologia e dos modelos empregados para o cálculo da irradiação no plano inclinado dos módulos (sejam fixos ou com rastreadores);
- Caracterização técnica dos equipamentos principais (módulos, inversores, cablagem, transformadores, etc);
- Considerações sobre eventuais restrições impostas ao inversor, indicando qual o Fator de Capacidade Máxima;
- Análise de efeitos de sombreamento e de albedo;
- Descrição das séries e arranjos fotovoltaicos típicos, informando azimute e inclinação, e a interligação destes com os inversores;
- Fotografias do local, caracterizando as quatro direções cardeais;
- Devem ser discriminados e quantificados todos os fatores de perdas considerados para o cálculo da Produção Certificada, como: perdas por temperatura, sujeira, sombreamento, angulares, espectrais, degradação anual dos módulos ao longo do período contratual, mismatch, tolerância sobre a potência nominal dos módulos, ôhmicas na cablagem, eficiência do inversor, controle de potência máxima (MPPT), degradação inicial (LID), nível de irradiância, entre outros, a critério da entidade certificadora. Devem ser identificados e justificados eventuais agrupamentos de perdas;
- Para cada perda, deve ser informada a metodologia usada para seu cálculo, por meio de um resumo e da indicação das devidas referências bibliográficas. Se a perda for estimada, indicar os valores de referência e sua fonte. Caso uma referência não seja de domínio público, deve ser anexada à certificação;
- Para todo modelo computacional utilizado, deve ser anexado arquivo digital do manual de referência metodológica, ainda que o modelo seja interno;
- Os valores de Produção Anual de Energia Certificada com uma probabilidade de ocorrência igual ou maior a 50% e 90%, considerando todo o período contratual em MWh;

- A Produção Certificada Média Mensal, em MWh, considerando as condições meteorológicas locais e os diversos fatores de perdas, inclusive a degradação média dos módulos fotovoltaicos ao longo do contrato. Este valor de Produção Certificada servirá de base para o cálculo da Garantia Física;
- Produção Certificada Anual e o Desempenho Global do Sistema (“Performance Ratio”) para cada ano da vigência contratual;
- As incertezas padrão na estimativa de Produção Anual de Energia para o período de um ano e para longo prazo (20 anos), contemplando as incertezas dos dados solarimétricos, da representatividade do período monitorado, da variabilidade interanual, da variabilidade espacial, da transposição para o plano dos módulos, do modelo e simulação energética e do cálculo de perdas da planta solar, calculadas de acordo com a norma ISO/IEC GUIDE 98-3:2008;
- Para cada incerteza, deve ser informada a metodologia usada para seu cálculo, através de um resumo e da indicação das devidas referências bibliográficas. Se a incerteza for estimada, indicar valores de referência e sua fonte. Caso uma referência não seja de domínio público, a mesma deverá ser anexada à certificação.

Para os cálculos de produção certificada devem ser levados em consideração o ano meteorológico típico que foi descrito na certificação dos dados solarimétricos. Para o cálculo da produção de energia tomar como base o fluxograma descrito na figura 5:

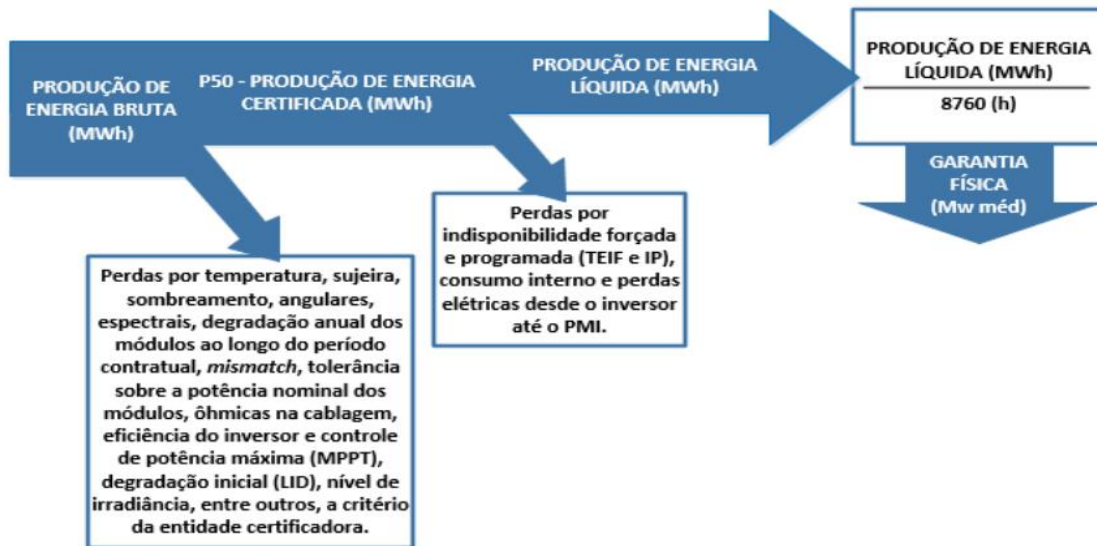


Figura 5 - Produção de energia líquida
Fonte: (EPE, 2013)

2.3. Fatores de perdas de sistemas fotovoltaicos

Para um correto dimensionamento de uma usina fotovoltaica e a correta estimativa da produção anual de energia líquida é fundamental entender os fatores de perdas em um sistema fotovoltaico. Ao longo deste trabalho serão estudados alguns dos fatores de perda em módulos fotovoltaicos.

De um modo geral, as perdas de um sistema podem ser definidas como todos os efeitos que diminuem a energia de saída em relação à potência nominal dos módulos em condições STC (Standard Test Conditions). Diversas fontes de perda não são pontualmente mensuráveis. Um arranjo de um sistema ideal deve produzir 1 kW/kWp sob uma irradiação (G) de 1 kW / m², considerando os efeitos de sombreamento da irradiação, ou seja, assume-se uma resposta linear de acordo com a irradiação incidente, o arranjo fotovoltaico irá produzir uma quantidade de energia de kWh sob uma energia de kW para cada kWp instalada (conforme definido no STC). (PVSYST, 2012).

As perdas em um sistema fotovoltaico é um dos motivos que fazem sistemas com mesmo dimensionamento e em uma mesma localidade não geram necessariamente a mesma quantidade. A geração de um sistema fotovoltaico é diminuída pelas seguintes perdas:

- Perda por conversão de energia;
- Sombreamento;
- Incompatibilidade / descasamento de módulos;
- Sujeira dos módulos;
- Reflexão;
- Perdas na corrente contínua;
- Perdas no inversor;
- Perdas na fiação elétrica;
- Outros.

De acordo com o Araújo, Rank e Bueno (2016) a Sociedade Alemã de Energia Solar quantificou em 2013 os fatores de perdas, mostrado na figura 6 abaixo:

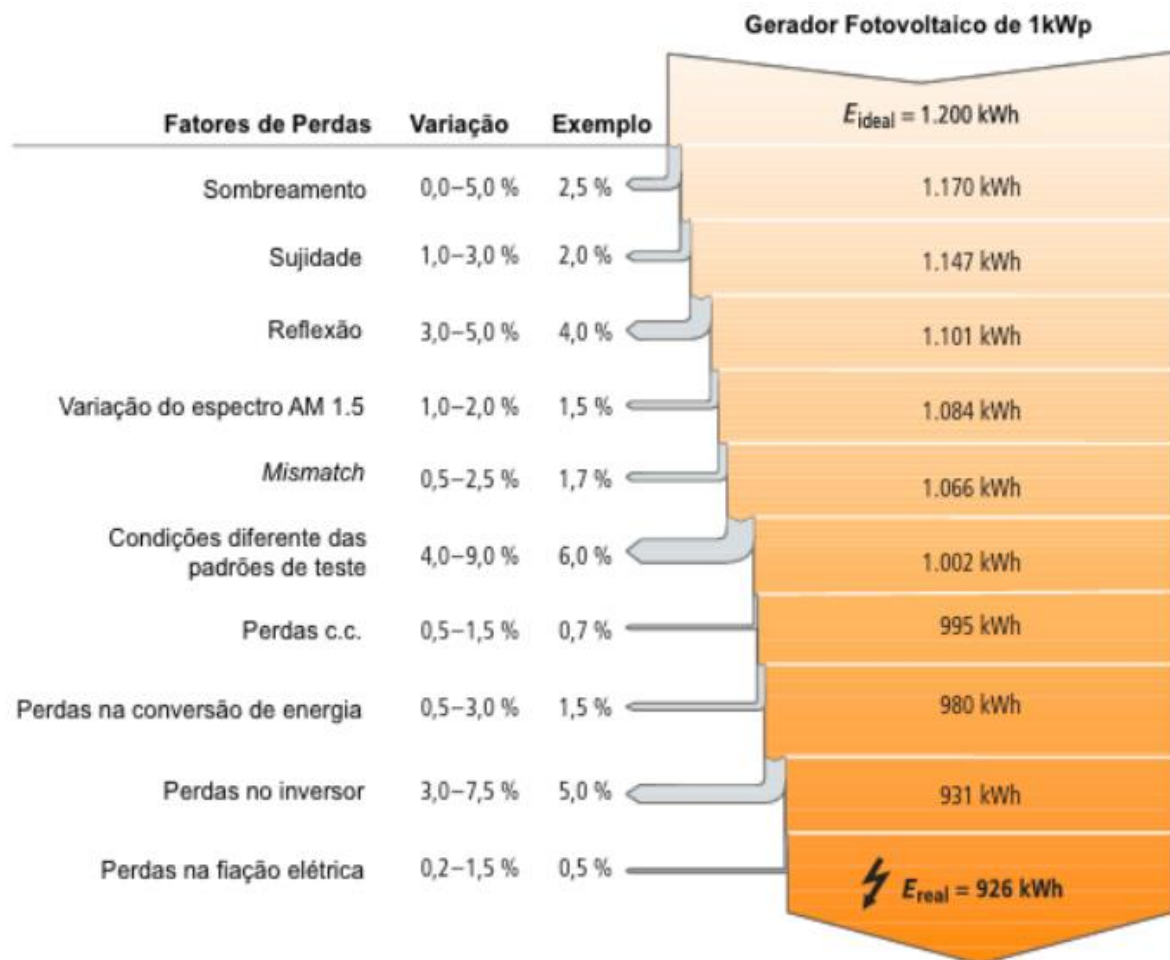


Figura 6 - Fatores de perdas em um módulo fotovoltaico de 1200 kWp.
Fonte: (ARAÚJO; RANK; BUENO, 2016)

A figura 6 mostra que aproximadamente 23% de energia elétrica deixa de ser gerada devido às perdas. Com isso, é necessário estimar corretamente essas perdas para um bom dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos.

2.4. Garantia física

Podemos entender a garantia física como a energia mínima média gerada por unidade de tempo, levando em consideração as indisponibilidades de geração de energia elétrica que podem ocorrer no empreendimento. (CCEE, 2014).

A comercialização de energia elétrica é realizada através de um certificado e esse é uma garantia da energia elétrica comercializada. Com isso, é firmado um contrato a partir da perspectiva de geração, permitindo o desenvolvimento para o setor elétrico brasileiro, o conceito de garantia física (Castro, 2009).

Para os empreendimentos fotovoltaicos, a EPE através de sua nota técnica Nº EPE-DEE-RE-065/2013-r6_UFV disponibiliza a forma de cálculo da garantia física:

$$GF = \frac{[P50_{ac} \times (1 - TEIF) \times (1 - IP) - \Delta P]}{8760} \quad (1)$$

Onde:

- GF = Garantia Física de Energia, em MW médio;
- $P50_{ac}$ = Produção média anual de energia certificada, em MWh, referente ao valor de energia anual média que é excedido com uma probabilidade de ocorrência igual ou maior a cinquenta por cento (50%) para o período do contrato;
- TEIF = Taxa equivalente de indisponibilidade forçada;
- IP = Indisponibilidade forçada;
- ΔP = Estimativa anual de consumo interno e perdas elétricas até o ponto de medição individual do empreendimento com o Sistema Elétrico, em MWh;
- 8760 = Número de horas no ano.

3. METODOLOGIA DO TRABALHO

Os dados foram coletados seguindo as orientações nota técnica da EPE Nº EPE-DEE-RE-065/2013-r6_UFV que trata de Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica de Empreendimentos Fotovoltaicos. Os dados utilizados no presente trabalho foram coletados na estação de Brasília que está localizada nas seguintes coordenadas -15,60083 de latitude e -47,71306 de longitude. O período de amostragem considerado no presente estudo vai de maio de 2018 até abril de 2019. Os dados são disponibilizados para o público através do site <http://sonda.ccst.inpe.br/index.html>.

3.1. Certificação dos dados solarimétricos

Para se atingir o objetivo específico de avaliar desde o ponto de vista dos métodos de análise de dados os procedimentos de certificação de dados solarimétricos com vista à participação nos leilões de energia elétrica será necessário que a estação solarimétrica atenda os seguintes requisitos:

- Para a estação solarimétrica:
 - Ficha técnica da estação solarimétrica especificando as coordenadas UTM de localização da mesma e relação de todos os equipamentos do sistema de medição nela instalados, com suas respectivas características técnicas;
 - A estação deve estar equipada, no mínimo, com instrumentos de medição de irradiância global horizontal (dois piranômetros, padrão “First Class” ou superior, conforme norma ISO 9060:1990, orientados no plano horizontal), umidade relativa, temperatura e velocidade do vento;
 - As medições deverão ser realizadas em pelo menos uma estação solarimétrica, dentro de um raio de até 10 km do local do empreendimento;
- Para os dados solarimétricos:
 - Mínimo de 12 (doze) meses consecutivos de medição da irradiação global horizontal no local do empreendimento;
 - A frequência de medição deverá ser a cada segundo;

- Deverão ser medidas as seguintes grandezas: Irradiação Global Horizontal, dados de temperatura, da umidade relativa do ar e velocidade do vento;
- O índice de perda de dados deverá ser inferior a 10% (dez por cento) e o período contínuo de ausência de medições não poderá superar 15 (quinze) dias;
- Avaliação da correlação dos dados de medição local;
- Descrição do procedimento utilizado para geração do ano meteorológico típico;

3. 2. Certificação da produção anual de energia

Os seguintes requisitos devem ser atingidos para se obter a certificação da produção anual de energia:

- Caracterização técnica dos equipamentos principais (módulos, inversores, etc);
- Análise de efeitos de sombreamento e de albedo;
- Descrição das séries e arranjos fotovoltaicos típicos, informando azimute e inclinação, e a interligação destes com os inversores;
- Fotografias do local, caracterizando as quatro direções cardeais;
- Devem ser discriminados e quantificados todos os fatores de perdas considerados para o cálculo da Produção Certificada, como: perdas por temperatura, sujeira, sombreamento, angulares, espectrais, degradação anual dos módulos ao longo do período contratual, mismatch, tolerância sobre a potência nominal dos módulos, ôhmicas na cablagem, eficiência do inversor, controle de potência máxima (MPPT), degradação inicial (LID), nível de irradiância, entre outros, a critério da entidade certificadora. Devem ser identificados e justificados eventuais agrupamentos de perdas;
- Os valores de Produção Anual de Energia Certificada com uma probabilidade de ocorrência igual ou maior a 50% e 90%, considerando todo o período contratual em MWh;
- A Produção Certificada Média Mensal, em MWh, considerando as condições meteorológicas locais e os diversos fatores de perdas, inclusive

a degradação média dos módulos fotovoltaicos ao longo do contrato. Este valor de Produção Certificada servirá de base para o cálculo da Garantia Física.

A estimativa de produção de energia é calculada utilizando o software PVsyst. Todas as descrições são feitas com base na manual de ajuda que o próprio software disponibiliza para possíveis dúvidas.

O PVsyst, teve origem na Universidade de Genebra em 1992 na Suíça, sendo atualmente comercializado pela empresa PVsyst SA. O programa permite o dimensionamento, a simulação e uma análise completa dos dados de sistemas fotovoltaicos. O software PVsyst é a ferramenta computacional mais usada, pelos projetistas, para dimensionamento e estimativa de produção de energia para sistemas fotovoltaicos. Este possibilita estimar a geração do sistema a partir do sistema especificado e dos dados de incidência da região, enquanto leva em consideração perdas, como perda nos condutores, perda por sombreamento, perda nos MPPTs, entre outras. Em sua base de dados há informações referentes à incidência solar, modelos de painéis e inversores, além de permitir a modelagem de muitos parâmetros, como ângulo azimutal, inclinação (indicando a melhor situação) e perspectiva do horizonte. (Pita, 2018)

O PVsyst permite importar diferentes bases de dados meteorológicos e possui ainda uma ampla base de informações de módulos e inversores. O PVsyst possui integração com bases de dados gratuitas e pagas. Três grandes bases de dados gratuitas consideradas de alta qualidade são a NASA-SSE, PVGIS e Meteonorm, porém pode se utilizar dados de outras bases. Dados solarimétricos coerentes e com um bom grau de confiança são indispensáveis para estimativa de produção de energia. As fontes mais usuais são os dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e SONDA (Sistema de Organização de Dados Ambientais). Além desses, tem o SunData e o CRESESB. (Jesus, 2018)

O software PVsyst detalha em suas simulações as perdas do sistema fotovoltaico. A figura 7 mostra de que maneira o PVsyst apresenta a estimativa de produção de energia e as perdas associadas ao sistema fotovoltaico simulado.

Diagrama das perdas do ano inteiro

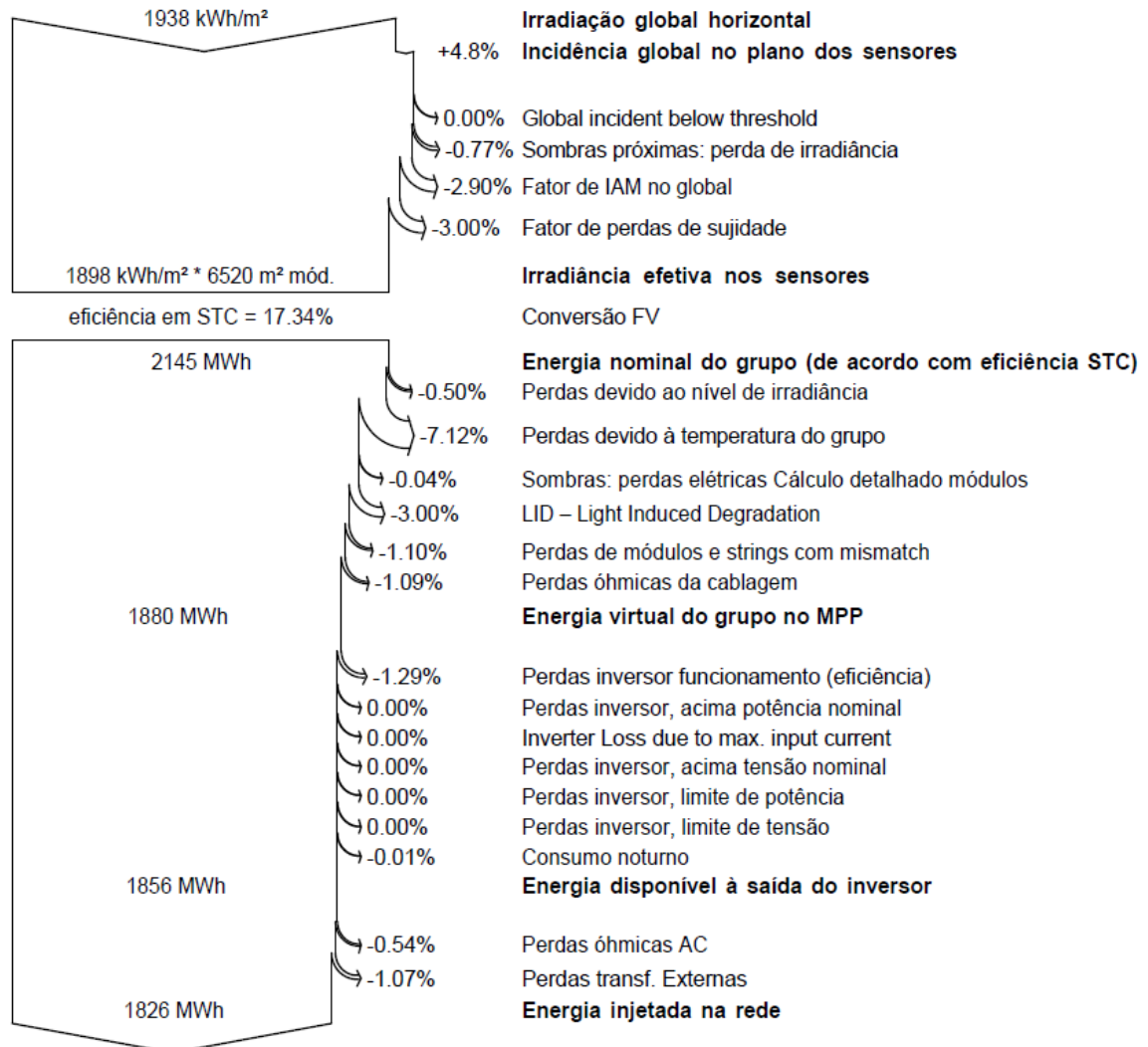


Figura 7 – Perdas estimadas no PVsyst.
Fonte: (PVsyst)

A incerteza padrão da simulação é da ordem de 2 - 3%, considerando as incertezas do cálculo de perdas: sombreamento, angulares e espectrais, sujeira, nível de irradiância, temperatura, tolerância de potência dos módulos, incompatibilidade elétrica (mismatch), ôhmicas em corrente contínua e as eficiências do inversor (ajuste MPPT e conversão).

4. RESULTADOS

Os resultados serão apresentados de modo atender os requisitos para obtenção da certificação dos dados solarimétricos e para a certificação da produção anual de energia.

4.1. Certificação dos dados solarimétricos

4.1.1. Rede SONDA

A criação da Rede SONDA teve a finalidade de fornecer dados meteorológicos e solarimétricos confiáveis em apoio ao setor energético brasileiro. A Rede SONDA possui locais de medição em diversos pontos do território brasileiro. As estações estão estrategicamente localizadas para avaliar e caracterizar o recurso de energia solar em todas as condições climáticas regionais típicas em território brasileiro.

A Rede SONDA é coordenada pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE) através do LABREN (Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia). Todo o banco de dados SONDA é entregue para acesso público e pode ser usado como referência para desenvolvimento em pesquisa, estudos, desenvolvimento de projetos e validação de modelos numéricos de levantamento desses recursos renováveis.

A Rede SONDA possui quatorze estações em operação sob coordenação do INPE e seis estações parceiras, a distribuição dessas estações pelo território brasileiro é apresentada da figura 8. De acordo com Pes et al. (2020) “as estações SONDA estão divididas em três categorias: solarimétricas e anemométricas e estação de referência. Dentre as estações de referência, três delas fazem parte da rede internacional Baseline Radiation Network (BSRN)”.

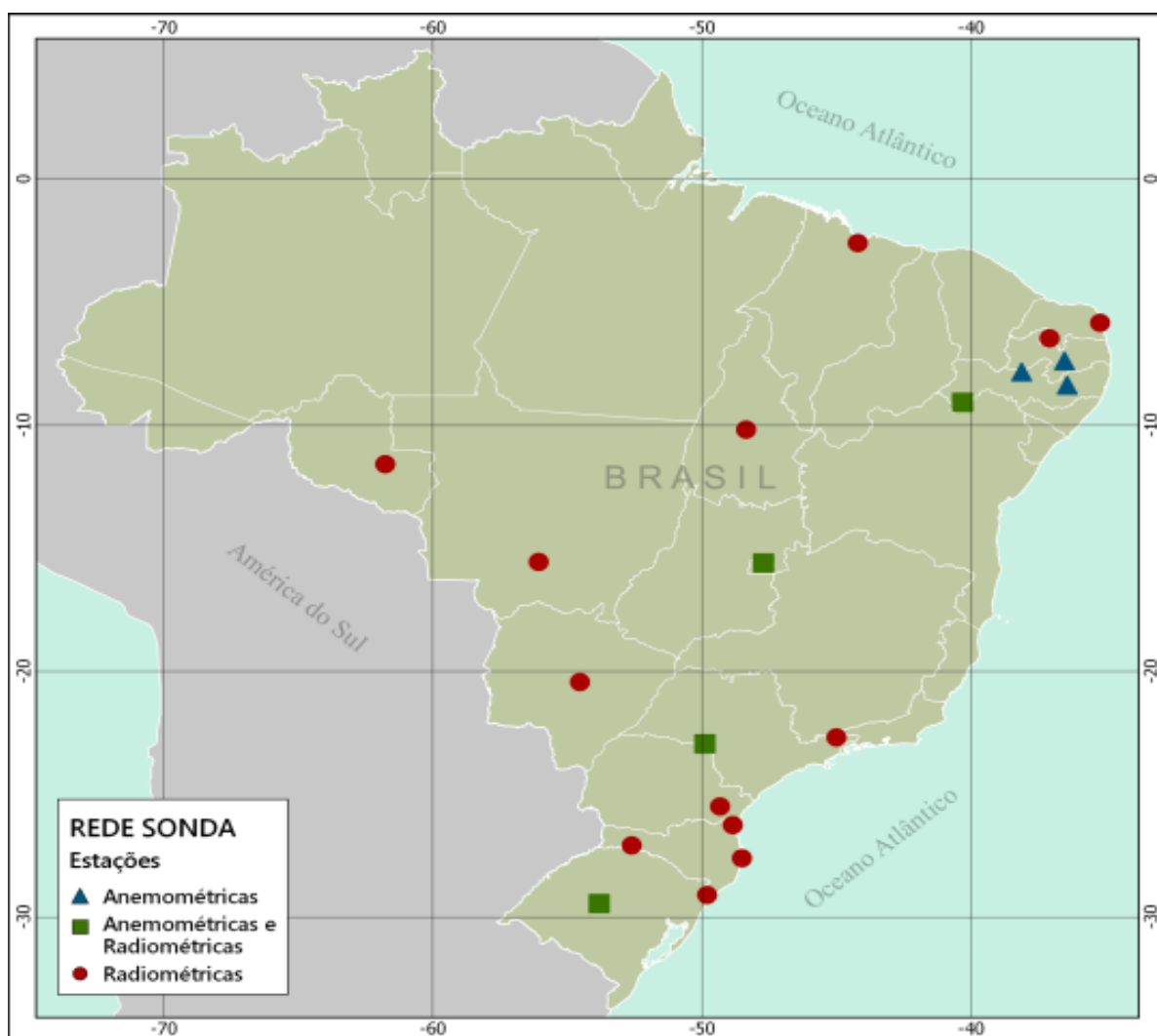


Figura 8 - Mapa da localização das estações da Rede SONDA

Fonte: < <http://sonda.ccst.inpe.br/>>

Onde as estações identificadas por um triângulo são anemométricas, por um quadrado são anemométricas e radiométricas e por um círculo são apenas radiométricas.

As estações de coleta da rede possuem várias configurações, dependendo do local e de suas especificações técnicas. De acordo com Pes et al. (2020) “as estações solarimétricas de referência são vinculadas a redes internacionais como a BSRN e são providas com a maior quantidade de sistemas de medida.” As quatro estações solarimétricas de referência são: as de Brasília (DF), Petrolina (PE), Florianópolis (SC) e São Martinho da Serra (RS). A figura 9 ilustra uma estação de referência (São Martinho da Serra).



Figura 9 - Estação de referência
Fonte: (Pes, 2010)

A rede possui estações distribuídas no território brasileiro de maneira a representar as principais regiões macroclimáticas do país: a região semiárida do Nordeste, a região do cerrado no Planalto Central, a região de clima temperado no sul do Brasil e a região Sudeste. Uma estação que represente o macroclima da região amazônica está em estudo. A seguir será apresentado o quadro 2 que mostrará a lista das estações da Rede SONDA:

Quadro 2 – Lista de estações da Rede SONDA

ID	Nome	Sigla	UF	Tipo	Latitude	Longitude	Altitude(m)
01	Florianópolis	FLN	SC	S	27° 36' 6,1" S	48° 31' 4,2" O	31
04	Joinville	JOI	SC	S	26° 15' 09" S	48° 51' 28" O	48
05	Sombrio	SBR	SC	S	29° 05' 44" S	49° 48' 48" O	15
06	Chapecó	CHP	SC	S	27° 04' 48" S	52° 36' 52" O	700
08	São Martinho	SMS	RS	SA	29° 26' 34" S	53° 49' 23" O	489
10	Brasília	BRA	DF	SA	15° 36' 03" S	47° 42' 47" O	1023
11	Petrolina	PTR	PE	SA	09° 04' 08" S	40° 19' 11" O	387
12	Campo Grande	CGR	MS	S	20° 26' 18" S	54° 32' 18" O	677
13	Cachoeira Paulista	CPA	SP	S	22° 41' 22,65" S	45° 00' 22,28" O	574
16	São Luiz	SLZ	MA	S	02° 35' 36" S	44° 12' 44" O	40
17	Natal	NAT	RN	S	05° 50' 12" S	35° 12' 23" O	58
19	Palmas	PMA	TO	S	10° 10' 40" S	48° 21' 43" O	216
20	Caicó	CAI	RN	S	06° 28' 01" S	37° 05' 05" O	176
21	Cuiabá	CBA	MT	S	15° 33' 19" S	56° 04' 12" O	185
22	Belo Jardim	BJD	PE	A	08° 22' 03" S	36° 25' 46" O	718

23	Triunfo	TRI	PE	A	07° 49' 38" S	38° 07' 20" O	1123
25	São João do Cariri	SCR	PB	A	07° 22' 54" S	36° 31' 38" O	486
27	Rolim de Moura	RLM	RO	S	11° 34' 54" S	61° 46' 25" O	252
28	Ourinhos	ORN	SP	SA	22° 56' 55" S	49° 53' 39" O	446
60	Curitiba	CTB	PR	S	25° 29' 43,6" S	49° 19' 52,35" O	891

Fonte: < <http://sonda.ccst.inpe.br/>>

Cada estação da rede SONDA possui uma configuração específica de sensores, medindo variáveis diferentes conforme sua classificação:

- Estação anemométrica (A);
- Estação solarimétrica (S);
- Estação anemométrica e solarimétrica (SA);

As estações dispõem de sensores para a coleta de dados das componentes da irradiação solar (difusa, direta e global), bem como radiação de onda longa descendente; dados de radiação fotossinteticamente ativa (PAR). Além dos dados relativos à radiação solar, as estações coletam dados meteorológicos básicos (temperatura do ar em 2, 25 e 50 metros, precipitação, umidade relativa do ar e pressão atmosférica) e dados eólicos (direção e velocidade) com sensores dispostos a alturas de 10, 25 e 50m em relação ao solo. As variáveis medidas por cada estação estão listadas nas páginas das próprias estações.

O banco de dados SONDA contém dois tipos de arquivos de dados, radiação solar e dados meteorológicos. Ambos são adquiridos com resolução de tempo de 1s e são calculados, em média, e armazenados com uma resolução de tempo de 1 minuto. Cada arquivo contém dados de um mês, o que corresponde a 1440 linhas por dia. O símbolo N / A (Não disponível) é usado para indicar que dados específicos não estão disponíveis devido a erro no sensor, problema eletrônico ou operação de manutenção. O símbolo N / S (sem sensor) é usado para indicar que o site não está equipado com esse sensor específico.

De acordo com Pes et al. (2020) “os dados coletados pelas estações passam por um processo de qualificação antes de ser disponibilizado no website da rede que objetiva identificar os dados suspeitos para garantir a confiabilidade desses ao usuário”. Essa validação indica onde pode ou não haver suspeita de incorreção através de códigos numéricos com 4 dígitos armazenados em arquivos próprios.

A seguir será detalhada a estação anemométrica e solarimétrica localizada na cidade de Brasília, de onde os dados serão coletados para o presente trabalho.

4.1.1.1. Estação de Brasília

A estação de Brasília é do tipo solarimétrica e anemométrica e está localizada nas seguintes coordenadas -15,60083 e latitude e -47,71306 de longitude. De acordo com a Rede SONDA a cidade de Brasília possui clima tropical de altitude, característicos de planaltos e serras. Ainda sobre a climatologia local a Rede SONDA diz que:

A região apresenta regime de precipitação bem definido. A estação chuvosa tem início em outubro e estende-se até março. A estação seca acontece no restante do ano, desde abril até setembro. A estação chuvosa é causada pelo forte aquecimento da atmosfera na Amazônia, que favorece o desenvolvimento de um sistema quase estacionário em altos níveis, a Alta da Bolívia. Como resultado dessa circulação, observa-se nos baixos níveis uma região de baixa pressão, chamada de Baixa do Chaco. Essa região de baixa pressão e a convergência de ar são os principais fatores que provocam a precipitação neste período, responsável por 70% do total médio anual. O total médio anual de precipitação em Brasília é aproximadamente 1700mm.

A seguir será apresentada a figura 10 que mostra as temperaturas máxima e mínima, a precipitação média e a umidade relativa do ar.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura Máxima (°C)	26,9	26,7	27,1	26,6	25,7	25,2	25,0	27,3	28,3	27,5	26,6	26,2
Temperatura Mínima (°C)	17,4	17,4	17,4	16,9	15,0	13,2	12,9	14,6	16,0	17,5	17,5	17,5
Precipitação Média (mm)	250	220	180	120	40	10	15	20	60	170	230	250
Umidade Relativa (%)	76	77	76	75	68	61	56	49	53	66	75	79

Figura 10 - Temperatura máxima e mínima, precipitação média e umidade relativa.

Fonte: < <http://sonda.ccst.inpe.br/>>

Dentre as variáveis medidas da estação da cidade de Brasília, a Rede SONDA divide em variáveis ambientais e variáveis anemométricas. As variáveis ambientais tem uma periodicidade mensal e intervalo de médias de 1 em 1 minuto, as variáveis ambientais medidas são: radiação global horizontal, radiação direta normal, radiação difusa, radiação de onda longa, PAR, iluminância, temperatura (superfície), umidade relativa, pressão atmosférica, precipitação de chuva, velocidade do vento (10m) e

direção do vento(10m). Já as variáveis anemométricas tem uma periodicidade mensal e intervalo de médias de 10 em 10 minutos, as variáveis anemométricas medidas são: velocidade do vento (25 e 50 m), direção do vento (25 e 50m) e temperatura (25 e 50 m).

4.1.1.2. Ficha técnica dos equipamentos da estação solarimétrica de Brasília

A estação solarimétrica de Brasília é composta por os seguintes instrumentos:

- Piranômetro: são sensores que medem a Radiação Solar Global (W/m^2) na faixa de 200 a 3600 nanômetros. Este tipo de instrumento pode ser utilizado para medir tanto a Radiação Global (Direta + Difusa) quanto unicamente a Radiação Difusa. Para a medição da radiação difusa, há um dispositivo de sombreamento na base do rastreador solar, impedindo incidência direta de radiação. A estrutura do instrumento é composta de abóbada (cúpula) de vidro, corpo do metal, sensor preto, tela da radiação, nível e cabo (Instruction Manual_model CMP22 Kipp & Zonen);



Figura 11: Piranômetro Kipp & Zonen Série CPM.

- Pirgeômetro: também denominado Radiômetro Infravermelho de Precisão é o instrumento utilizado para medir a Radiação de Onda Longa (ROL), na faixa de 4,2 a 45 micrometros. É constituído por uma termopilha enegrecida com uma junção em contato com a base de metal do instrumento e outra junção exposta à atmosfera. O balanço de fluxo térmico da superfície receptora da termopilha somente considera o fluxo de radiação térmica para realizar suas medidas. A

radiação medida pelo elemento sensor é a soma entre a ROL que atinge a sua cúpula e a ROL emitida pelo próprio radiômetro. Desta forma é necessário medir a temperatura interna do sensor, para inferir apenas a ROL incidente (Instruction Manual_Model CGR4 Kipp & Zonen);



Figura 12: Pirgeômetro Kipp & Zonen Modelo CGR 4.

- Pireliômetro: mede a radiação direta. É o equipamento que merece a maior atenção, pois é necessário garantir o seu constante alinhamento com o sol para seu funcionamento correto. Sua faixa espectral é de 200 a 4000 nanômetros, possuindo uma abertura do feixe em torno de 55° . Possui uma estrutura que minimiza a influência da temperatura do ambiente. Na abertura dianteira existe uma janela de quartzo para proteger o sensor e para atuar como filtro na radiação incidente. (Instruction Manual_Model CHP1 Kipp & Zonen);



Figura 13: Pireliômetro Kipp & Zonen Modelo CHP 1.

- Termohigrômetro: permite obter medidas de temperatura e umidade em um único instrumento. Combina o sensor capacitivo de alta precisão para a medida de umidade relativa com uma resistência de platina para a medida de temperatura em um único sensor, oferecendo opções de saída de 0 a 1 Vdc ou 4 a 20 μ A. O sensor é capaz de medir a temperatura na faixa de -50° a 50° C e a umidade de 0 a 100%, sendo estas suas unidades conforme o SI. Este sensor possui uma proteção de plástico ou alumínio quando instalado a um abrigo meteorológico, evitando que fatores como chuva, vento e raios solares interfiram no funcionamento correto (Instruction Manual_Model 41382VC/VF, 0-1 V output – RMYOUNG);



Figura 14: Termohigrômetro

- Barômetro: mede a pressão atmosférica na faixa de 500 a 1100 Mbar (Instruction Manual_Model PTB110 Vaisala);



Figura 15: Barômetro Vaisala Modelo PTB110

- Anemômetro ultrassônico 2D: este anemômetro 2D realiza a medida da velocidade e direção do vento no mesmo sensor. Por não possuir partes móveis como os sensores mecânicos, são menos propícios a manutenções para troca de peças de reposição, minimizando os custos (Instruction Manual_Model WINDSONIC1-L Campbell Scientific);



Figura 16: Anemômetro Ultrassônico 2D Campbell Scientific modelo windsonic1-L.

- Pluviômetro: mede a precipitação pluviométrica. Possui um funil de 7,87” de diâmetro onde coleta a água da chuva que cai em um êmbolo que quando cheio gera um pulso para um valor fixo de volume (Instruction Manual_Model TB4 Modelo Campbell Scientific);



Figura 17: Pluviômetro Campbell Scientific Modelo TB4.

- Sistema de Aquisição de Dados: O datalogger CR3000 armazena e coleta os dados medidos pelos sensores, onde podem ser configurados o tempo de aquisição, valores médios, desvio padrão, máximo, mínimo entre outros. Seu acesso local é feito por cabo físico, entretanto é utilizada uma interface ethernet NL115 para acessado via internet. O CR3000 já possui baterias internas para sua alimentação caso haja interrupção da energia na rede elétrica e também possui uma tela local onde podem ser acessados os dados e realização de algumas configurações.

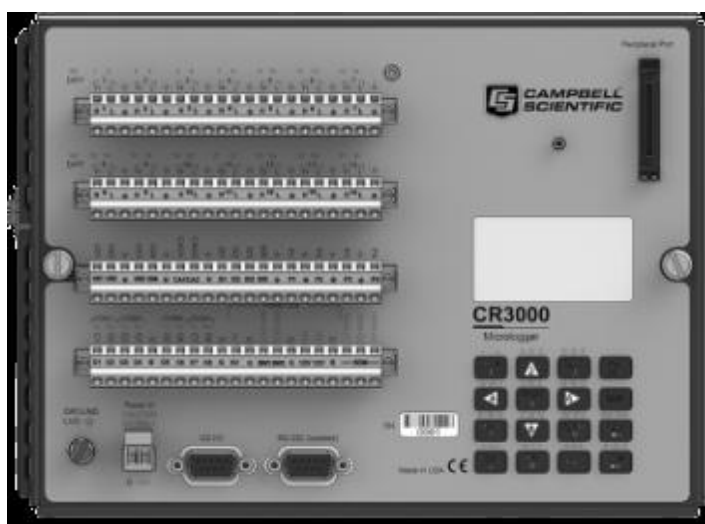


Figura 18: Datalogger Campbell Scientific Modelo CR3000

4.1.2. Tratamento dos dados

O banco de dados SONDA contém dois tipos de arquivos de dados, radiação solar e dados meteorológicos. Ambos são adquiridos com resolução de tempo de 1s e são calculados, em média, e armazenados com uma resolução de tempo de 1 minuto. Cada arquivo contém dados de um mês, o que corresponde a 1440 linhas por dia.

Os dados coletados pelas estações passam por um processo de qualificação antes de ser disponibilizado no website da rede que objetiva identificar os dados suspeitos para garantir a confiabilidade desses ao usuário.

A figura 19 mostra o código da estação, ano, dia, minuto, radiação global horizontal, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Sendo que para um dia tem 1440 amostras de cada variável, totalizando para um dia 5760 amostras das quatro variáveis estudadas. Já para um mês de 31 dias tem 44640 amostras para cada variável, totalizando 178560 amostras. Os dados foram agrupados mês a mês de acordo com a figura 19.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	ANO	DIA	MIN	RAD. GLOBAL (W/m²)	TEMP. °C	UMIDADE	VEL. VENTO				
2	10	2019	1	0	-0,353	19,84	93,8	0,231				
3	10	2019	1	1	-0,353	19,64	93,9	0,272				
4	10	2019	1	2	-0,351	19,54	93,8	0,179				
5	10	2019	1	3	-0,546	19,67	93,8	0,171				
6	10	2019	1	4	-0,482	19,62	93,8	0,228				
7	10	2019	1	5	-0,628	19,41	93,8	0,274				
8	10	2019	1	6	-0,616	19,35	93,7	0,314				
9	10	2019	1	7	-0,438	19,48	93,8	0,354				
10	10	2019	1	8	-0,494	19,56	93,7	0,398				
11	10	2019	1	9	-0,946	19,39	93,7	0,562				
12	10	2019	1	10	-0,795	19,56	93,7	0,535				
13	10	2019	1	11	-0,5	19,56	93,7	0,568				
14	10	2019	1	12	-0,359	19,53	93,6	0,585				
15	10	2019	1	13	-0,38	19,59	93,6	0,533				
16	10	2019	1	14	-0,602	19,38	93,6	0,516				

Figura 19 - Dados utilizados na análise

Após a coleta dos dados foi verificado o total de dados perdidos, pois a nota técnica da EPE Nº EPE-DEE-RE-065/2013-r6_UFVestabelece um limite de 10% de perdas de dados. De acordo com a Rede SONDA nas situações onde há falta de dados (ocorrência de problemas durante o processo de medição) foi introduzida a sigla N/A (Not Available). As colunas associadas a sensores que não existem naquela determinada estação foram preenchidas com a sigla N/S (No Sensor).

A tabela 1 mostra a quantidade de dados analisados e os dados perdidos nos meses em estudo. O mês de Agosto de 2018 foi o mês com maior perda de dados e o mês de abril de 2019 que teve menor perda de dados. Com um total de mais de 2 milhões de dados analisados mais de 194 mil dados foram perdidos, o que totaliza

9,24 % de dados perdidos. De acordo com a nota técnica da EPE N° EPE-DEE-RE-065/2013-r6_UFV é aceitável até 10 % de perdas de dados.

Tabela 1 - Dados analisados de maio de 2018 até abril 2019

Meses	Quantidade de dados	Dados Perdidos	% de dados perdidos
mai/18	178560	47880	26,81
jun/18	172800	4144	2,40
jul/18	178560	42335	23,71
ago/18	178560	54304	30,41
set/18	172800	19536	11,31
out/18	178560	15604	8,74
nov/18	172800	2040	1,18
dez/18	178560	12	0,01
jan/19	178560	1080	0,60
fev/19	161280	1916	1,19
mar/19	178560	5508	3,08
abr/19	172800	0	0,00
Total	2102400	194359	9,24

A seguir serão apresentados os testes de correlação obtidos com as variáveis analisadas. O quadro 3 mostra as correlações obtidas:

Quadro 3: Correlações entre as variáveis estudadas.

	Radiação solar (W/m²)	Temperatura °C
Radiação solar (W/m²)	1,00	
Temperatura °C	0,64	1,00
	Radiação solar (W/m²)	Umidade (%)
Radiação solar (W/m²)	1,00	
Umidade (%)	-0,14	1,00
	Radiação solar (W/m²)	Vel. Vento (m/s)
Radiação solar (W/m²)	1,00	
Vel. Vento (m/s)	0,14	1,00

O teste de correlação foi feito entre a radiação solar e as outras três variáveis estudadas: temperatura, umidade e velocidade do vento. A correlação entre a temperatura e a radiação solar é de 0,64, entre a umidade e a radiação solar é de 0,14 e entre a velocidade do vento e a radiação solar é de 0,14. Com os resultados obtidos é possível dizer que a temperatura tem a maior correlação com a radiação solar, isso já era esperado, pois com o aumento da incidência solar a um aumento na

temperatura do ar. A seguir serão apresentados os gráficos de dispersão, figuras 20, 21 e 22:

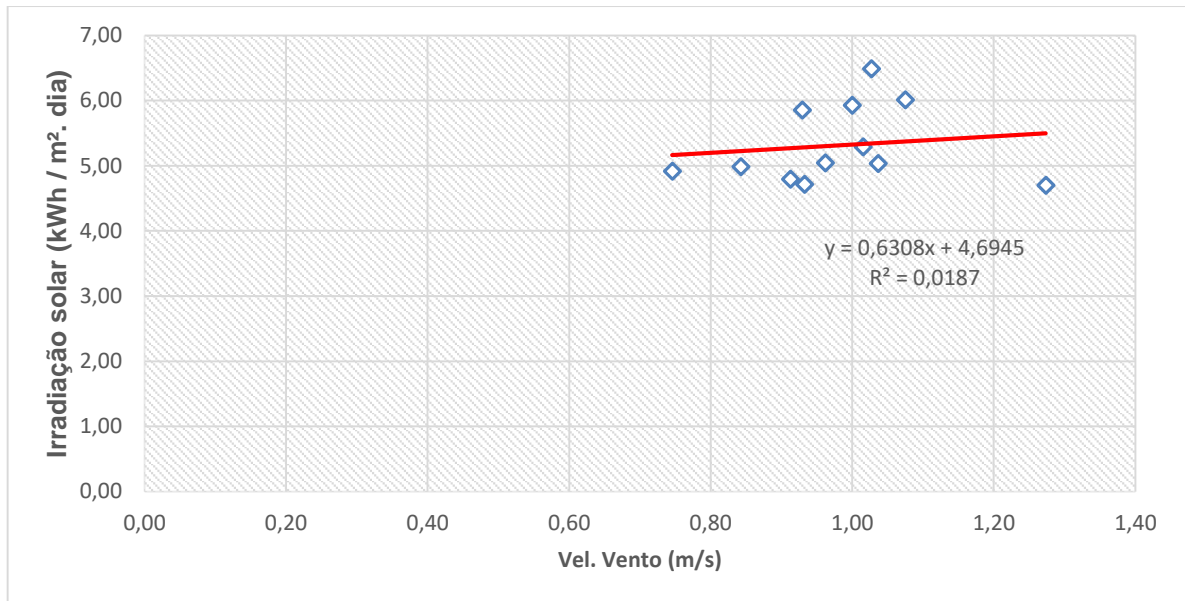


Figura 20 - Correlação entre radiação solar e velocidade do vento

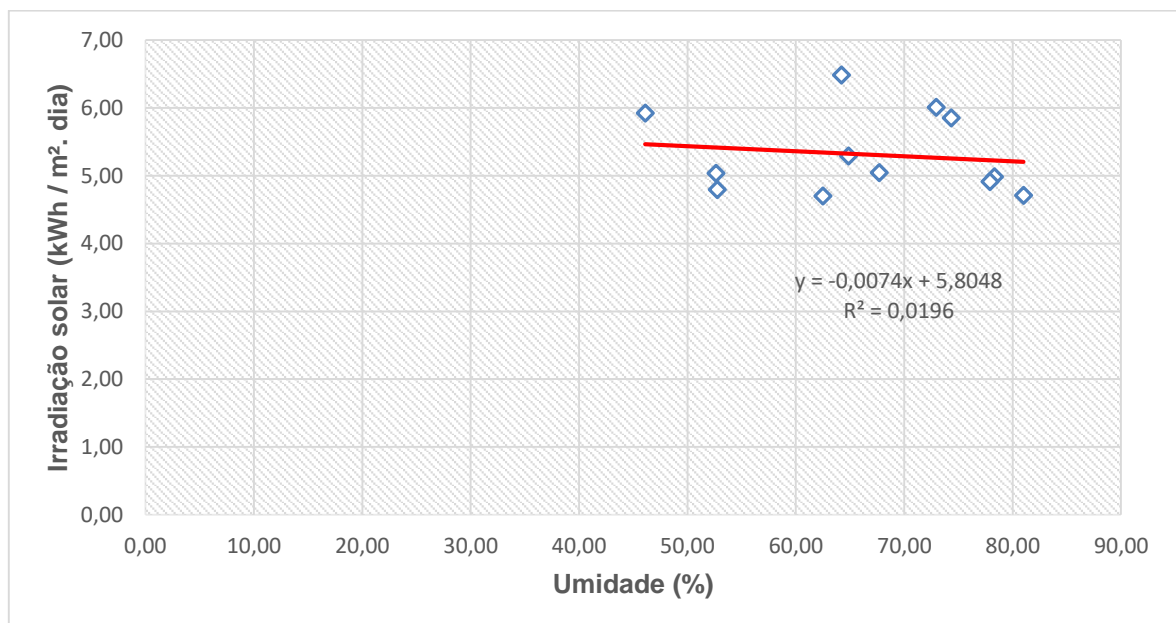


Figura 21 – Correlação entre radiação solar e umidade

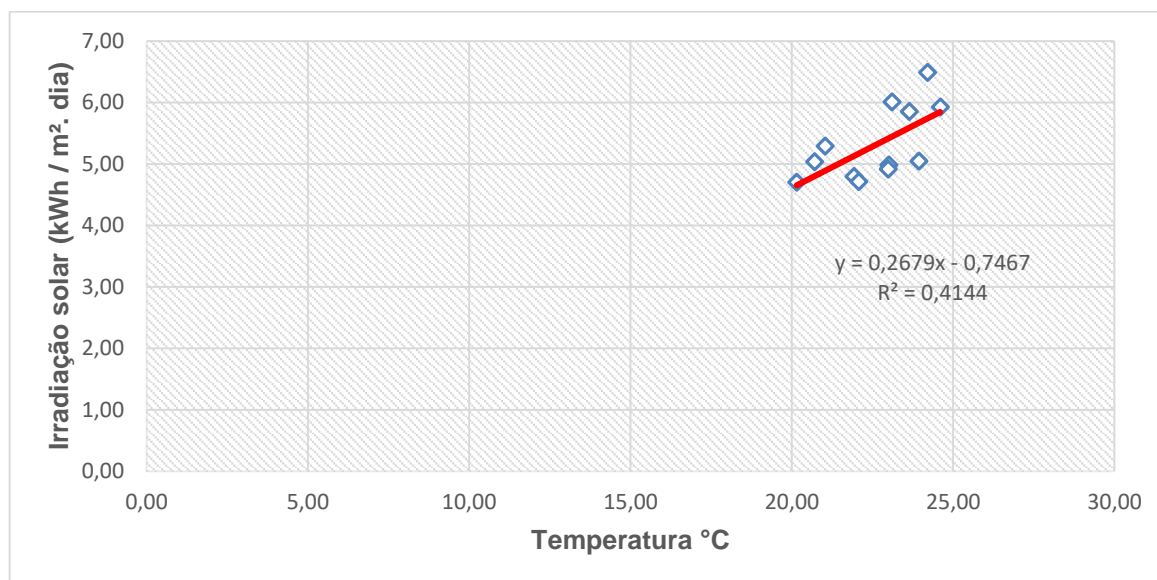


Figura 22 – Correlação entre irradiação solar e temperatura

Os gráficos de dispersão mostram que a radiação solar e a temperatura apresentam uma maior correlação, o gráfico apresenta uma tendência linear e é possível inferir que quanto maior a temperatura do ar maior será a radiação solar. Com isso, na ausência dos dados de irradiação solar é possível realizar uma estimativa com o uso da temperatura.

A tabela 2 a seguir mostra as médias mensais das variáveis analisadas no presente trabalho.

Tabela 2 - Média mensal das variáveis analisadas de maio de 2018 até abril de 2019

Meses	Radiação (w / m²)	Irradiação solar (kWh / m². dia)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Vel. Vento (m/s)
mai/18	220,44	5,29	21,03	64,85	1,02
jun/18	195,84	4,70	20,15	62,51	1,27
jul/18	209,75	5,03	20,70	52,63	1,04
ago/18	199,73	4,79	21,92	52,77	0,91
set/18	246,88	5,93	24,60	46,10	1,00
out/18	210,17	5,04	23,94	67,70	0,96
nov/18	196,35	4,71	22,07	81,00	0,93
dez/18	250,43	6,01	23,10	72,96	1,07
jan/19	270,23	6,49	24,21	64,21	1,03
fev/19	243,94	5,85	23,64	74,33	0,93
mar/19	207,64	4,98	23,00	78,33	0,84
abr/19	204,74	4,91	22,98	77,92	0,75
Média	221,34	5,31	22,61	66,28	0,98

Observa-se que para o período analisado, de maio de 2018 até abril de 2019, o mês janeiro de 2019 teve a maior média de radiação e irradiação. No mês de junho de 2018 ocorreu a menor média mensal de radiação e irradiação. A maior média de temperatura e a menor média de umidade foram obtidas no mês de setembro de 2018, já a maior média da velocidade do vento ocorreu no mês junho de 2018. A seguir será apresentada a figura 23 que mostra o comportamento da irradiação solar e da temperatura ao longo do período analisado.

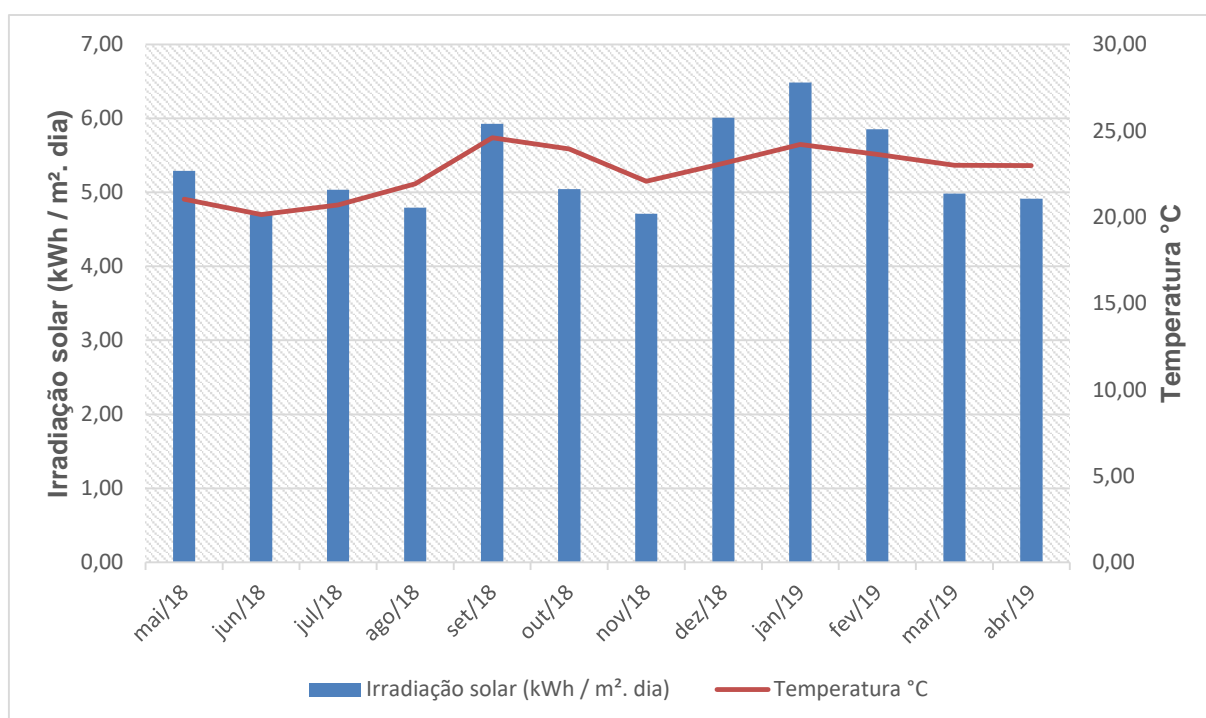


Figura 23 - Irradiação solar e temperatura

Pode acontecer alguns defeitos nos sensores das estações solarimétricas ou até mesmo a perda de aquisição de dados, as variáveis meteorológicas variam conforme as estações do ano, frentes frias, fenômenos climáticos ou outros tipos de interferências de caráter meteorológico. Diante disso, se faz necessário ter algum parâmetro para servir de comparação com os dados coletados e até mesmo suprir a falta de algum dado. Para gerar um ano típico com os dados da Rede SONDA foram analisados os dados de 2011 até 2015, a escolha desse período foi devido a disponibilidade dos dados, e calculada a média mensal e a média anual da irradiação solar, a média anual de irradiação solar será o ano típico dos dados solarimétricos da Rede SONDA. A seguir será apresentado a figura 24 que mostra o ano típico obtido com os dados coletados da Rede SONDA.

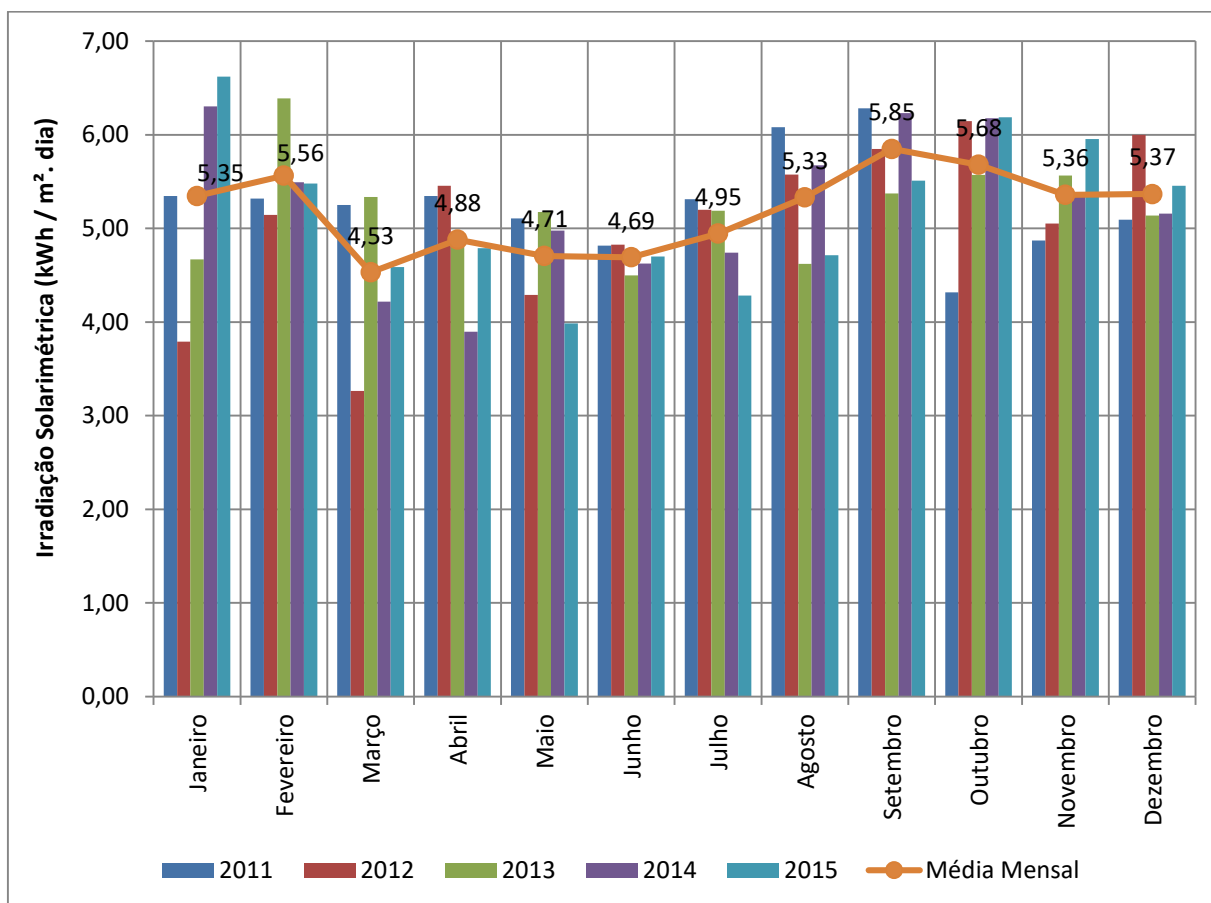


Figura 24 – Ano típico com base nos dados Rede SONDA

O ano típico com dados coletados de 2011 até 2015 mostrar algumas discrepâncias da irradiação solar comparando os meses dos anos analisados, mas é possível verificar uma tendência de comportamento da irradiação solar mês a mês. Com o objetivo de comparar o ano típico obtido com os dados da Rede SONDA foi utilizado o ano típico disponibilizado pela Solar Radiation Data disponível no site <http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/helioclim-3-archives-for-pay> e o ano típico disponibilizado pela Virtux Solar disponível no site <https://www.virtuxsolar.com/sdat/map/>. A seguir será apresentada a tabela 3 que mostra os anos típicos de irradiação solar para as mesmas coordenadas geográficas da estação solarimétrica de Brasília da Rede SONDA.

Tabela 3 - Anos típicos

Mês	Rede SONDA (kWh / m ² .dia)	Solar Radiation (kWh / m ² .dia)	Virtux Solar (kWh / m ² .dia)	Desvio Padrão
Janeiro	5,35	4,85	5,33	0,22
Fevereiro	5,56	5,18	5,64	0,19
Março	4,53	4,94	5,00	0,2
Abril	4,88	5,14	4,97	0,09

Maio	4,71	4,85	4,80	0,05
Junho	4,69	4,70	4,72	0,01
Julho	4,95	4,85	5,02	0,06
Agosto	5,33	5,09	5,90	0,31
Setembro	5,85	5,09	5,71	0,31
Outubro	5,68	5,28	5,55	0,15
Novembro	5,36	4,90	5,02	0,18
Dezembro	5,37	4,70	5,36	0,29
Média anual	5,19	4,96	5,25	0,11

Os dados apresentados mostram uma pequena variação dos dados mês a mês quando se compara as três bases de dados solarimétricas. O maior desvio padrão foi de 0,31 nos meses de agosto e setembro, já o mês que apresentou o menor desvio padrão de 0,01 foi junho. A figura 25 mostram o comportamento desses dados graficamente.

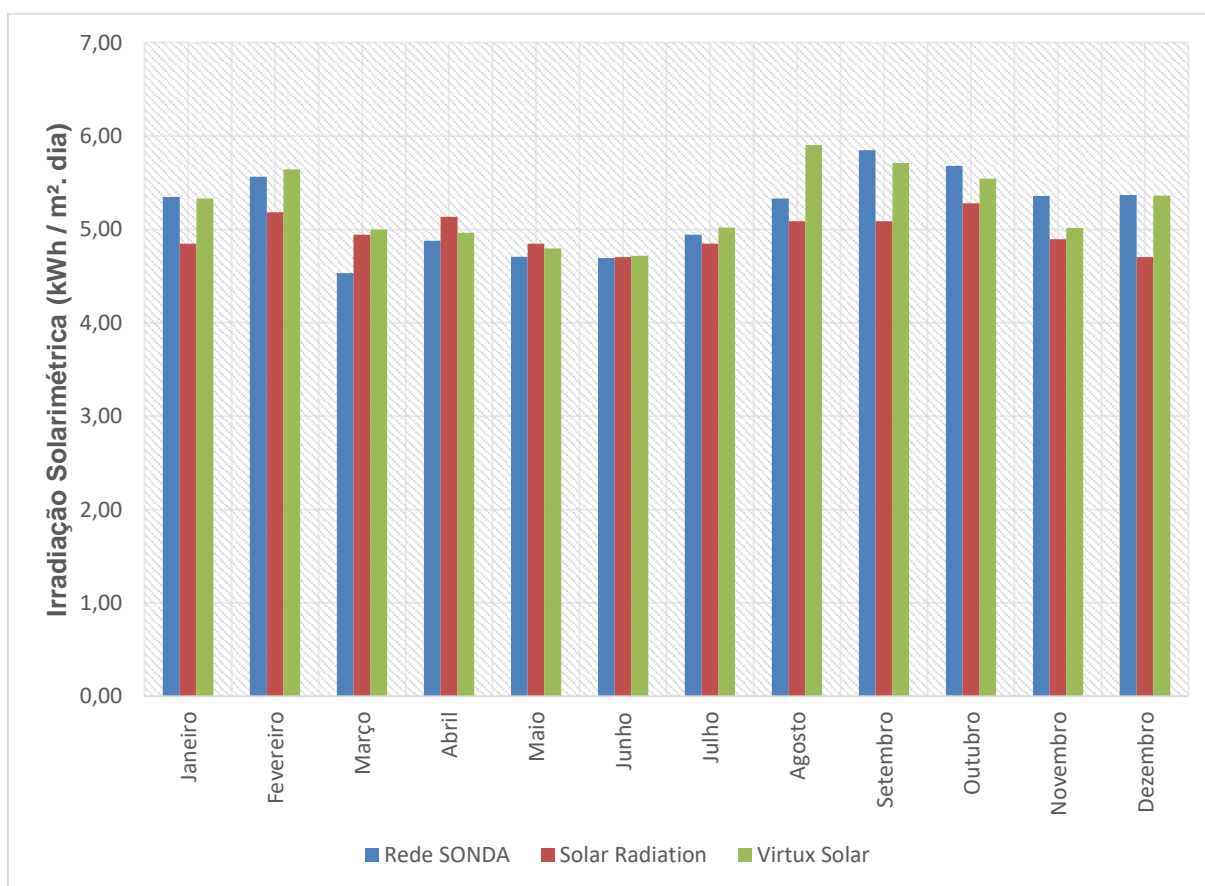


Figura 25 – Comparativo entre anos típicos

Pelo gráfico fica perceptível uma pequena variabilidade nas médias mensais de irradiação solarimétrica entre as três bases de dados analisadas, com isso verifica-se uma tendência de comportamento da irradiação solar ao longo dos meses.

4.2. Certificação da Produção Anual de Energia

A produção anual de energia será estimada usando o software PVsyst com base em dados solarimétricos reais coletados da Rede SONDA.

4.2.1. Módulo fotovoltaico selecionado

O módulo escolhido JKM335PP-72-V, figura 26, do fabricante Jinkosolar que é feita de silício policristalino tem potência nominal de 335 Wp.



Figura 26 - Módulo fotovoltaico JKM335PP-72-V
Fonte: Jinkosolar

A tabela 4 apresenta as principais características elétricas e térmicas desse modelo de módulo fotovoltaico.

Tabela 4 - Parâmetros Elétricos, Térmicos e mecânicos do Módulo JKM335pp-72-V.

Parâmetros Elétricos do módulo JKM335PP-72-V (Condição padrão de teste)	
Potência Elétrica Máxima (P_{mp})	335 W _p
Corrente Máxima de Potência (I_{mp})	8,82 A
Tensão Máxima de Potência (V_{mp})	38,0 V
Corrente de Curto Circuito (I_{sc})	9,18 A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc})	47,2 V
Parâmetros Térmicos do módulo JKM335PP-72-V (Condição padrão de teste)	
Temperatura Nominal de Operação da Célula (TNOC)	45±2°C

Coeficiente de Temperatura da I_{sc}	0,06% / °C
Coeficiente de Temperatura da V_{oc}	- 0,31% / °C
Características mecânicas do módulo JKM335PP-72-V (Condição padrão de teste)	
Tipo de Célula	Policristalino 157 x 157 mm)
Número de Células	72 (6x12)
Dimensões	1956 x 992 x 40
Peso	22,5 kg
Vidro Frontal	3,2 mm, revestimento anti-reflexo e alta transmissão.
Armação	Liga de Alumínio Anodizado

Fonte: Jinkosolar

4.2.2. Inversor On-Grid

O inversor escolhido foi o SUN2000-100KTL-H1, figura 27, do fabricante Huawei para uso com energia solar fotovoltaica que funcionam integrados a rede elétrica e tem uma potência de 100 kW.



Figura 27- Inversor SUN2000-100KTL-H1
Fonte: Huawei

A tabela 5 apresenta as principais características elétricas e mecânicas desse inversor:

Tabela 5 - Características Elétricas do Inversor Huawei SUN2000-100KTL-H1.

Eficiência	
Eficiência máxima	99,00%
Eficiência europeia	98,80%
Entrada C.C. (Saída do Gerador Fotovoltaico)	
Tensão máxima de entrada	1500 V
Corrente máxima por MPPT	22 A
Corrente de curto-circuito máxima por MPPT	33 A
Tensão de início	650 V
Faixa de tensão operacional por MPPT	600 V ~ 1500 V
Tensão nominal de entrada	1080 V

Número de entradas	12
Número de MPP trackers	6
Saída C.A. (Rede Elétrica)	
Potência ativa nominal	100000 W @40°C
Potência aparente máxima	105000 W @35°C
Potência ativa máxima (FP=1)	105000 W @35°C
Tensão nominal de saída	800 V
Frequência	50 Hz / 60 Hz
Distorção harmônica total máxima	< 3%
Corrente nominal de saída	72,2 A
Corrente de saída máxima	80,2 A
Proteção	
Dispositivo de desconexão lateral de entrada	Sim
Proteção anti-ilhamento	Sim
Proteção contra sobrecorrente CA	Sim
Proteção de polaridade CC reversa	Sim
Monitoramento de falha de string de matriz FV	Sim
DPS CC	Classe II
DPS CA	Classe II
Detecção de resistência de isolamento CC	Sim
Unidade de monitoramento de corrente residual	Sim
Dimensões	
Dimensões (L x A x P)	1075 x 605 x 310 mm
Peso (com placa de montagem)	77 kg
Intervalo de temperatura operacional	-25°C ~ 60°C
Método de resfriamento	Convecção natural
Altitude máxima de operação	4000 m

Fonte: Huawei

4.2.3. Utilizando PVsyst para dimensionamento da usina fotovoltaica

Primeiramente, indicamos ao programa a localização onde será instalada a usina fotovoltaica, neste caso Brasília – DF, com as seguintes coordenadas -15,60083 de latitude e -47,71306 de longitude. Os dados solarimétricos utilizados na entrada no PVsyst foram os dados de maio de 2018 até abril de 2019 da Rede SONDA, os quais foram apresentados na tabela 2. Além disso, serão usados os dados meteorológicos dos anos típicos criado com os dados da Rede SONDA de 2011 até 2015, do ano típico da Virtux Solar e do ano típico da Solar Radiation. Para essas outras simulações serão apresentados apenas os resultados de geração de energia anual.

Deve-se configurar os parâmetros Albedo, este pode ser definido como a razão entre a irradiância eletromagnética refletida (de forma direta ou difusa) e a quantidade incidente que é alterada dependendo da superfície. O valor utilizado será de 0,2, por se tratar do valor mais usual para o caso de uma usina em solo.

Tabela 6 - Valores usuais para o albedo

Valores Usuais para o Albedo	
Ambientes Urbanos	0,14 - 0,22
Gramma	0,15 - 0,22
Gramma Molhada	0,26
Neve	0,82
Neve Derretida	0,55 - 0,75
Asfalto Seco	0,09 - 0,15
Asfalto Molhado	0,18
Concreto	0,25 - 0,35
Telha Cerâmica	0,33
Alumínio	0,85
Aço Galvanizado Novo	0,35
Aço Galvanizado Antigo e Sujo	0,08

Fonte: Pvsyst

A inclinação do módulo fotovoltaico para a região de Brasília – DF é de 15° e azimute de 0°, onde o sistema tem o maior rendimento possível. A inclinação dos módulos é a latitude do local, no caso 15 ° e azimute 0°. Por se tratar de uma usina em solo é livre a escolha da orientação das placas, o azimute, sendo assim, faz se a opção do melhor rendimento possível e a orientação de azimute 0°, ou seja, orientada para o norte. A inclinação de 15° é onde ocorre a maior eficiência da conversão da energia solar em energia elétrica, geralmente a inclinação das placas tem uma maior eficiência com a inclinação igual a latitude do local.

O sistema foi dimensionado para 1126 kWp de potência e para atendermos essa demanda de potência serão necessários: 3360 módulos fotovoltaicos de 335 Wp, sendo 28 módulos em série e 120 strings. A superfície total dos módulos é de 6520 m². Também Foram utilizados 11 inversores de 100 kW totalizando uma potência de 1100 kW.

Grid system definition, Variant "Usina 3D"

Global System configuration

1 Number of kinds of sub-arrays

Global system summary

Nb. of modules	3360	Nominal PV Power	1126 kWp
Module area	6520 m ²	Maximum PV Power	1135 kWdc
Nb. of inverters	11	Nominal AC Power	1100 kWac

Usina

Sub-array name and Orientation

Name: Usina

Orient.: **Fixed Tilted Plane**

Tilt: 15°
Azimuth: 0°

Presizing Help

No sizing

Enter planned power: 0.0 kWp

... or available area(modules): 0 m²

Select the PV module

Available Now: All PV modules

Jinkosolar 335 Wp 32V Si-poly JKM 335PP-72-V Since 2017 Manufacturer 2017

Sizing voltages : Vmpp (80°C) 29.6 V
Voc (10°C) 49.6 V

Use Optimizer

Select the inverter

Available Now: Output voltage 800 V Tri 50Hz 50 Hz 60 Hz

Huawei Technologies 100 kW 600 - 1500 V TL 50/60Hz SUN2000-100KTL-H1 Since 2018

Nb. of inverters: 11 Use multi-MPPT feature

Operating Voltage: 600-1500 V Global Inverter's power 1100 kWac
Input maximum voltage: 1500 V **inverter with 6 MPPT**

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 28 between 21 and 30

Nbre strings: 120

Overload loss: 0.0 %

Pnom ratio: 1.02

Nb. modules: 3360 Area: 6520 m²

Operating conditions

Vmpp (80°C)	830 V
Vmpp (20°C)	1106 V
Voc (10°C)	1388 V

Plane irradiance: **1000 W/m²**

I_{mp} (STC): 1049 A
I_{sc} (STC): 1102 A
I_{sc} (at STC): 1102 A

Max. operating power: **1017 kW**
at 1000 W/m² and 50°C

Array nom. Power (STC): 1126 kWp

Figura 28 - Dimensionamento da quantidade de módulos fotovoltaicos
Fonte: Pvsyst

Os módulos serão dispostos no solo conforme a figura 29:

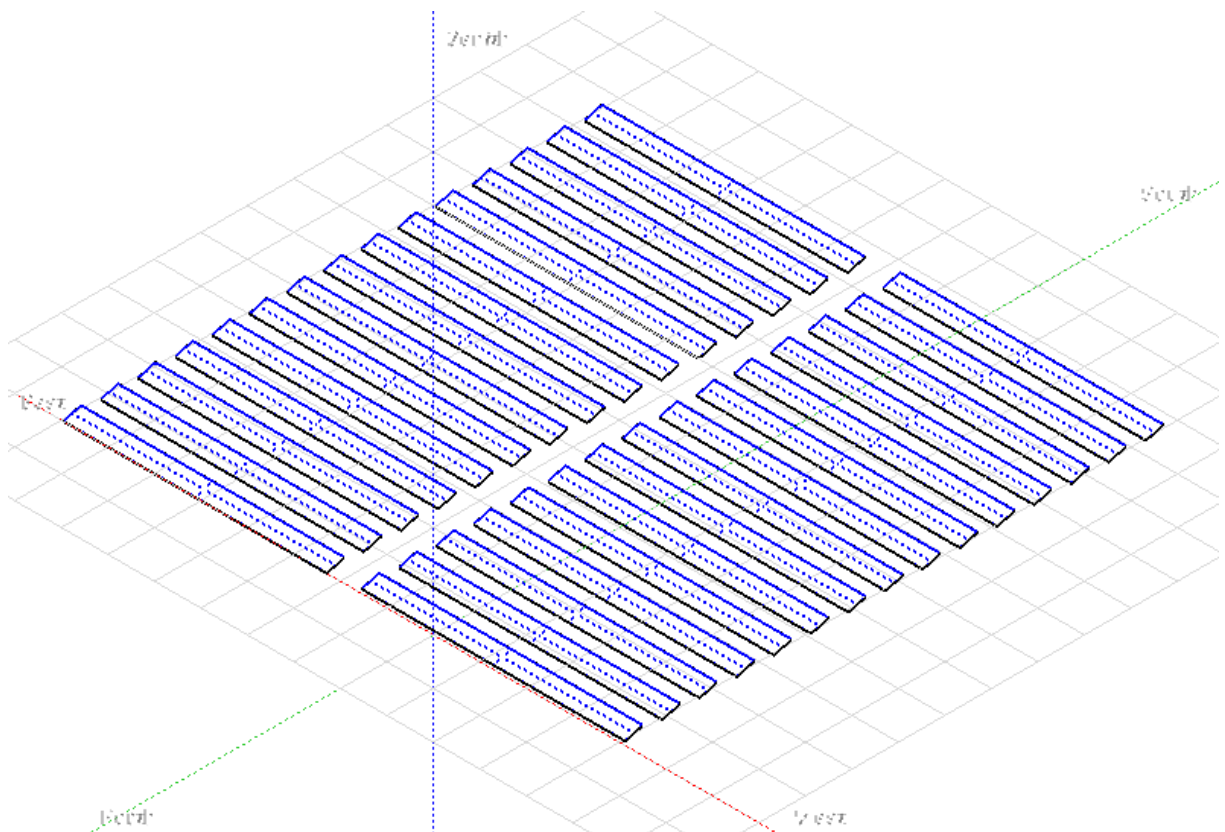


Figura 29- Disposição dos módulos fotovoltaicos
Fonte: Pvsyst

O relatório gerado após a simulação do Pvsyst fornece gráficos e tabelas, a seguir serão apresentados os resultados para a simulação com os dados da Rede SONDA de maio de 2018 até abril de 2019. Na Figura 30, encontramos o valor médio de produção de energia útil por dia (Y_f) que é de 4,45 kWh/kW por dia.

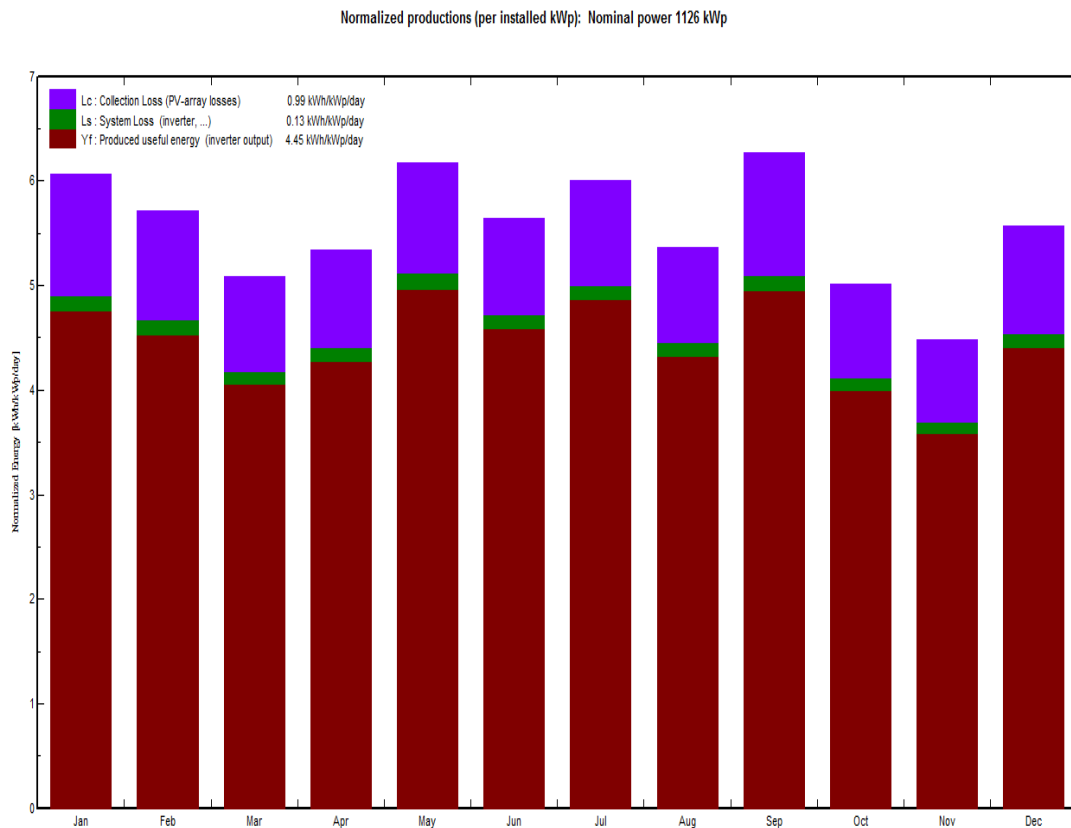


Figura 30 - Produção normalizada
Fonte: Pvsyst

A produção normalizada é uma relação entre a energia injetada na rede (E_Grid) e a potência instalada, para a simulação a energia anual injetada na rede (E_Grid) foi de 1826 MWh e a potência instalada é de 1126 kWp. A razão entre essas duas grandezas nos dá 1621,67 kWh / kWp por ano. Dividindo esse valor pelos 365 dias do ano, temos 4,45 kWh / kWp por dia. A produção normalizada mostra que para cada kWp instalado tem a geração de 4,45 kWh em um dia. Com o gráfico da figura 30 de produção normalizada podemos determinar as perdas no sistema da seguinte maneira:

$$\text{Perdas no Sistema} = \frac{\text{Energia Perdas no Sistema}}{\text{Energia Total}} \quad (2)$$

Onde a energia total do sistema é dada pelo somatório da energia útil produzida (Yf) e as perdas do sistema, (Lc) perdas no coletor e (Ls) perdas no sistema. Para a simulação realizada, a energia útil (Yf) é 4,45 kWh/kW, as perdas no coletor (Lc) 0,99

kWh/kW e as perdas no sistema (Ls) é 0,13 kWh/kW. Utilizando a equação 2 podemos determinar a porcentagem de perdas da usina fotovoltaica.

$$\text{Perdas no Sistema} = \frac{1,12}{5,57} \times 100\% = 20,10 \%$$

As perdas representam aproximadamente 20,10% do que é produzido no sistema. A figura 31 apresenta os resultados de rendimento global (PR):

Índice de performance (PR)

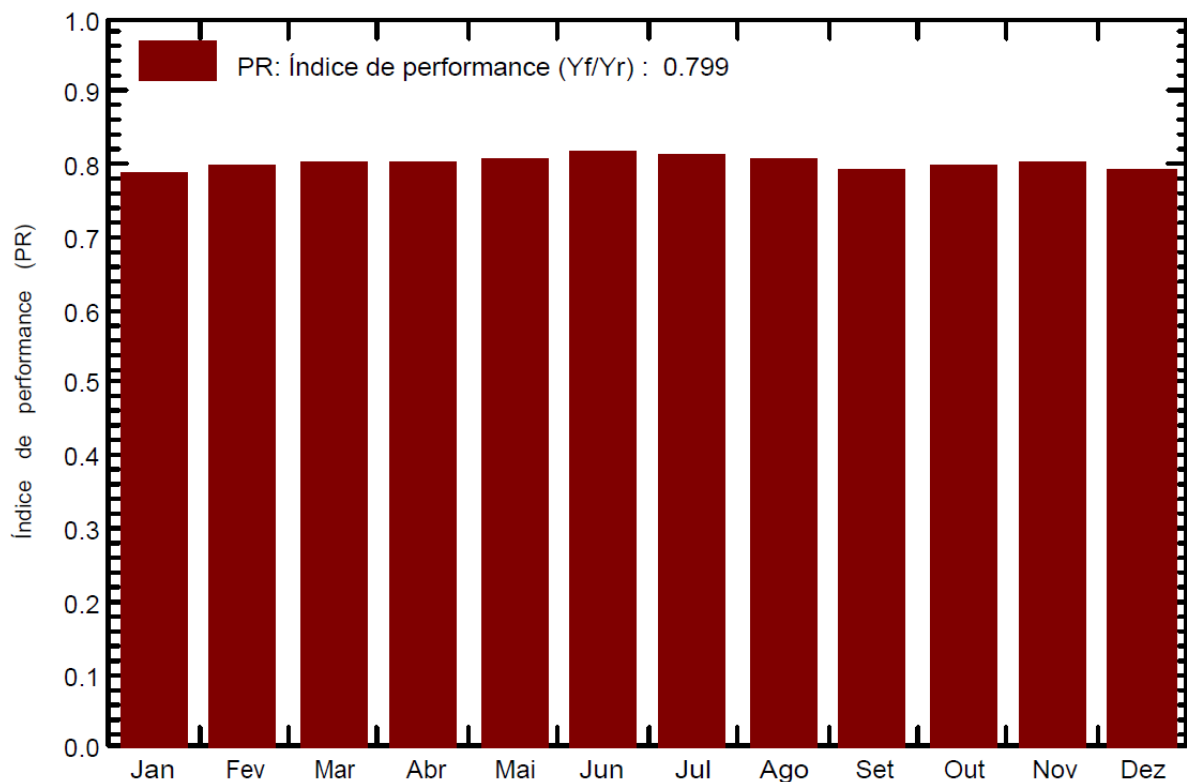


Figura 31 - Rendimento Global do Sistema (PR)

Fonte: Pvsyst

Já o Rendimento Global do Sistema (PR) pode ser calculado com a equação 3:

$$\text{Rendimento Global do Sistema (PR)} = 1,00 - \text{perdas no sistema} \quad (3)$$

Com isso, o Rendimento Global do Sistema (PR) da usina fotovoltaica simulada será:

$$\text{Rendimento Global do Sistema (PR)} = 1,00 - 0,2010 = 0,799$$

A tabela 7 apresenta os balanços e resultados principais obtidos para o levantamento de um ano.

Tabela 7 - Balanço e resultados principais

	GlobHor (kWh / m²)	T. amb. (°C)	Earray (MWh)	E_Grid (MWh)	PR
Janeiro	201,20	24,21	171,10	166,20	0,79
Fevereiro	163,80	23,64	147,20	142,90	0,79
Março	154,40	23,00	146,00	141,80	0,80
Abril	147,30	22,98	148,70	144,40	0,80
Mai	164,00	21,03	178,60	173,40	0,81
Junho	141,00	20,15	159,40	154,90	0,81
Julho	155,90	20,70	174,70	169,70	0,81
Agosto	148,50	21,92	155,50	151,10	0,81
Setembro	177,90	24,60	172,30	167,20	0,79
Outubro	156,20	23,94	143,60	139,40	0,80
Novembro	141,30	22,07	124,80	121,30	0,80
Dezembro	186,30	23,10	158,30	153,70	0,79
Ano	1937,8	22,6	1880,3	1826,2	0,79

Fonte: Pvsyst com adaptações

Onde:

- GlobHor - Irradiação global horizontal;
- T_Amb - Temperatura ambiente;
- EArray - Energia efetiva na saída do grupo;
- E_Grid - Energia injetada na rede;
- PR - Performance Ratio (Quociente de performance).

A coluna da irradiação global horizontal (GlobHor) é obtida pegando os dados de irradiação global horizontal de entrada da tabela 02 multiplicado pelo número de dias do respectivo mês. Por exemplo, o dado de entrada de irradiação global horizontal é 6,49 kWh / m² multiplicado pelo número de dias do mês de janeiro, 31 dias, temos uma irradiação global horizontal (GlobHor) de aproximadamente 201,20 kWh / m².

Ainda com relação a irradiação global horizontal (GlobHor), temos a figura 02 que apresenta o mapa de recurso solar do Brasil, nesse mapa é possível verificar que o recurso solar anual para o Distrito Federal está na faixa de 1900 a 2040 kWh / m², o que é coerente com o valor de irradiação global horizontal (GlobHor) anual apresentado na tabela 06 de 1937,8 kWh / m². A tabela 06 também apresenta as temperaturas médias mensais, a energia efetiva na saída do grupo (Earray) que é a

energia disponível na saída dos módulos, ou seja, já foram contabilizadas as perdas inerentes aos módulos fotovoltaicos, tais como: perdas devido a temperatura, perdas mismatch, perdas na cablagem, etc. Já a energia injetada na rede (E_Grid) é a energia que de fato é disponibilizada ao sistema elétrico após a contabilização de todas as perdas. Podemos notar, que que a eficiência do inversor é excelente e está em 97,12%. Este valor pode ser encontrado dividindo o valor de energia injetada na rede (E_Grid) pelo valor gerado no conjunto (EArray).

A figura 32 mostra o diagrama das perdas do ano inteiro, na entrada há a irradiação global horizontal por m², as perdas antes da conversão de energia, a conversão da energia fotovoltaica em energia elétrica, as perdas após a conversão até a energia injetada na rede de 1826 MWh.

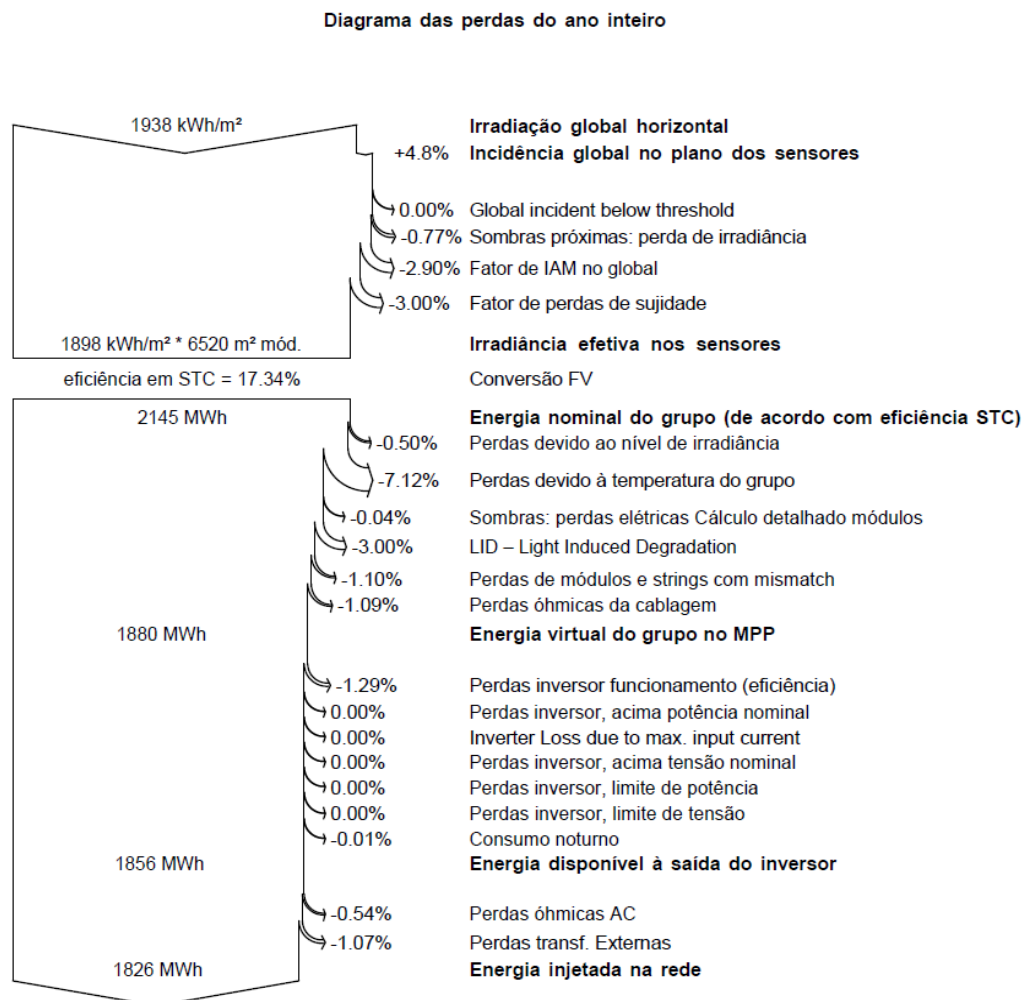


Figura 32 – Diagrama de perdas do ano inteiro.

Fonte: Pvsyst

O diagrama de perdas apresentado na figura 32 mostra que há um recurso solar na entrada de 1938 kWh / m², temos as perdas inerentes aos módulos antes da conversão de energia e com isso, o recurso solar que será convertido em energia elétrica será 1898 kWh / m² vezes a área dos módulos de 6520 m² e isso daria aproximadamente 12375 MWh, porém nem todo o recurso solar é convertido em energia elétrica, o PVSyst tem por base que a eficiência de conversão do módulo fotovoltaico para tal simulação é de 17,34 %, diante disso, temos 2145 MWh de energia elétrica após a conversão. Após a conversão do recurso solar em energia elétrica ainda temos as perdas inerente aos módulos e as perdas inerente ao inversor, retirando a perdas inerente aos módulos temos 1880 MWh e retirando as perdas inerente ao inversor temos 1865 MWh, após as perdas ôhmicas dos cabos e na transformação temos a energia que será injetada na rede elétrica.

Com relação a produção certifica P50, de acordo com o manual do PVSyst não é possível estimar de maneira confiável um indicador P50 para dados de apenas um ano, para isso seria necessário utilizar o banco de dados solarimétricos do próprio software, o que não é o caso da simulação realizada que inseriu dados solarimétricos externos da Rede SONDA para o período compreendido entre maio de 2018 e abril de 2019.

Sabe-se que a produção de energia P50 é obtida através da média de geração de energia de 20 anos que a usina estará em funcionamento, diante disso, para se estimar a produção anual de energia ao longo de 20 anos foi utilizada a seguinte sistemática de degradação dos módulos durante esse período, a informação da degradação dos módulos fotovoltaicos está contida no datasheet do fabricante, para os módulos da Jinkosolar utilizados na simulação a degradação é de 2,5 % no primeiro ano e de 0,8 % para os demais anos, com isso a estimativa da produção de energia 50 e da produção anual ao longo de 20 anos pode ser verificada na tabela 8 abaixo:

Tabela 8 - Estimativa de geração de energia anual e indicador P50

Tempo	Energia (MWh)	Degradação (%)
Ano 1	1826,00	
Ano 2	1780,35	2,5
Ano 3	1766,11	0,8
Ano 4	1751,98	0,8
Ano 5	1737,96	0,8
Ano 6	1724,06	0,8

Ano 7	1710,27	0,8
Ano 8	1696,58	0,8
Ano 9	1683,01	0,8
Ano 10	1669,55	0,8
Ano 11	1656,19	0,8
Ano 12	1642,94	0,8
Ano 13	1629,80	0,8
Ano 14	1616,76	0,8
Ano 15	1603,83	0,8
Ano 16	1590,99	0,8
Ano 17	1578,27	0,8
Ano 18	1565,64	0,8
Ano 19	1553,12	0,8
Ano 20	1540,69	0,8
P50	1666,20	

A tabela 8 mostra que a produção anual certificada P50 para 20 anos é a média da produção ao longo dos 20 anos estimados, no caso de 1666,20 MWh por ano. Já tabela 9 apresenta um comparativo entre a energia produzida em um ano com os dados da Rede SONDA de maio de 2018 até abril de 2019 da tabela 2 e a do ano típico gerado com os dados da Rede SONDA de 2011 até 2015, do ano típico da Solar Radiation e do ano típico da Virtux Solar da tabela 3.

Tabela 9 - Comparativo produção anual de energia P50

Energia Produzida	Rede SONDA maio/2018 - abril/2019	Rede Sonda 2011 - 2015	Solar Radiation	Virtux Solar
P50 (MWh)	1666,20	1628,79	1567,66	1654,34

O comparativo apresentado na tabela 9 mostra que não há uma grande variação de produção anual de energia P50 entre os dados solarimétricos utilizados.

Também podemos calcular a Garantia Física do empreendimento com o auxílio da equação 1 apresentada no referencial teórico:

$$GF = \frac{[P50_{ac} \times (1-TEIF) \times (1-IP) - \Delta P]}{8760} \quad (1)$$

Onde:

- GF = Garantia Física de Energia, em MW médio;

- $P50_{ac}$ = Produção média anual de energia certificada, em MWh, referente ao valor de energia anual média que é excedido com uma probabilidade de ocorrência igual ou maior a cinquenta por cento (50%) para o período do contrato;
- TEIF = Taxa equivalente de indisponibilidade forçada;
- IP = Indisponibilidade forçada;
- ΔP = Estimativa anual de consumo interno e perdas elétricas até o ponto de medição individual do empreendimento com o Sistema Elétrico, em MWh;
- 8760 = Número de horas no ano.

Para tanto, não se dispõe de algumas informações da equação 3, tais como: taxa equivalente de indisponibilidade forçada (TEIF), indisponibilidade forçada (IP) e estimativa anual de consumo interno e perdas elétricas até o ponto de medição individual do empreendimento com o Sistema Elétrico, em MWh (ΔP), com isso, a equação será utilizada de maneira simplificada da seguinte maneira:

$$\text{Garantia Física (MW}_{med}) = \frac{\text{Produção anual de energia P50 (MWh)}}{8760 (h)} \quad (4)$$

Assim, a Garantia Física da usina fotovoltaica simulada será:

$$\text{Garantia Física (MW}_{med}) = \frac{1666,20}{8760} = 0,19 \text{ MW}_{med}$$

A garantia física da usina fotovoltaica simulada é de $0,19 \text{ MW}_{med}$, isso corresponde a quantidade de potência que a usina consegue suprir a cada hora ao longo do ano.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ampliação da geração de energia elétrica com a conversão de energia solar é importante na diversificação da matriz elétrica brasileira, uma vez que essa vai ficar menos dependente da geração hidráulica e com isso poupar água dos reservatórios e fazer menos uso da geração termoeletrica deixando de produzir uma energia de um

custo mais elevado e mais poluente. Porém, para os empreendedores interessados participar dos leilões de grandes blocos de energia elétrica de usinas fotovoltaicas é necessário o cadastro e habilitação técnica junto a EPE, e para obter esse cadastro e habilitação alguns dos requisitos são a certificação dos dados solarimétricos e da produção anual de energia.

De acordo com CRESESB (2004, p.91): “O projeto de um sistema fotovoltaico requer o conhecimento e a cuidadosa utilização de dados de radiação solar de um determinado lugar em particular”. O INPE criou a Rede SONDA com a finalidade de prover a todos os interessados dados solarimétricos de qualidade. A rede possui estações distribuídas em quase todo o território brasileiro. Os dados da Rede SONDA são públicos e suas estações meteorológicas atendem os requisitos exigidos pela EPE para se cadastrar e se habilitar em um leilão de energia elétrica fotovoltaica.

Os dados utilizados tanto para a certificação dos dados solarimétricos e na certificação da produção anual de energia foram coletados da estação de Brasília, estação da Rede SONDA, para o período de maio de 2018 até abril de 2019, totalizando 12 meses. A avaliação sobre as consistências e a qualidade dos dados solarimétricos é crucial para o desenvolvimento e análise do projeto. Em um universo de mais de dois milhões de dados, a estação de Brasília apresentou apenas 9,24 % de perda de dados, o que atende à exigência da EPE de ter no máximo 10% de perda. Esse índice de perda mostra a qualidade da estação solarimétrica e anemométrica estudada.

Os resultados obtidos de médias de irradiação solar mostram que o Distrito Federal tem um bom potencial de geração de energia elétrica a partir da energia solar. A certificação dos dados solarimétricos é uma das exigências para participar dos leilões de energia elétrica, mas para isso é necessário dispor de dados de qualidade. As médias de irradiação solar obtida com os dados solarimétricos analisados da estação de Brasília para o período de maio de 2018 e abril de 2019 tem valores similares com a irradiação solar dos anos típico que foi criado com dados solarimétricos da estação de Brasília da Rede SONDA com dados de 2011 até 2015, com o ano típico da Solar Radiation e com o ano típico da Virtux Solar, dados de irradiação solar apresentados nas tabelas 02 e 03.

Já para a certificação da produção anual de energia foi utilizado o software PVsyst, o programa possui um catálogo com inúmeros fabricantes de módulos

fotovoltaicos e inversores, com ele é possível simular uma gama de cenários. Em sua simulação o PVsyst gera tabelas e gráficos, os quais as mais relevantes foram apresentadas nos resultados do presente trabalho. Uma das grandes vantagens da simulação do PVsyst é o detalhamento de perdas que é gerado após a simulação, com isso, a estimativa de produção anual de energia é bem coerente com a realidade.

A título de informação do site Canal Energia de maio de 2020 disponível em <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53136203/fotovoltaica-de-r-5-milhoes-e-instalada-para-gd-em-brasilia> a FazSol implantou no Distrito Federal uma usina fotovoltaica chamada Elzi Portela com potência instalada de 1,1 MWp, bem similar à que foi simulada. A expectativa de geração mensal é de 140000 kWh, o que trazendo para uma expectativa anual daria aproximadamente 1680 MWh ano, o que é bem coerente com o resultado apresentado na simulação de energia anual injetada na rede (E_Grid) de 1826 MWh e de 1666 MWh de produção de energia certificada P50. Diante disso, é perceptível que na simulação a energia gerada na produção anual é coerente com o que é obtido em outras usinas fotovoltaicas de mesmo porte.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO:

ARAÚJO, A.; RANK, N.; BUENO, T. **Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11997/1/CT_COELE_2016_2_21.pdf Acesso: 30/11/2020

Brasil. **Portaria MME Nº 102, DE 22 DE Março de 2016.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt2016102mme.pdf>. Acesso: 18/09/2020
CASTRO, Nivalde J.; Brandão, Roberto. **Problemas no cálculo das Garantias Físicas para os Leilões de Energia Nova.** GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico UFRJ. TDSE – Textos de Discussão do Setor Elétrico, nº11. 2009. Rio de Janeiro.

CCEE. **Boletim de Operação das usinas.** Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Nº 001. Janeiro. 2014. Disponível em: www.ccee.org.br. Acessado em: 10/09/2020.

CCEE. **Leilões de Energia Elétrica.** Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes?_afLoop=696614633646711&_adf.ctrl-state=hxmllq7b_1#!%40%40%3F_afLoop%3D696614633646711%26_adf.ctrl-state%3Dhxmllq7b_5. Acesso em: 10/10/2020

CRESESB. **Manual de Engenharia Fotovoltaica.** Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 10/09/2020

DUARTE, Luiz Cláudio. **Dimensionamento energético-econômico de usina hidrelétricas de grande porte: utilização do critério de energia firme equivalente.** SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. 2005. Curitiba. Disponível em: <http://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/01/DIMENSIONAMENTO-ENERGE%CC%81TICO-ECONO%CC%82MICO-DE-USINAS-HIDROELE%CC%81TRICAS-DE-GRANDE-PORTE-UTILIZAC%CC%A7A%CC%80O-DO-CRITE%CC%81RIO-DE-ENERGIA-FIRME-EQUIVALENTE.pdf>. Acesso em: 20/11/2020

Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Balanco Energético Nacional 2020.** 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico->

521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf. Acesso em: 15/11/2020.

EPE. **Empreendimentos Fotovoltaicos – Instruções para solicitação de cadastramento e habilitação técnica com vistas à participação em leilões de energia elétrica.** Nº EPE-DEE-RE-065/2013-r6_UFV. 2013. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/leiloes-de-energia/Documents/EPE-DEE-RE-065_2013_R6_UFV.pdf. Acesso em: 06/05/2020.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética – Nossa História.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-en/a-epe/Documents/LivroEPE-NossaHist%C3%B3ria.pdf>. Acesso em: 10/10/2020

Huawei. **Datasheet inversor Huawei.** Disponível em: <https://solar.huawei.com/en-GB/download?p=%2F-%2Fmedia%2FSolar%2Fattachment%2Fpdf%2F1a%2Fdatasheet%2FSUN2000-100KTL-H1.pdf>. Acesso em: 20/04/2021

Instruction Manual - CGR4 Pyrgeometer - Kipp & Zonen.

Instruction Manual - CHP1 Pirheliometer - Kipp & Zonen.

Instruction Manual - CMP 22 Pyranometer - Kipp & Zonen.

Instruction Manual - CR3000 Micrologger – Campbell Scientific.

Instruction Manual - Model 41382VC/VF - Relative Humidity/Temperature Probe, RMYOUNG.

Instruction Manual - Model TB4 Modelo Campbell Scientific.

Instruction Manual - Model WINDSONIC1-L Campbell Scientific.

Instruction Manual - NL150 Network Link Interface.

Instruction Manual - PTB110 Barometric Pressure Sensor – Vaisala.

Instruction Manual – Solys 2 Sun Tracker - Kipp & Zonen.

JESUS, Pablo Kunz. **Análise de viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico GRID-TIE em uma empresa de pequeno porte do setor metal-mecânico.** Monografia de especialização, Universidade Federal de Santa Maria, Santana do Livramento – RS, 2018. Disponível em:

https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/19404/TCCE_EEAPP_EaD_2018_JESUS_PABLO.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso: 30/11/2020

JINKOSOLAR. **Datasheet módulo fotovoltaico Jinkosolar**. Disponível em:
[https://www.jinkosolar.com/uploads/5e93f9cc/Eagle%20JKM320-340PP-72-\(V\)-A3,1-EN.pdf](https://www.jinkosolar.com/uploads/5e93f9cc/Eagle%20JKM320-340PP-72-(V)-A3,1-EN.pdf). Acesso em: 20/04/2021

Pereira, E. B. et al (Coord). **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html. Acesso em: 19/09/2020.

PES, Marcelo *et al*. **Rede SONDA de dados de recursos de energia solar e eólica**. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 12. ed. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344382141_Redde_SONDA_de_dados_de_recursos_de_energia_solar_e_eolica/link/5f6e8b4ba6fdcc00863c9db0/download. Acesso em: 15/10/2020

PITA, Bruno. **Projeto de instalação de um sistema de geração fotovoltaica no bloco B do campus USP São Carlos**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos - SP, 2018. Disponível em: http://www.sel.eesc.usp.br/cursosolar/wp-content/uploads/2018/12/3_Projeto-de-instala%C3%A7%C3%A3o-de-um-sistema-fotovoltaico-de-99kW-no-Bloco-B-da-USP-Fase-I.pdf. Acesso: 30/11/2020

PVSYST. **PVsys 7.2 Help**. 2012. Disponível em: <https://www.pvsyst.com/help/>. Acesso em: 06/05/2021

SOLARGIS. **Mapas Solarimétricos**. 2020. Disponível em: <https://solargis.com/maps-and-gis-data>. Acesso em: 10 set. 2020.

Wilcox e Stoffel, 2009. **Solar Resource and Meteorological Assessment Project (SOLRMAP)**. Solar and Meteorological Station Options: Configurations and Specifications. National Renewable Energy Laboratory. Disponível em: <https://data.nrel.gov/submissions/26>. Acesso em: 10/09/2020