



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA**

**INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM GESTÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS, AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS**

FRANCISCO ADENIL BARBOSA PINTO

**ANALISE DE RENDIMENTO DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA
SOLAR FOTOVOLTAICA**

Redenção

2018

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Pinto, Francisco Adenil Barbosa.

P726a

ANALISE DE RENDIMENTO DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA
SOLAR FOTOVOLTAICA / Francisco Adenil Barbosa Pinto. - Redenção,
2018.

36f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Gestão de Recursos
Hídricos, Ambientais e Energéticos - 2016.2, Coordenação de Pós-
graduação, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia
Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho.

1. Energia solar fotovoltaica. 2. Geração Distribuída. 3.
Eficiência Energética. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 621.473

FRANCISCO ADENIL BARBOSA PINTO

**ANALISE DE RENDIMENTO DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA
SOLAR FOTOVOLTAICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Gestão de recursos hídricos, ambientais e energéticos CPGRAD-EAD, da Universidade da Integração da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho

Redenção

2018

FRANCISCO ADENIL BARBOSA PINTO

**ANALISE DE RENDIMENTO DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA
SOLAR FOTOVOLTAICA**

Monografia julgada e aprovada para obtenção do título de Especialista em Gestão de recursos hídricos, ambientais e energéticos da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Data: ____/____/____

Nota: _____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho

Prof. Me. Plínio Nogueira Maciel Filho

Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Radiação solar global.....	15
Figura 2. Sistema de integração com a Integração com a rede elétrica.....	16
Figa3: Efeito fotovoltaico.....	17
Figura 4. Célula fotovoltaica e módulo fotovoltaico.....	18
Figura 5. Local de instalação do sistema.....	23
Figura 6. Vista aérea do Sistema.....	24
Figura 7: Dados de irradiação solar.....	24
Figura 8: Ângulo de inclinação.....	25
Figura 9: Irradiação solar diária média mensal em função do ângulo de inclinação.....	28
Figura 10: Modelo do inversor.....	30
Figura 11: Gráfico de análise da estimativa.....	32
Figura 12: Eficiência de geração de energia.....	32
Figura 13: Pluviosidade do período.....	33

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: DIMENSIONAMENTO.....	26
TABELA 2: MÉDIA DE CONSUMO.....	27
TABELA 3: VALORES E ESTIMATIVA.....	30

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos adotados nos equacionamentos

Símbolo	Descrição	Unidade
A	Área do módulo	m ²
$C_{\text{médio}}$	Consumo médio mensal	kWh
E_{mod}	Energia média mensal gerada pelo módulo	kWh
FDI	Fator de dimensionamento do Inversor	-
HSP	Média mensal das horas de sol pleno	H
N_{inv}	Número de inversor	-
N_{mod}	Número de módulos	-
$N_{\text{mod/inv}}$	Número de módulos por inversor	-
PFV	Potência instalada	kWp
PMF	Potência de pico de um módulo fotovoltaico	Wp
P_{inv}	Potência nominal do inversor	W
β	Ângulo ideal de inclinação do módulo	°
φ	Ângulo de incidência da radiação solar	°

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CdTe	Telureto de cádmio
CIS	Disseleneto de cobre-indio
CO ²	Dióxido de carbono
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
ENEL	Ente Nazionale Per L'energia Elettrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FDI	Fator de Dimensionamento do Inversor
FMI	Fundo Monetário Internacional
FV	Fotovoltaico
GD	Geração distribuída
HSP	Horas de Sol Pleno
REN	Resolução Normativa
MF	Módulos Fotovoltaicos
DPS	Dispositivo de proteção contra surto
PIB	Produto Interno Bruto
TD	Taxa de Desempenho
N _{mod}	Número de módulos;
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
P _{fv}	Potência instalada
FDI	Fator de dimensionamento do inversor;
P_{inv}	Potência nominal do inversor

SUMÁRIO

. 1 – INTRODUÇÃO.....	10
1 - OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivo Geral:.....	13
1.1.2 Objetivo específico:.....	13
. 2- REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1 Radiação solar.....	14
2.2.1 Sistema conectado à rede elétrica (<i>on-grid</i>):.....	16
2.2.2 Sistema Autônomo (<i>off-grid</i>):.....	16
2.2.3 – Sistema Híbrido (<i>on/ Off-Grid</i>):.....	16
2.3 Celular fotovoltaica.....	16
2.4 Módulos Fotovoltaicos.....	18
2.5 Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos.....	19
2.6 Fatores que influenciam no rendimento.....	19
. 3 METODOLOGIA.....	21
. 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
4.1 Estudo de caso.....	22
4.2 Equacionamento para o dimensionamento do sistema FV.....	23
4.2.1 Radiação incidente e orientação dos módulos fotovoltaicos.....	23
4.3- Dimensionamento do sistema FV.....	26
4.3.1 Dimensionamento do Kit gerador.....	26
4.3.2 Parâmetros Iniciais.....	27
4.3.3- Dimensionamento do gerador fotovoltaico.....	28
4.3.4 Dimensionamento do inversor.....	29
4.3.5 - Geração de energia do sistema fotovoltaico conectado à rede.....	30
. 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
. REFERÊNCIAS.....	34

DEDICATÓRIAS

A Deus. Aos meus pais, Francisco Tomé e Maria de Lourdes. Aos meus irmãos, Adenilson, Adenisia, Adriana e Adailton. À minha esposa, Rosimeire Germano pela paciência de dividir minha companhia. A todos e todas, que de certa forma foram colaboradores por mais esta conquista.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre acreditar em mim, pelo dom da vida e por minha família e amigos.

A esta Universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram mais esta janela de oportunidade onde podemos vislumbrar um novo horizonte.

Agradeço ao Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho, por ter aceitado o convite para ser o orientador neste trabalho, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivo.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo, confiança e apoio incondicional. A minha esposa Rosimeire, pela paciência de quem divide os momentos dedicados aos estudos, pelo imenso amor que a mim dispensa, minhas filhas, Vitória e Ana Júlia, que da mesma forma que sua mãe compartilham do mesmo sentimento. Ao meu irmão Adailton, que disponibilizou o projeto do sistema fotovoltaico, objeto da análise deste trabalho.

A todos amigos e companheiros que direta ou indiretamente fazem parte da minha formação, o meu muito obrigado.

*Vou lutar e vencer, vou plantar e colher
A cada dia vou viver rompendo em fé
Cada vez que a minha fé é provada,
Tu me dás a chance de crescer um pouco mais
As montanhas e vales,
Desertos e mares que atravesso,
Me levam pra perto de ti
Minhas provações não são maiores do que o meu Deus,
E não vão me impedir de caminhar
Se diante de mim não se abrir o mar
Deus vai me fazer andar por sobre as águas ...*

Ana / Edson Feitosa

RESUMO

A crescente demanda energética e a busca por alternativas de fontes de energia que caminhem juntas com a conservação do meio ambiente têm despertado o interesse em investimentos nas fontes de energias renováveis como alternativa para um mundo mais sustentável. Nessa perspectiva, a energia solar fotovoltaica vem ganhando cada vez mais espaço em regiões que apresentam radiação solar abundante, como no caso da região nordeste do Brasil. Diante do exposto, este trabalho objetiva analisar o rendimento de uma unidade de produção de energia solar fotovoltaica conectada à rede elétrica trifásica de baixa tensão, instalada na cidade de Fortaleza-CE. O sistema possui uma potência instalada de 10,25 kW_p, composto por 41 módulos fotovoltaicos, com potência nominal de 250 W, e inversor trifásico com estimativa de geração de 1517 kWh/mês. O sistema foi dimensionado baseado na necessidade de suprir um consumo médio mensal de 1501 kWh/mês. A geração do sistema fotovoltaico foi estimada de modo que existam meses em que a produção energética seja maior do que o consumo da propriedade, acarretando em geração de créditos nos moldes estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O trabalho apresenta um comparativo entre projeto e resultados alcançados no funcionamento do sistema.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Geração Distribuída. Eficiência Energética. Micro Geração.

ABSTRACT

Growing energy demand and the search for alternative sources of energy that go hand in hand with environmental conservation have sparked interest in investing in renewable energy sources as an alternative to a more sustainable world. In this perspective, photovoltaic solar energy has been gaining more and more space in regions that present abundant solar radiation, as in the case of the northeastern region of Brazil. In view of the above, this work aims to analyze the performance of a photovoltaic solar energy production unit connected to the low voltage three-phase electric grid, installed in the city of Fortaleza-CE. The system has an installed power of 10.25 kWp, composed of 41 photovoltaic modules, with nominal power of 250 W, and three-phase inverter with an estimated generation of 1517 KWh / month. The system was scaled based on the need to supply an average monthly consumption of 1501 kWh / month. The generation of the photovoltaic system was estimated so that there are months in which the energy production is greater than the consumption of the property, resulting in the generation of credits in the form established by the National Electric Energy Agency (ANEEL). The work presents a comparison between design and results achieved in the operation of the system.

Keywords: Photovoltaic solar energy. Distributed generation. Energy Efficiency. Micro Generation.

. 1 – INTRODUÇÃO

A natureza, de um modo geral, tem na radiação solar a fonte de energia responsável e necessária ao desenvolvimento de todos os seus ciclos, no entanto, este aproveitamento sempre foi limitado. De acordo com dados do Fundo Monetário Internacional (FMI), o Produto Interno Bruto (PIB) mundial crescerá em média 3,5% entre 2010 e 2030, isto significa que a economia global dobrará de tamanho no espaço de vinte anos. Crescendo a economia também cresce a demanda por energia, elemento essencial para o suprimento das necessidades geradas com o crescimento ocasionado da vida em sociedade.(Alves Diniz, 2012).

Todavia, os problemas ambientais causados pela exploração de atividades econômicas e industriais desde a chamada revolução industrial só aumentam a cada ano e os governos de Estados e Nações estão cada vez mais se conscientizando de que os recursos naturais são finitos. Segundo (D'isep 2009), “a raridade desses recursos é evidenciada na constatação de suas limitações, escassez e caráter finito, somado ao aumento de sua demanda em razão dos processos de produção e consumo”. Para reforçar a ideia de que os recursos naturais são efêmeros é que Estados e Nações vem concentrando esforços na resolução desses problemas e buscando alternativas de fontes de energias visando diminuir os efeitos secundários negativos que os combustíveis fósseis causam, e veem nas chamadas fontes de energias renováveis cada vez mais uma opção.

Em um panorama atual da crescente procura pelas fontes de energias renováveis, a energia solar fotovoltaica (FV) tem assumido papel relevante. Segundo dados divulgado pela ABSOLAR (maio de 2018), o Brasil deverá ultrapassar até o final do ano de 2018, a marca de 2GW de geração de energia solar fotovoltaica em operação através do segmento de geração distribuída, formado em sua maioria por, residências, comércios e indústrias, com destaque para a zona rural que evoluiu 150%.

Embora, a produção mundial desta energia, isto é, os sistemas fotovoltaicos sejam ainda tímidos quando comparada com a produção, por exemplo, de energia elétrica de fonte hidráulica é de conhecimento na literatura técnica de que o potencial desta tecnologia é teoricamente infinita, pois sabemos que a terra recebe do Sol anualmente uma elevadíssima quantidade de energia.(Machado e Miranda, 2015).

Novas tecnologias e novas necessidades criam sempre novos mercados e,

portanto, novas oportunidades de negócio e de desenvolvimento. O atual crescimento e expansão da tecnologia fotovoltaica, acompanhada desde a década de 70, pode ser atribuída a alguns aspectos, como por exemplo à melhora significativa dos materiais empregados na fabricação de células fotovoltaicas. Atualmente, além do Silício, que é o material utilizado em maior escala para a referida finalidade, uma gama bastante ampla de materiais vem sendo disponibilizada, permitindo o aperfeiçoamento, não apenas em termos de eficiência de conversão, mas também em flexibilidade, peso e custos, (Coelho 2008).

A energia solar vem surgindo como fonte alternativa aos combustíveis fósseis e traz um menor prejuízo ao meio ambiente por ser uma fonte de energia renovável, além de ser viável na geração descentralizada e próxima ao consumidor, evitando, assim, perdas nos sistemas oriundas das etapas de conversão, transmissão e distribuição (Suntech, 2018). No Brasil, por exemplo, estas referidas perdas representam cerca de 15,9%, de acordo com BEN, (2017).

Proença (2007) relata que nas energias renováveis a produção de eletricidade a partir da fonte solar fotovoltaica assume papel relevante, embora a produção mundial decorrente de sistemas fotovoltaicos seja ainda marginal quando comparada com a produção total. Este mercado tem crescido a uma taxa anual de 30% e o potencial desta tecnologia é teoricamente infindável.

O Brasil é um país de dimensões continentais, de localização privilegiada em relação à quantidade de radiação solar, pois está localizado na sua maior parte próximo à linha do equador, assim não se observam grandes variações de radiação, e por isso possui grande potencial de energia solar durante todo ano.

Devido a essas condições favoráveis, o uso de energia solar para geração elétrica pode ser considerada como uma opção para alimentar indústrias, casas e edifícios. Já que o país possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, a melhor integração da energia solar FV vem sendo como fonte complementar, aproximando a geração do consumo e reduzindo assim perdas com transmissão.

A publicação da Resolução Normativa 482 em abril de 2012, pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e sua revisão, a REN 687/2015, ampliou essas possibilidades, introduzindo o sistema *net metering* no Brasil, mais conhecido como Sistema de Compensação de Energia. Desta forma, reduziu as barreiras para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede de distribuição como a exigência de que as distribuidoras disponibilizem

um processo *online* de solicitação da instalação junto à empresa, além do aumento do prazo para a utilização dos créditos dos consumidores referente ao excedente da fatura de 36 meses para 60, (ANEEL, 2015),

A Empresa de Pesquisa Energética EPE em seu Balanço Energético Nacional, de acordo com BEN, (2017), trás informações referentes ao crescimento da micro e mini geração distribuída (GD), que atingiu 104,1 GWh com uma potência instalada de 72,4 MW, com destaque para a fonte solar fotovoltaica, com 53,6 GWh e 56,9 MW de geração e potência instalada respectivamente.

Vale salientar que no decorrer da construção deste trabalho, o Governo do Brasil através do Ministério de Minas e Energia, criou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), programa este que tem como objetivo a geração de energia a partir da modalidade *on-grid*, já descrita no item 2.2.1, com a previsão de que 2,7 milhões de unidades consumidoras poderão aderir ao programa até 2030.

O que possibilitaria um maior acesso à tecnologia, já que nosso país os índices de irradiância solar são abundante e estudos internacionais reportam que para o ano de 2050, 50% da geração de energia no mundo virá de fontes renováveis.

Diante do exposto, este trabalho objetiva realizar um comparativo entre produção e capacidade energética instalada, utilizando o conhecimento fornecido com base em pesquisas científicas sobre o potencial de energia solar disponível na literatura existente e através dos dados fornecidos por fabricantes dos componentes do sistema. Além disso, esta análise busca apontar os fatores que impactaram nos resultados alcançados.

A unidade de produção de energia solar fotovoltaica em análise tem as seguintes especificações: é conectada à rede elétrica trifásica de baixa tensão, instalado na cidade de Fortaleza-CE, com potência instalada de 10250 kWp, composto por 41 módulos QXPV, e potência nominal unitária de 250 W, e um inversor ST 12.000 TI B&B, com estimativa de geração de 1517 Kwh/mês.

Para facilitar a análise e desenvolvimento do trabalho, o mesmo está dividido nos seguintes capítulos:

O capítulo 2, que apresenta a revisão bibliográfica referente aos conhecimentos acerca da tecnologia dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, bem como uma descrição de seus equipamentos elétricos e sua funcionalidade para o sistema.

O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada

O capítulo 4 apresenta os resultados e discussões apresentando um comparativo entre as condições nominais estabelecidas em projeto e os resultados alcançados.

E, por fim, o capítulo 5 apresenta a conclusão do presente trabalho.

1 - OBJETIVOS

Realizar um estudo técnico do rendimento de uma unidade de produção de energia solar fotovoltaica. Bem como fornecer elementos a respeito do rendimento real do sistema, possibilitando nortear futuros dimensionamentos de implantações de sistemas fotovoltaicos.

1.1.1 Objetivo Geral:

Analisar o rendimento: de um sistema fotovoltaico *On-Grid* integrado a rede elétrica, a cerca do percentual alcançado, em relação a potência gerada na sua execução e a estimada em projeto.

1.1.2 Objetivo específico:

- I) Aprofundar o conhecimento acerca da tecnologia dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica
- II) Apresentar uma descrição dos equipamentos elétricos utilizados bem como sua funcionalidade para o sistema
- III) Realizar um comparativo entre os elementos estabelecidos em projeto e os resultados alcançados;
- IV) Apontar fatores que influenciaram nos resultados alcançados

. 2- REVISÃO DA LITERATURA

O tema geração de energia elétrica através de uma fonte renovável requer um vislumbre das formas que podem ser utilizadas para produzir essa energia. A exemplo disso, tem-se na incidência de energia solar uma enorme fonte energética a ser explorada. Diariamente incide sobre a superfície da Terra mais energia vinda do sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta em todo um ano (Câmara, 2011). Em seguida a esta análise, são apresentados os elementos que compõe um sistema fotovoltaico.

2.1 Radiação solar

A irradiação é definida, segundo CRESESB (2014), como um acúmulo de irradiância sobre uma superfície por um determinado intervalo de tempo. Anualmente a incidência de energia solar na terra corresponde a $1,5 \cdot 10^9$ TWh, valor equivale a 10.000 vezes o consumo mundial de energia em um ano. Segundo Mendonça (2017) essas formas de conversão de energia podem ser de maneira elétrica, com painéis fotovoltaicos, através da geração heliotérmica, por meio de espelhos direcionados, e também térmica, com células de aquecimento solar.

A intensidade de radiação solar fora da atmosfera depende da distância entre o Sol e a Terra durante o decorrer do ano que pode variar entre $1,47 \times 10^8$ Km (Periélio) e $1,52 \times 10^8$ Km (Afélio) apud GEENPRO (2004). Devido a este fato, a irradiação pode variar entre 1325 W/m^2 e 1412 W/m^2 . O valor médio é designado por uma constante solar, $E_0 = 1,367 \text{ kW/m}^2$. A Constante Solar é denominada pelo fluxo de radiação do Sol, que é o total de energia que atinge o limite da atmosfera na superfície de 1cm^2 , perpendicularmente aos raios solares durante um minuto (CRESESB, 2014).

O Brasil apresenta vantagem em relação a países europeus pois está localizado em uma faixa de irradiação bastante ampla. Segundo o projeto Greenpro (2004), a irradiação solar do globo em algumas regiões situadas perto do Equador, excede 2.300 kWh/m^2 por ano, enquanto que no sul da Europa não deve ultrapassar os 1.200 kWh/m^2 . Logo, boa parte do território brasileiro possui um ótimo potencial solar, sendo, portanto, um local propício para a implantação de sistemas fotovoltaico, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1. Radiação solar global

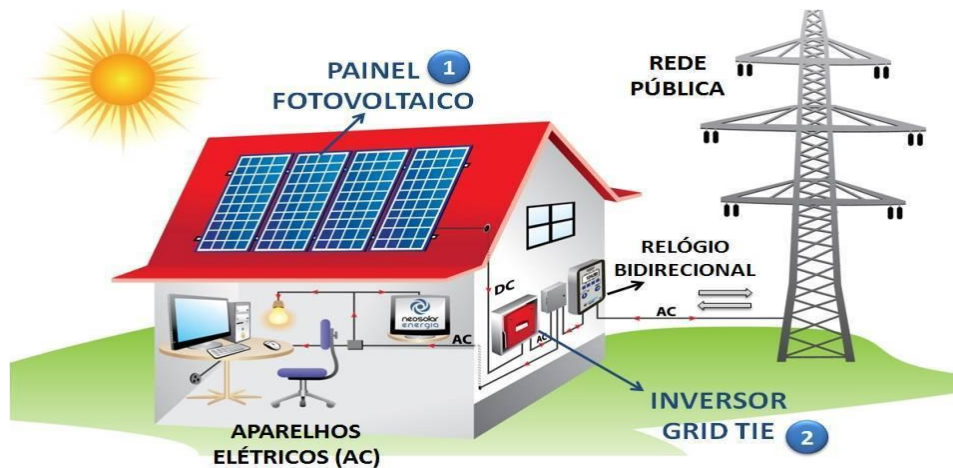


Fonte: http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf

2.2 Sistemas Fotovoltaicos

Em uma definição básica, um sistema fotovoltaico é um conjunto integrado de módulos fotovoltaicos e outros componentes, projetado para converter a energia solar em eletricidade (MAYCOCK, 1981; TREBLE, 1991), como mostra na figura 2.

Figura 2. Sistema de integração com a Rede elétrica



Fonte: <http://www2.al.es.gov.br/gabinetevirtual/Deputado/doutorhercules/DetalharNoticia/104>

Existem três diferentes maneiras de conexão dos sistemas fotovoltaicos a uma unidade consumidora: *On-Grid*, *Off-Grid* e *On/Off-Grid*.

2.2.1 Sistema conectado à rede elétrica (*on-grid*):

O processo se dá através das células fotovoltaicas, o sistema possui um inversor que é conectado a rede de distribuição elétrica, equipamento que recebe a energia em corrente contínua gerada pelo sistema e converte para corrente alternada, na qual a energia gerada pela fonte é transmitida diretamente a concessionária.

2.2.2 Sistema Autônomo (*off-grid*):

O sistema é desconectado da rede de distribuição elétrica, onde toda a energia gerada é consumida ou armazenada em baterias. Ressalta-se que, embora o custo seja mais elevado que o de sistemas conectados à rede, os sistemas FV isolados costumam encontrar viabilidade no atendimento de comunidades remotas, tendo em vista que evitam a construção de redes de distribuição ou substituem os altos custos e dificuldades logísticas da geração a diesel nesses locais.(Tolmasquim, 2016).

2.2.3 – Sistema Híbrido (*on/ Off-Grid*):

O sistema é conectado à rede de distribuição elétrica e a um sistema de armazenamento, onde atua de maneira bidirecional carregando e exportando o excedente de energia produzida.

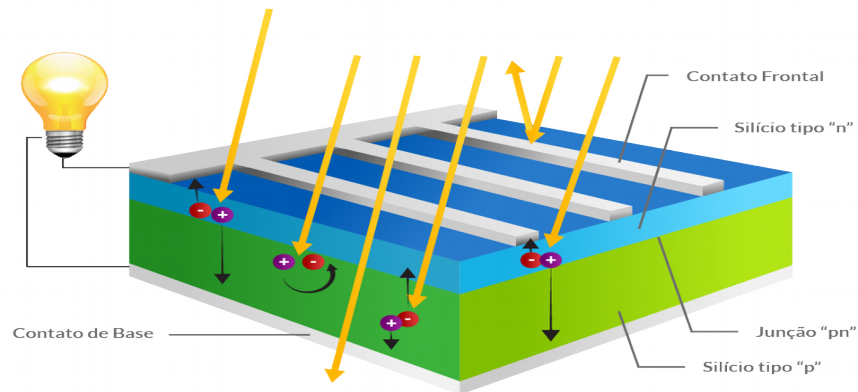
Atualmente o sistema mais usado é o *On-Grid*, no qual o montante investido inicialmente é menor que os demais. Essa conexão encaixa-se como uma geração distribuída, este regulamentado pela Resolução Normativa 678 da ANEEL, variando de Microgeração distribuída (Potência instalada menor ou igual a 100 kW) à Minigeração distribuída (potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 5 MW) (NAKABAYASHI, 2014).

2.3 Celular fotovoltaica

O princípio físico de funcionamento das células fotovoltaicas é denominado efeito fotovoltaico (foto = luz; volt = eletricidade), que é o fenômeno apresentado por determinados materiais que, expostos à luz, produzem eletricidade. Este efeito foi analisado primeiramente pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, no ano de 1839 em um experimento onde imergiu um eletrodo em um líquido condutor e observou a existência de uma corrente elétrica ao incidir radiação solar. No ano de 1883 foi construída a primeira célula fotovoltaica por

Chales Fritts, onde o mesmo revestiu selênio com uma camada de ouro. Esse dispositivo teve uma porcentagem de rendimento de apenas 1%. como mostra a figura 3 abaixo.

Fig3: Efeito fotovoltaico



Fonte: <http://blog.bluesol.com.br/wp-content/uploads/2016/12/efeito-fotovoltaico-na-celula-fotovoltaica.png>

Segundo Nogueira (2016), no efeito fotovoltaico, o raio solar é transformado em eletricidade em uma célula fotovoltaica, fabricada com materiais chamados de semicondutores. Sendo que o mais utilizado atualmente é o silício. A luz solar é pura energia, composta de elementos chamados de fótons. Quando essas partículas-onda atingem a célula fotovoltaica, parte deles é absorvida. Esses fótons despertam os elétrons do material semicondutor, gerando assim eletricidade.

As células fotovoltaicas compõem os módulos, conforme mostra a Figura 4. As células fotovoltaicas disponibilizadas comercialmente são elaboradas à base de silício monocristalino, policristalino e amorfo, mas também há células fabricadas com outros materiais, como o disseleneto de cobre-indio (CIS) e telureto de cádmio (CdTe).

Figura 4. Célula fotovoltaica e módulo fotovoltaico.



Fonte: <http://www.paineisfotovoltaicos.com/funcionamento.php>

2.4 Módulos Fotovoltaicos

Como a energia produzida pelas células fotovoltaicas é pequena (Possebon 2016), faz-se necessário agrupá-las, isto é, conectá-las em série, constituindo os módulos fotovoltaicos. Além do objetivo de garantir uma tensão mais próxima da realidade dos equipamentos eletrônicos, os módulos são projetados com o intuito de obter resistência mecânica, protegendo as células das diversas condições ambientais possíveis sem interferir na captação de radiação solar. Eles são confeccionados com material transparente na parte frontal (vidro temperado) e moldura usualmente composta por alumínio.

Os módulos FV são fabricados para durarem pelo menos 30 anos (25 anos de garantia), de acordo com a legislação brasileira, dentre os quais, tem-se:

Quadro Elétrico: O sistema fotovoltaico é conectado no seu quadro de distribuição de energia e assim fornecer energia para tudo o que estiver conectado na tomada, pelos aparelhos elétricos como geladeira, micro-ondas, ar-condicionado etc.

Medidor de Energia: Registra o que foi consumido e o que foi produzido pelo sistema.

Painéis Fotovoltaicos: já explicado no item 2.4

Estrutura de fixação: Existem estruturas de fixação para qualquer situação (Telhado metálico, telhado cerâmico, estacionamento, solo, laje etc...)

Inversor: É o cérebro do sistema, pois controla toda a energia gerada para ser injetada na rede elétrica, é o inversor o responsável por converter a potência em corrente contínua proveniente do arranjo fotovoltaico em potência, em corrente alternada.

StringBox: É a caixa que armazena os equipamentos de proteção como: fusíveis, disjuntores, dispositivo de proteção contra surto (DPS) e chave seccionadora.

2.5 Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos

Existem países onde os sistemas fotovoltaicos são subsidiados e o dimensionamento pode partir do tamanho dos telhados e sua capacidade de geração (AMÉRICA DO SOL, 2014) de tal modo, o objetivo é extrair o máximo de energia elétrica a partir da irradiação da área em questão. Isso quer dizer que, independente do consumo daquela unidade o sistema instalado terá sempre a capacidade máxima que o telhado seja capaz de gerar, e a diferença de energia pode ser vendida tanto para o governo quanto para instituições particulares.

Entretanto, no Brasil ainda não há incentivos desta forma para favorecer os microgeradores para a venda de energia. É importante ressaltar que, segundo a ANEEL, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade correspondendo à taxa mínima – valor em reais equivalentes a 30 kWh para entrada monofásica, 50 kWh para entrada bifásica ou 100 kWh para entrada trifásica (BRASIL, 2012, SAUER, 2015).

O dimensionamento para sistemas fotovoltaicos baseia-se na quantidade de irradiação do local, e a potência necessária a ser instalada que será fornecida pelos módulos fotovoltaicos. O inversor deve atender a faixa de trabalho da potência adotada.

É possível também fazer uma estimativa da quantidade de CO² que será evitada com a utilização do sistema a partir de programas utilizados para dimensionamento e também de outras ferramentas disponíveis.

2.6 Fatores que influenciam no rendimento

Os principais parâmetros que afetam o rendimento de um sistema fotovoltaico são a localização geográfica, a inclinação e a orientação do painel, sendo que os efeitos destes dependem da razão entre a radiação direta e difusa do local, bem como da fração de albedo, que é a característica do ambiente que circunda a instalação. Normalmente o valor da inclinação ótima, com relação à horizontal, para que se tenha a máxima incidência solar em regime anual, é dado pela latitude local, com orientação da superfície voltada para o equador (RÜTHER, 2004).

Para avaliar o potencial da conversão fotovoltaica em um determinado lugar, seria muito útil dispor de dados confiáveis da irradiação solar disponível em intervalos horários. Há poucas estações meteorológicas no Brasil que registram sistematicamente o valor da irradiação solar incidente em intervalos horários. A informação obtida na base temporal horária é importante porque os módulos fotovoltaicos são geralmente instalados em planos inclinados e, como a posição solar varia a cada instante, a conversão de um dado de irradiância no plano horizontal para um plano inclinado também é diferente a cada instante (Pinho e Galdino, 2014).

Sistemas fotovoltaicos que utilizam rastreador solar, permitem que a incidência dos raios do sol seja sempre perpendicular ao plano do painel. Shayani (2006), demonstra que em uma situação ideal, de um sistema rastreador de sol extraterrestre no sentido leste-oeste, o aproveitamento de um painel solar seria 57% maior quando comparado com um sistema fixo. Entretanto, em um sistema real, instalado na superfície terrestre, os efeitos da atenuação da intensidade dos raios solares, devido à massa de ar pelo qual os raios solares atravessam, fazem com que este aproveitamento seja menor.

A premissa básica para a utilização de rastreadores reside na vantagem de requerer menor potência instalada do gerador fotovoltaico para a mesma quantidade módulos fotovoltaicos, assim como ocupação de menor superfície para sua instalação. Entretanto, a aquisição do mecanismo rastreador, sua instalação, manutenção e possível reposição ao longo da vida útil do projeto, pode não compensar economicamente, quando se comparam os seus custos com os de um sistema fixo, principalmente em função da queda contínua do preço dos módulos fotovoltaicos. Por esse motivo, a utilização de rastreador deve ser sempre analisada em função das especificidades e dos objetivos de cada projeto. (Pinho e Galdino, 2014).

Em operação real, condições divergentes influenciam o real rendimento do sistema (Martins, 2012). Logo os seguintes fatores podem ter influência sobre este valor:

- “Fatores ambientais”
 - Temperatura dos painéis fotovoltaicos;
 - Radiação solar e perdas;
 - Existência de sombra ou sujidade do painel fotovoltaico.
- “Outros fatores”
 - Grau de rendimento do painel fotovoltaico;
 - Grau de rendimento do inversor;

. 3 METODOLOGIA

O presente estudo foi fundamentado em uma pesquisa descritiva. Segundo Gil(2002), pesquisas descritivas têm como objetivo primordial à descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis. A estratégia de pesquisa abordada refere-se a um estudo de caso que consiste em comparar o rendimento estipulado em projeto acerca do percentual alcançado em relação à potência gerada na execução e a estimada no projeto, de um sistema fotovoltaico ligado à rede elétrica convencional.

Ainda, segundo Gil (2002), o estudo de caso costuma ser utilizado, tanto como estudo piloto para esclarecimento do campo da pesquisa, como para particularidade do assunto. Já referente aos resultados, são apresentados em aberto, ou seja, não confirmadamente categóricos, mas na condição de hipóteses.

Esta pesquisa caracteriza-se por ser um estudo de caso de natureza quantitativa. Contextualizando-se através das seguintes etapas: Pesquisa de referência bibliográfica, através da busca de livros, artigos e trabalhos técnicos em acervos e na Internet; selecionando as obras com maior relevância sobre o assunto, traçando um panorama sobre a geração de eletricidade no país e o desenvolvimento de novas tecnologias como fonte alternativa aos combustíveis fósseis.

Deste modo, a revisão da literatura enfatizou o detalhamento de fatores que estão relacionados radiação global e à produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos, celular fotovoltaico, módulos fotovoltaicos, seu funcionamento e os equipamentos que compõe este sistema, tipos de conexão à rede elétrica, dimensionamento e elencar alguns fatores que influenciam no rendimento o processo.

Fundamentado no estudo gerado nas etapas anteriores, a etapa seguinte consistiu na realização do estudo de caso, através da comparação de dados acerca do projeto em estudo. Portanto, foi feita observação dos resultados de produção de energia alcançado no período de novembro de 2017 a maio de 2018, e comparando as informações coletadas ao potencial estimado no projeto.

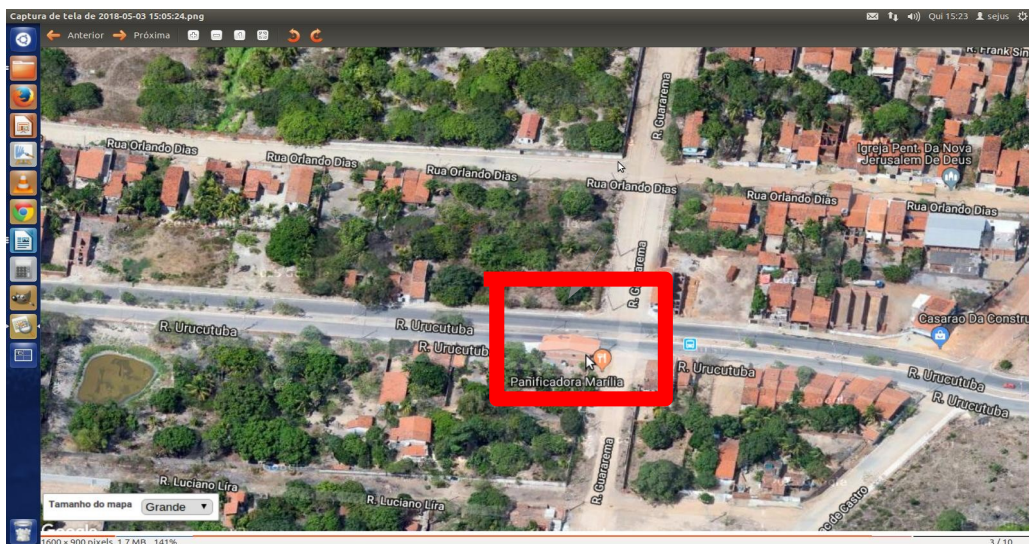
. 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo trata da Análise de resultados de um sistema fotovoltaico, apresentando um comparativo entre os elementos estabelecidos em projeto, a partir das evidências fornecida na literatura no âmbito da capacidade de geração de energia e rendimento, aos resultados alcançados com a unidade de geração em funcionamento

4.1 Estudo de caso

Este estudo de caso refere-se a uma situação particular e real de um sistema fotovoltaico dimensionado conforme especificações já mencionadas no primeiro capítulo deste trabalho, e instalado na cidade Fortaleza-CE. A unidade consumidora, que também é geradora, é registrada na distribuidora de energia elétrica ENEL. A localização geográfica da residência é descrita por Latitude: 3,801° S, Longitude: 38,549° O. Estes dados são importantes especialmente para o dimensionamento de sistemas obtidos a partir de softwares computacionais. É esta posição que define a quantidade de irradiação que recebe determinado local. As Figuras 5 e 6, apresentam o local de instalação do sistema.

Figura 5. Local de instalação do sistema



Fonte: Google Maps (2018)

Figura 6. Vista aérea do Sistema



Fonte: adaptado, Suntech energia solar,(2018)

4.2 Equacionamento para o dimensionamento do sistema FV

Nesta etapa será abordada a sistematização com base na literatura disponível para o embasamento do dimensionamento do Sistema FV conectado à rede elétrica.

4.2.1 Radiação incidente e orientação dos módulos fotovoltaicos

O fator de maior relevância para o dimensionamento de um sistema FV é o conhecimento prévio da radiação solar incidente na localização onde será instalado o sistema, dados que são disponíveis no atlas Solarimétrico do Brasil, fornecido pelo CRESESB. Segundo (Santos, 2016), esse banco de dados disponibiliza os valores referentes a radiação solar e ângulo para o dimensionamento correto da usina a ser projetada. A Figura 7, apresenta os dados de irradiação solar da região de instalação do sistema, obtido através das coordenadas geográficas do local.

Figura 7: Dados de irradiação solar

Tabela de dados de irradiação solar								
Irradiação solar diária média (Kwh/m ² . Dia)								
Município	Latitude(°)	Longitude(°)	jan	fev	mar	abr	mai	jun
Fortaleza	3,801° S	38,549° O	5,75	5,77	5,57	4,86	5,19	5,23
			jul	ago	set	out	nov	dez
			5,45	5,89	6,05	6,3	6,34	5,94

Fonte: adaptado de Sundata / CRESESB,(2018)

De posse das informações fornecidas pelo banco de dados disponibilizados pela CRESESB, é possível determinar o ângulo adequado de orientação dos módulos fotovoltaicos que possibilitará a produção energética com o um maior aproveitamento da radiação solar incidente no local. No Brasil, é comum ser utilizado o mesmo ângulo da latitude do local para o ângulo de inclinação do módulo, deste que valor não seja menor do que 10°, pois prejudicaria na manutenção dos módulos (MIRANDA, 2014). Segundo Di Souza (2016), o ângulo de inclinação ideal é dado pela equação. (4.1)

$$\beta = 3,7 + 0,69 \Phi \quad (4.1)$$

Em que:

- β : ângulo ideal de inclinação do modulo fotovoltaico em graus
- ϕ : ângulo de incidência da radiação solar

Conforme Di Souza (2016), para sistemas *on-grid* no hemisfério Sul, os módulos fotovoltaicos devem ser instalados em direção ao Norte Geográfico. A figura 8, mostra ângulo de inclinação ideal para o dimensionamento do sistema.

Figura 8: Ângulo de inclinação

Tabela Ângulos													
Ângulos	Longitude(°)	Irradiação solar diária média (Kwh/m². Dia)											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Plano Horizontal	0° N	5,75	5,77	5,57	4,86	5,19	5,23	5,45	5,89	6,05	6,3	6,34	5,94
Ângulos igual a latitude	4° N	5,6	5,68	5,56	4,92	5,33	5,41	5,62	6,01	6,08	6,22	6,18	5,77
Maior Média Anual	3° N	5,64	5,7	5,56	4,91	5,3	37	5,58	5,99	6,09	6,24	6,22	5,81
Maior mínimo mensal	16 °N	5,05	5,3	5,41	5	5,63	5,84	5,03	6,24	6,02	5,88	5,6	5,14

Fonte : Adaptado de (Sundata/CRESESB,2018)

Segundo SAMPAIO (2016), o ideal é que o dimensionamento seja feito a partir do consumo mensal da edificação, por meio da fatura de energia, com posse no histórico de consumo dos últimos 12 meses (em kWh). Segundo CRESESB (2014), a potência instalada do sistema fotovoltaico para suprir totalmente ou parcialmente o consumo de energia mensal

de uma edificação, é calculada a partir da equação (4.2) a seguir:

$$PFV = \frac{C_{\text{médio}}}{HSP \cdot 30} \quad (4.2)$$

Em que:

- PFV = potência instalada, em (kWp);
- $C_{\text{médio}}$ = consumo médio mensal ou fração do consumo, em (kWh);
- HSP = média mensal das horas de sol pleno, em (h).

Para se obter a quantidade de módulos fotovoltaicos que atenda a potência instalada do sistema, utiliza-se a equação (4.3) que determina a quantidade de módulos do sistema.

$$N_{\text{mod}} = \frac{PFV}{PMF} \quad (4.3)$$

Em que:

- N_{mod} = número de módulos;
- PFV = potência instalada, em (Wp);
- PMF = potência de pico de um módulo fotovoltaico, em (Wp).

Outro elemento importante é o dimensionamento adequado do inversor, onde deve ser considerado o Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI). Segundo Veras (2017, apud ZILLES, 2012; SANTOS, 2016), este conceito é de suma importância no dimensionado de sistemas fotovoltaicos por recomendar a capacidade do inversor em relação à potência de pico do módulo fotovoltaico, conforme apresentado na equação (4.4)

$$FDI = \frac{P_{\text{inv}}}{PMF} \quad (4.4)$$

Em que:

- FDI = fator de dimensionamento do inversor;
- P_{inv} = potência nominal do inversor, em (W);

- P_{MF} = potência de pico do gerador fotovoltaico, em (Wp).

Segundo Veras 2017, apud Cresesb (2014) e Costa (2010), o dimensionamento do inversor deve ser realizado de forma que o sistema não perca potência. Assim, a potência do inversor deve ser escolhida entre 70% a 120% da potência de pico do gerador fotovoltaico, apresentado na equação (4.5) Tendo uma faixa de FDI entre:

$$0,7 < FDI > 1,2 \quad (4.5)$$

4.3- Dimensionamento do sistema FV

A seguir são realizados os procedimentos de dimensionamento do sistema FV a partir do equacionamento proposto da seção anterior.

4.3.1 Dimensionamento do Kit gerador

O sistema instalado na unidade consumidora está dimensionado para fornecer aproximadamente 10,25 KWp, que gerará 1517 KWh/mês. Isso atenderá 101,13% da necessidade da média total de consumo da unidade consumidora no ano anterior, que é de 1501 KWh/mês, dados estes fornecidos pela empresa instaladora do sistema (FV), como mostra a tabela 1.

Dados do dimensionamento	
Tipo de superfície	telha metálica
Orientação	0 ° Norte
Inclinação	10 °
Tipo de conexão	trifásico
Peso	762,6 Kg
Espaço necessário	67,65 m ²
Média de consumo	1500 (Kwh / mês)
Produção sugerida 101,13 %	1517 (Kwh / mês)

Tabela 1: Dimensionamento

Fonte : adaptado, Suntech energia solar (2018)

O consumo médio anual e diário de energia elétrica foi determinado a partir das contas de energia do período de janeiro a dezembro de 2016, conforme apresentado na Tabela

2. O consumo médio anual neste período foi de 1501 kWh, já a média de consumo diário foi de aproximadamente 50 kWh.

Tabela de consumo Referencia / 2016	
PERIODO	CONSUMO MENSAL (kWh/mês)
Janeiro	1498
Fevereiro	1437
Março	1550
Abril	1564
Maio	1506
Junho	1498
Julho	1470
Agosto	1545
Setembro	1435
Outubro	1437
Novembro	1475
Dezembro	1595
MEDIA MENSAL ANUAL	1501
MÉDIA DIÁRIA	50

Tabela 2: Média de consumo

Fonte: Autoria própria

4.3.2 Parâmetros Iniciais

Para definição do dimensionamento do sistema instalado, de potência nominal (em kWp) utilizou-se como parâmetros a modalidade denominada de autossuficiência líquida (Produção de energia fotovoltaica equivalente ao consumo de instalação ao qual o gerador será conectado). Assim, tomando como referência a cidade de Fortaleza, a figura 9, apresenta os dados de irradiação solar diária média mensal em função do ângulo de inclinação. Veras 2017, apud LISITA (2005).

Figura 9: Irradiação solar diária média mensal em função do ângulo de inclinação

Tabela Ângulos		Irradiação solar diária média (Kwh/m². Dia)											
Ângulos	Longitude(°)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
		Plano Horizontal	0° N	5,75	5,77	5,57	4,86	5,19	5,23	5,45	5,89	6,05	6,3
Ângulos igual a latitude	4° N	5,6	5,68	5,56	4,92	5,33	5,41	5,62	6,01	6,08	6,22	6,18	5,77
Maior Média Anual	3° N	5,64	5,7	5,56	4,91	5,3	5,37	5,58	5,99	6,09	6,24	6,22	5,81
Maior mínimo mensal	16° N	5,05	5,3	5,41	5	5,63	5,84	5,03	6,24	6,02	5,88	5,6	5,14

Fonte : Adaptado de (Sundata/CRESESB,2018)

A partir do banco de dados disponibilizados pela CRESESB, é possível determinar o ângulo de orientação dos módulos fotovoltaicos para que se tenha uma melhor

produção de energia com o um maior aproveitamento da radiação solar incidente no local.

Segundo Veras (2017) apud (MIRANDA,2014; ELETROSOL, 2015; SANTOS, 2016). Em sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*on-grid*), o índice solarimétrico utilizado deve ser aquele referente a maior média anual da irradiação diária média mensal.

Ao analisar a figura 8, é possível notar que a maior média anual equivale a 5,70 kWh/m².dia, sendo obtida para um ângulo de incidência solar de 4°N. Entretanto, este ângulo não é adotado como mostra a tabela 1. Além disso, salienta-se que para instalações de sistemas fotovoltaicos não é indicado um ângulo de inclinação menor do que 10°, pois prejudicaria na limpeza e manutenção dos módulos (MIRANDA, 2014).

Tomando como base a recomendação de Miranda (2014) foi aplicado no calculo, um ângulo de 10° de inclinação nos módulos fotovoltaicos, para que se tenha um melhor aproveitamento da radiação solar incidente, como mostra a tabela 1, de acordo com a equação (4.1).

$$\beta = 3,7 + 0,69 \cdot 10 = 10,6 \quad (4.1)$$

Para a estimativa da produção de energia gerada pelo sistema fotovoltaico, usa-se como parâmetro o indicativo conhecido como, Horas de Sol Pleno (HSP). Esta grandeza mostra o número de horas equivalentes por dia em que a radiação solar permanece constante e igual a 1 kW/m² (1.000W/m²), de modo que a energia resultante seja igual à energia disponibilizada pelo sol, acumulada ao longo de um dado dia (GTES, 2014).

4.3.3- Dimensionamento do gerador fotovoltaico

Para este dimensionamento, considerou-se uma taxa de desempenho de 100% para o sistema. Assim, a potência instalada do sistema fotovoltaico para suprir integralmente o consumo de energia da unidade consumidora e calculado a partir da equação (4.2), a potência do sistema fotovoltaico para atender o consumo médio de 1501 kWh será:

$$PFV = \frac{1501}{4,91 \cdot 30} = 10,25 \quad (4.2)$$

Portanto, a potência instalada calculada previamente atenderia a necessidade energética do sistema em análise, enquadrando-se em unidade geradora na categoria de microgeração distribuída, com potência instalada menor ou igual a 75 kW (ANEEL, 2015).

Os módulos utilizados no gerador solar fotovoltaico são da marca QXPV, do tipo policristalino, cuja a potência nominal de cada módulo é de 250Wp. Com essas informações pode-se calcular a quantidade de painéis necessária para atender a potência de 10,25 kWp do sistema. A partir da equação (4.3), a quantidade de módulos para suprir a necessidade do sistema será:

$$N_{mod} = \frac{10250 W}{250 W} = 41 \quad (4.3)$$

4.3.4 Dimensionamento do inversor

Para esta unidade em estudo foram necessários um total de 41 módulos para suprir uma demanda do consumo total da conta de energia. Logo, o inversor utilizado foi ST 12.000TL da B & B. Na Figura 10, modelo do inversor, são apresentados os dados técnicos do referido equipamento.

Figura 10: Modelo do inversor

Modelo de Inversor		12 KW ST 12000 TL
Entrada (CC)		
Potência máxima	12120 W	
Tensão máxima	1000 V	
Faixa de tensão MPPT / T. nominal	380-800 V / 610 V	
Tensão de deslig. / Tensão de partida	160 / 200 V	
Número MPPT / Stings por MPPT	2 / 2	
Saída (CA)		
Potência nominal CA	12 KW	
Potência aparente máxima CA	12 KVA	
Tensão nominal CA	3f/N/T 220 V/ 380 V	
Faixa de tensão de operação	176 V - 242 V	
Corrente máxima de saída	19 A	
Frequência de rede CA	60 Hz	
Eficiência		
Máxima eficiência	98,00%	
Euro eficiência	97,30%	
MPPT eficiência	99,90%	

Fonte : adaptado, Suntech energia solar (2018)

Logo, para saber se o inversor tem a capacidade de processar essa potência, deve-se considerar o FDI, que é a relação entre a potência do inversor e do gerador, conforme a equação (4.4).

$$FDI = \frac{12 KW}{10,25 KW} = 1,17 \quad (4.4)$$

O fator de dimensionamento do inversor (FDI) para esta situação é de aproximadamente 1,17, ficando dentro dos limites estabelecidos na equação (4.5). Portanto, o inversor utilizado está entre 70% a 120% da potência de pico do gerador fotovoltaico, como detalhado na subseção 4.2.

$$0,7 < 1,17 < 1,2 \quad (4.5)$$

4.3.5 - Geração de energia do sistema fotovoltaico conectado à rede

A estimativa de geração de KWh/mês, foi determinado a partir do dimensionamento do sistema conforme mostra os cálculos das equações 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4. Este dimensionamento foi feito levando em consideração o consumo anual da unidade consumidora, que resultou em uma média de consumo mensal estipulada em 1501 kWh/mês, como mostra a tabela 2.

Através da tabela 3. A seguir é possível notar que a energia gerada ficou mais próxima da meta nos meses de dezembro e janeiro, isso já era esperado devido valores de HSP, serem mais elevados. Enfatizando que, nos meses de novembro de 2017 e maio de 2018, para a execução dos cálculos, foram considerados somente os dias de utilização do sistema, já que o mesmo iniciou sua operação no dia 11 de novembro de 2017, tendo como data final de coleta de dados para este trabalho, o dia 15 de maio de 2018, o que explica a redução dos valores de estimativa de geração para o período, como mostra a tabela supracitada.

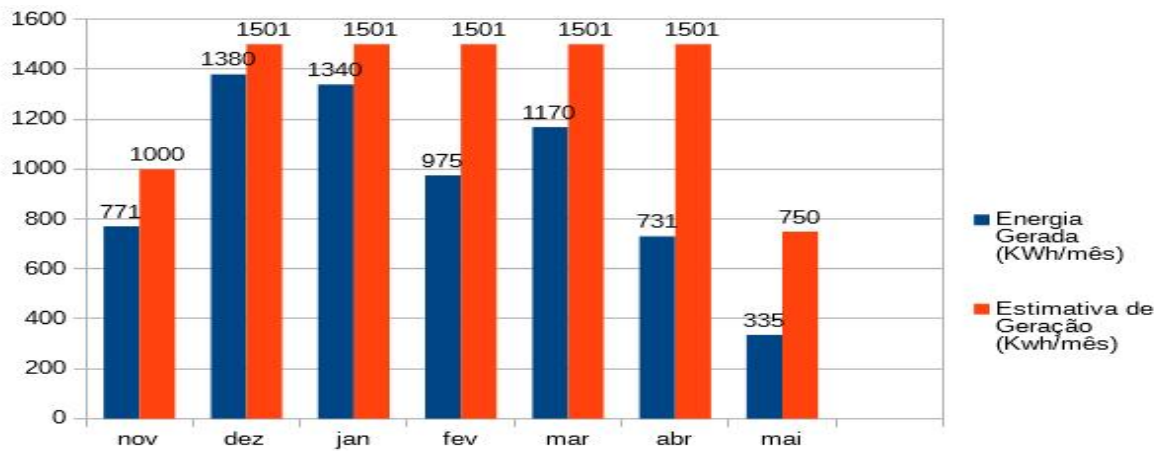
Tabela de Valores				
Mês 2017 / 2018	HSP Hora / Dia	Energia Gerada (KWh/mês)	Estimativa de Geração (Kwh/mês)	% Alcançada
nov	6,18	771	1000,0	77,10
dez	5,77	1380	1501,0	91,94
jan	5,6	1340	1501,0	89,27
fev	5,66	975	1501,0	64,96
mar	5,56	1170	1501,0	77,95
abr	4,92	731	1501,0	48,00
mai	5,33	335	750,0	44,67
Média				80,2

Tabela 3: Valores e estimativa

Fonte: Autoria própria

A Figura 11, a seguir, apresenta o gráfico da geração de energia estimada em cada mês frente ao respectivo valor gerado.

Figura 11: Gráfico de análise da estimativa



Fonte: Autoria própria

A Figura 12, a seguir, apresenta o gráfico eficiência de geração de energia gerada pelo sistema referente a cada mês, como demonstrado na Tabela 3.

Figura 12: Eficiência de geração de energia

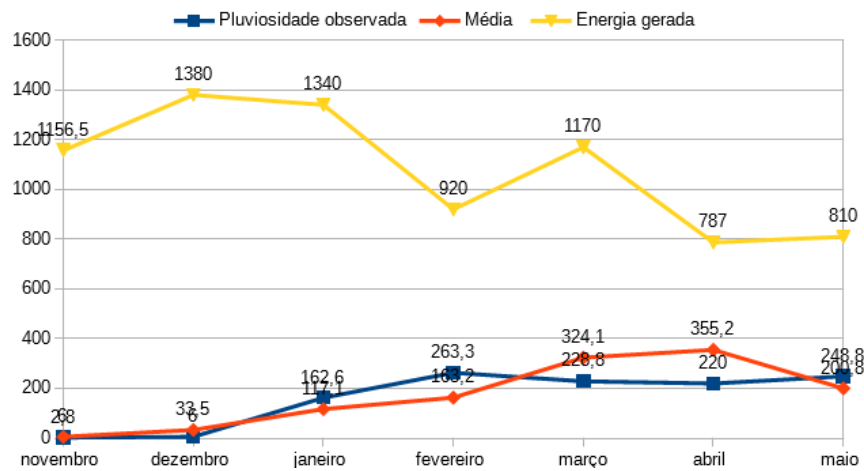


Fonte: Autoria própria

Nota-se que em nenhum momento ocorre uma produção energética que gere um percentual maior do que 100%, isto é, uma energia gerada além da demanda pela unidade em análise, fato este que, de acordo com a REN 687/2015, acarretaria em uma geração de crédito de energia para a unidade consumidora para uso posterior, objeto já explicitado na introdução deste trabalho. A figura 13 abaixo demonstra os índices pluviométricos da região para o

período em análise, apontando indícios de que a pluviosidade seja um fator influenciador no rendimento do sistema, já que as curvas, pluviosidade e energia gerada, tem comportamento inversamente proporcional.

Figura 13: Pluviosidade do período



Fonte : adaptado, de Funceme (2018)

. 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um estudo de caso de um sistema fotovoltaico ligado à rede elétrica convencional, comparando o rendimento de geração de energia do sistema aos valores dimensionados em projeto. Inicialmente, foram apresentadas noções teóricas acerca do funcionamento de uma unidade de produção de energia solar fotovoltaica, bem como a respeito do rendimento real do sistema.

Com a realização deste trabalho, através de pesquisa literatura existente sobre a temática, pôde-se aprofundar o conhecimento acerca da tecnologia dos sistemas fotovoltaicos existentes na contemporaneidade e saber que os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica *on-grid*, apresentam características vantajosas como redução de investimentos de em linhas de transmissão além de ter como matéria prima um recurso inesgotável e livre de emissão de gases poluentes.

Com os dados da pesquisa observou-se diferenças significativas na geração de energia elétrica em relação ao estimado. Fato este que ocorre devido as interferências climáticas, como observado na figura 13, em que os índices de energia gerada variam inversamente proporcional a pluviosidade do período, dado esse atribuído ao fato da pesquisa ter sido observada na estação chuvosa da região onde ha durantes esses meses mais chuvosos uma forte alternância entre sol e nuvens.

Pode-se concluir que ao longo do ano a periodicidade desta interferência trará vantagens ao sistema, atrelando-se ao fato de que, o Ceará e Nordeste em geral tem sua localização privilegiada em relação a radiação solar onde a maior intensidade do potencial solar ocorre de setembro a novembro, período que coincide com a estação seca, justamente quando a geração hídrica é menor. A complementariedade neste sentido torna-se fator relevante e bastante significativa.

Por fim, observou-se que o rendimento médio do sistema alcançou 80,18% do estimado, como apresentado na figura: 12 obtendo-se, portanto, uma efetividade média mensal de 1.117,00 KW/h, a unidade consumidora.

. REFERÊNCIAS

1. ALVES, J. E. Diniz, **Estrutura etária, bônus demográfico e população economicamente ativa no Brasil**, Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2012/03/12/o-crescimento-da-demanda-de-energia-no-mundo-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>>. Acesso em: 26 junho. 2018.
2. AMERICA DO SOL, **Potencial solar no Brasil**. Disponível em: <<http://americadosol.org/potencial-solar-no-brasil/>>. Acesso em: 22 março. 2018.
3. ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica - **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 3ed., Brasília – DF, Brasil, 2008.
4. ANTÔNIO, M. Vallêra; Miguel Centeno Brito. **Meio Século de História Fotovoltaica**: Gazeta de Física, 2006.
5. BRASIL, disponível em: <<http://www.brasilecola.com/quimica/formas-obtencao-energia.htm>>. acesso em 20/04/2018.
6. CÂMARA, C. Fernando. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**: Lavras – Mg (2011).
7. CARVALHO D. M.- **Análise e Caracterização Energética de Sistema Fotovoltaicos de Baixa Potência com Ligação à Rede Elétrica** (2011).
8. COELHO, R. Francisco. **Estudo dos Conversores Buck E Boost Aplicados Ao Rastreamento de Máxima Potência de Sistemas Solares Fotovoltaicos**. Dezembro/2008.
9. CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.
10. D'ISEP, Clarissa Ferreira Macedo; NERY JR, Nelson; MEDAUAR, Odete. **Políticas Públicas Ambientais. Estudos em homenagem ao Professor Michel Priour**. São Paulo: Revista dos Tribunais. 2009.
11. EPE, **Balço Energético Nacional 2013**: Ano base 2012 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2013.
12. FOTOVOLTAICA, Associação Brasileira de Energia Solar. **Brasil deverá ultrapassar a marca de 2GW: BRASIL DEVE ATINGIR 2GW DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA ATÉ O FINAL DE 2018**. 2018. Jornal da Instalação. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/brasil-deve-atingir-2gw-de-geracao-de-energia-solar-fotovoltaica-ate-o-final-de-2018.html>>. Acesso em: 05 junho. 2018.

13. GIL, Antônio Carlos, - **Como elaborar projetos de pesquisa**, Antônio Carlos Gil. - 4. ed. - São Paulo : Atlas, 2002.
14. GREENPRO, **Manual sobre Tecnologias**, Projeto e Instalação, Jan.2004.
15. MACHADO, C. T.; Miranda, F. S, **Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão** Rev. Virtual Quim., 2015.
16. MARTINS, Nuno Miguel Pereira.**Incorporação de Micro Inversor em Módulos Fotovoltaicos**:Mestrado em Engenharia Electrónica e Telecomunicações. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Electrónica e Telecomunicações, Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.
17. MAYCOCK, 1981; TREBLE, 1991. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil**: Panorama da Atual Legislação, Outubro de 2009 Campinas/SP.
18. MIRANDA, A. B. C. M. **Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede**. 2014. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2014.
19. NAKABAYASHI, Renny. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. São Paulo.2014.
20. PINHO, J. T.; Galdino, A. **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL–CRESESB, 2014.
21. PROENÇA, E. Dâmaso Rodrigues Brinquete. **A Energia Solar Fotovoltaica em Portugal Estado-da-Arte e Perspectivas de Desenvolvimento**. agosto de 2007.
22. Resolução Normativa 687/2015. 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2018.
23. RÜTHER, R. Edifícios solares fotovoltaicos: **o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: UFSC / LABSOLAR, 2004.
24. SAMPAIO, Victor Bruno Ribeiro. **Geração distribuída: normas vigentes, dimensionamento e análise de payback de sistemas solares fotovoltaicos**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
25. SANTANA, Fernanda Pereira da Silva; ANDRADE, Valcimar Silva de. **DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O PRÉDIO DE ENSINO DE UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA EM GOVERNADOR VALADARES**. 2014. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão Ambiental, Instituto Federal de Minas Gerais, Governador Valadares, 2014.
26. SANTOS, Johnantan Oliveira dos. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede**

Elétrica: Um Estudo de Caso. 2016. 174 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará Campus de Sobral, Sobral, 2016.

27. SAUER, Camila. **Análise de viabilidade econômica para instalação de microgeradores fotovoltaicos conectados à rede distribuidora (on grid) - análise de payback.** 2015. 60 f. Monografia) -Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa, 2015.

28. SHAYANI, Rafael Amaral. **Medição do rendimento global de um sistema Fotovoltaico isolado utilizando módulos de 32 células.** 2006. 225 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

29. SIQUEIRA, L. M. P. **Viabilidade da microgeração de energia elétrica em residências por um sistema composto por painéis fotovoltaicos conectados a rede.** 2013.

30. SMA. "Performance Ratio. **Fator de qualidade para o sistema fotovoltaico,** SMA Solar tecnologia, manual de informações técnicas . AG, 2010.

31. SUNTECH. <http://solar.energiawise.com.br/>, Acesso em: 22 março. 2018.

32. TOLMASQUIM, Maurício Tiomno - **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica** – EPE: Rio de Janeiro, 2016.

33. VERAS, C. K. Oliveira, **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede na Fazenda Mirassol, 2017.** Engenharia de Energias da Universidade da Integração da Lusofonia Afro- Brasileira, Redenção, 2017.