



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA
DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CEC AU**



THIAGO DE SALLES BONATTO

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE RETORNO DO INVESTIMENTO DE UMA
USINA DE GERAÇÃO SOLAR RESIDENCIAL**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

**OURO PRETO
2019**

THIAGO DE SALLES BONATTO

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE RETORNO DO INVESTIMENTO DE
UMA USINA DE GERAÇÃO SOLAR**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

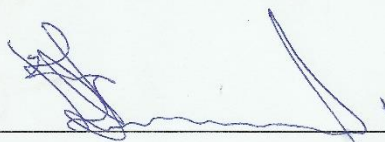
Orientador: Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro

Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
Julho/ 2019

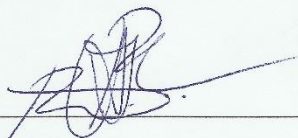
Monografia intitulada "Dimensionamento e análise de retorno do investimento de uma usina de geração solar residencial" defendida e APROVADA, em 11 de julho de 2019, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Orientador



Prof. M. Sc. Diógenes Viegas Mendes Ferreira – Professor Convidado



Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Rei – Professor Convidado



Prof. Dr. Wolmar Araújo Neto – Professor Convidado

RESUMO

A eletricidade se tornou uma das maiores e mais importantes descobertas do homem, impactando diretamente na economia de uma nação e no desenvolvimento de seus habitantes. No Brasil, a geração elétrica por meio das usinas hidrelétricas ainda é a principal fonte de energia, porém, o país vem aumentando a passos longos nos últimos anos a capacidade instalada de energia solar. A resolução normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estabeleceu condições para o acesso da microgeração e minigeração distribuída aos sistemas elétricos e o sistema de compensação elétrica, onde a unidade geradora solar envia para a rede da concessionária a energia que ela não utiliza e ganha créditos para consumos em meses do ano de pouca geração. O presente estudo analisou a viabilidade da implantação de um sistema solar fotovoltaico para uma unidade consumidora residencial na cidade de Colatina – ES. No dimensionamento do projeto foi levado em consideração a incidência de raios solares mensal, utilizando dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESCESB), o SunData para calcular a irradiação solar do local e a quantidade de energia consumida em todo ano de 2018 através do levantamento histórico das faturas de energia elétricas na concessionária local. A capacidade de geração solar projetada foi de 3,3 kWh, 4.512 kW anual de geração. O valor do projeto foi de R\$19.854,00 e o tempo de retorno do investimento foi de 5 anos, 6 meses e 16 dias. Considerando uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 5%, a Taxa Interna de Retorno (TIR) do sistema foi de 21%.

Palavras-Chaves: Energia solar, Sistema solar fotovoltaico, Geração distribuída.

ABSTRACT

Electricity has become one of man's biggest and most important discoveries, directly impacting a nation's economy and the development of its people. In Brazil, electricity generation through hydroelectric power plants is still the main source of energy, however, the country has been increasing its installed capacity for solar energy by recent years. Resolution No. 482 of the National Electric Energy Agency (ANEEL) established conditions for the access of microgeneration and distributed minigeration to the electric systems and the electric compensation system, where the solar generating unit sends to the concessionaire's network the energy that it does not use and earn credits for consumption in months of the low-generation year. The present study analyzed the feasibility of the implantation of a solar photovoltaic system for a residential consumer unit in the city of Colatina - ES. The design of the project was taken into consideration the incidence of monthly solar rays, using data from the Solar and Wind Energy Reference Center Sérgio de Salvo Brito (CRESCESB), the SunData to calculate the solar irradiance of the place and the amount of energy consumed in every year through the historical survey of electric energy bills at the local concessionaire. The projected solar generation capacity was 3.3 kWh, 4,512 kW annual generation. The value of the project was R \$ 19,854.00 and the time of return of the investment was 5 years, 6 months and 16 days. Considering a Minimum Attractiveness Rate (TMA) of 5%, the Internal Rate of Return (IRR) of the system was 21%.

Keywords: Solar energy, Photovoltaic solar system, Distributed generation.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede e isolados	13
Figura 2 – Sistemas Fotovoltaicos Domiciliar	14
Figura 3 – Esquema dos componentes de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	15
Figura 4 – Demonstração do sistema de compensação de energia elétrica	16
Figura 5 – Célula fotovoltaica de Silício Policristalino e Monocristalino	21
Figura 6 – Vista aérea do local de estudo	22
Figura 7 – Dados de Irradiação Solar do município de Colatina – ES	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelo de apresentação dos dados irradiação solar	18
Tabela 2 – Informações técnica do módulo fotovoltaico CS3U-365MS	32
Tabela 3 – Informações técnicas do inversor	33
Tabela 4 – Orçamento de acordo com a pesquisa comercial no mercado Solar	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Irradiação solar diária média mensal da cidade de Colatina – ES	31
Gráfico 2 – Relação energia consumida x energia estimada	34
Gráfico 3 – Fluxo de caixa acumulado do Sistema Fotovoltaico Dimensionado	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1 Energia Solar Fotovoltaica	12
2.1.1 Sistemas Fotovoltaicos Isolados ou Autônomos	13
2.1.2 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	14
2.2 Sistema de Compensação de Energia Elétrica	16
2.3 Irradiação Solar e Disponibilidade no Brasil	17
2.4 Custo da Energia Solar	19
2.4.1 Comparação de preço pelo custo de implantação por unidade de potência	19
2.4.2 Comparação de preço pela energia gerada durante a vida útil do sistema	19
2.5 Tecnologias Disponíveis	20
3 METODOLOGIA	22
3.1 Local do estudo	22
3.1.1 Irradiação solar do local	22
3.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico ligado à rede	23
3.3 Dimensionamento do gerador fotovoltaico	24
3.4 Seleção do módulo e estimativa do número necessário de módulos	25
3.5 Cálculo da potência corrigida do sistema	25
3.6 Verificação da tensão dos módulos para diferentes condições de funcionamentos	25
3.7 Cálculo da tensão para as temperaturas extremas do módulo (-10°C e 70°C)	26
3.8 Seleção do inversor	26
3.9 Configuração do painel compatível como inversor	28
3.10 Viabilidade econômica do sistema	29
4 RESULTADOS	31

4.1 Dados de Irradiação Solar-----	31
4.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico interligado a rede -----	32
4.3 Energia Gerada x Energia Consumida-----	33
4.4 Investimento -----	34
4.5 Viabilidade do sistema -----	35
4.6 Análise das configurações do sistema -----	36
5 CONCLUSÃO -----	37
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	39

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de toda a história da humanidade, o homem sempre inventou ou descobriu recursos que pudessem facilitar a sua vida, seja ele no campo da agricultura, medicina, comércio, entre outros, aumentando o seu conforto e longevidade. A partir desses fatos, a densidade populacional na terra vem aumentando e a procura por mais recursos energéticos também, de modo a conseguir acompanhar a sua crescente evolução. Com isso, de acordo com o trabalho de Freitas e Dathein (2013), a crescente preocupação com as questões ambientais e a conscientização mundial sobre a promoção do desenvolvimento em bases sustentáveis vem estimulando a realização de pesquisas de desenvolvimento tecnológico que visam à incorporação dos efeitos da aprendizagem e a consequente redução dos custos de geração dessas tecnologias.

A nova ordem mundial nesse século é a busca pela alto-suficiência em geração de energia, juntamente com uma diversidade da matriz energética, ou seja, a procura por diferentes fontes de energia alternativas (energia renovável), que supram a demanda interna dos países aliada com a necessidade de preservação do meio ambiente e a redução na emissão dos gases do efeito estufa (PACHECO, 2006).

As energias renováveis são fontes de energia que são geradas a partir de processos e recursos naturais que são continuamente reabastecidos em uma escala de tempo humana, isto é, estão sempre se renovando. (PORTAL SOLAR, 2019). Dentre as principais fontes de energia alternativa que estão sendo desenvolvidas, se destacam a energia eólica, energia geotérmica, energia das marés, energia hídrica (água) e principalmente a energia solar, que é uma das mais eficientes e de impacto ambiental quase nulo.

Segundo Nascimento (2017) o Brasil possui um expressivo potencial para geração de energia elétrica a partir da energia do sol, contendo níveis de irradiações solares muito maiores que países onde projetos e investimentos na energia solar são amplamente disseminados, como Alemanha, Espanha e França. Nascimento ainda salienta, que apesar dos altos níveis de irradiação solar no território brasileiro, o uso dessa fonte para a geração de energia elétrica não apresenta a mesma relevância que outros países, nem mesmo quando se comparado a outras fontes renováveis, como eólica e a biomassa, a primeira representa 6,7% e a segunda 9,4% da capacidade de geração instalada no país, enquanto a fonte solar representa 0,05%.

Porém, o Brasil deve ter um salto de 44% na capacidade instalada de energia solar em 2019, o que levaria o país à marca de 3,3 gigawatts (GW) da fonte em operação, de acordo

com Rodrigo Sauaia, presidente da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar). Segundo a Absolar, o ano também deve marcar uma virada no mercado solar brasileiro, com a expansão puxada pela primeira vez da chamada geração distribuída, em que placas solares em telhados ou terrenos geram energia para atender à demanda de casas ou estabelecimentos comerciais e industriais das regiões próximas. Os projetos de geração distribuída (GD) deverão acrescentar 628,5 megawatts (MW) em capacidade solar no país, um aumento de 125% (ESTADÃO, 2019).

A resolução normativa nº 687 de novembro de 2015, alterou a resolução normativa nº 482 de abril de 2012, ficando assim autorizada a implementação de unidades de geração de energia elétrica por investidores em geral no sistema de compensação de energia elétrica.

Dessa forma, consegue-se implantar gerações de energia fotovoltaica associadas a unidades de geração hídrica, eólica e fóssil. Um dos principais argumentos negativos à usina fotovoltaica é o da não produção de energia elétrica no período noturno ou a baixa produção em dias chuvosos e nublados. Devido a isto, a solução encontra-se na associação com outros tipos de fontes energéticas que possibilita a construção de plantas de produção mais sólidas (FERNANDES, 2018).

Diante dessas circunstâncias, a utilização de painéis fotovoltaicos com o conceito de geração distribuída (GD), pode ser muito benéfico a áreas mais remotas e distante dos grandes centros. Painéis solares podem ser instalados no teto das casas ou galpões, e a energia do sol é gratuita e renovável. Contudo, a instalação desses painéis ainda é de custo elevado e seu retorno pode levar anos. Destarte, com o crescente aumento de investimentos nos projetos desse tipo de geração de energia, aliados à necessidade da conservação do meio ambiente, pode-se fazer com que os preços reduzam, e com isso o incentivo para seu uso se torne muito maior, visto que é uma fonte de geração limpa e não centralizada.

O objetivo deste trabalho é a análise de investimento da implantação de microgeração de energia fotovoltaica de uma residência situado na cidade de Colatina – ES. Será analisado o valor da instalação dos painéis fotovoltaicos, a incidência de raios solares, o tempo de retorno do investimento e a diferença entre a energia produzida e a energia consumida desta residência em todos os meses do ano de 2018.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Energia Solar Fotovoltaica.

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão de luz em eletricidade, é uma das energias renováveis que mais vem sendo utilizado no mundo, e para muitos especialistas é o futuro da geração de energia elétrica (RUTH, 2004). A unidade fundamental desse processo de conversão é a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor (SANTOS, 2016).

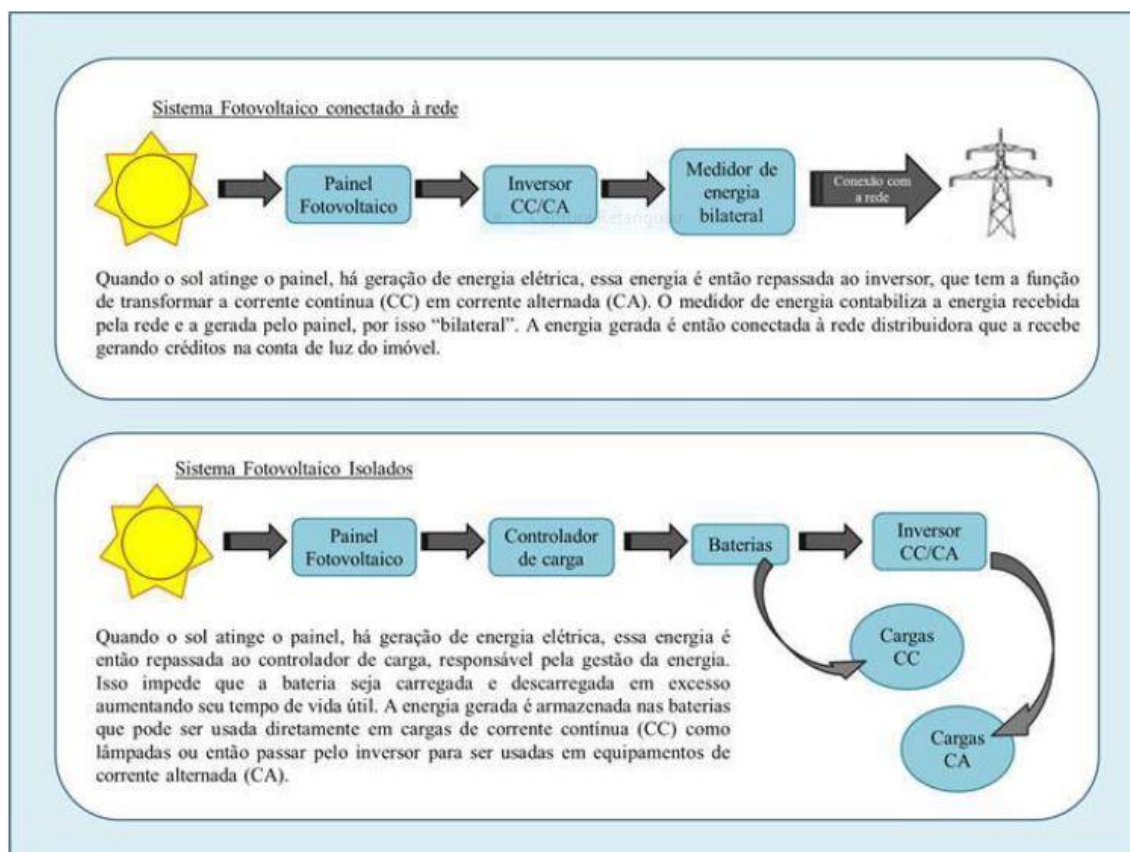
De acordo com Torres (2012), as principais vantagens desse modelo de geração elétrica são:

- 1) é obtida de forma estática e silenciosa, dessa forma, quando operado, não gera impactos ambientais;
- 2) é totalmente renovável;
- 3) em termos logísticos, a alternativa é excelente, uma vez que esse tipo de energia é facilmente adaptado a microgeração distribuída, ou seja, junto ao local de consumo, minimizando dessa forma os custos com distribuição e transmissão da eletricidade;
- 4) possui característica modular, sua geração vai desde mW (miliwatt) até MW (megawatt);
- 5) curtos prazos de instalação, elevado grau de confiabilidade dos sistemas e baixa manutenção.

Desde a aprovação da Resolução nº 482 da ANEEL em dezembro de 2012, os sistemas fotovoltaicos podem ser ligados a rede elétrica, dando com isso uma maior viabilidade para o consumidor final (MACHADO E MIRANDA, 2014).

O esquema a seguir, mostra um esquema de como funciona cada tipo de sistema fotovoltaico. A primeira parte do esquema mostra o sistema conectado à rede da concessionária elétrica, enquanto o segundo esquema refere-se a sistemas isolados que funcionam de forma independente e são utilizados principalmente em regiões remotas ou embarcações (MACHADO E MIRANDA, 2014).

Figura 1 – Esquema dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede e isolados.



Fonte: MACHADO e MIRANDA (2014).

2.1.1 Sistemas Fotovoltaicos Isolados ou Autônomos

Também conhecidos como sistemas off grid, os sistemas fotovoltaicos isolado são designados para aplicações nas quais a energia convencional não está disponível, seja por restrições técnicas e ambientais ou por desinteresse comercial das concessionárias distribuidoras de energia elétrica (BENEDITO, 2009).

Esse tipo de sistema fotovoltaico é composto basicamente por um arranjo fotovoltaicos, um inversor, uma caixa contendo elementos de proteção, um controlador de carga e um banco de baterias (BENEDITO, 2009).

A Figura 2, representa um Sistema Fotovoltaico Domiciliar (SFD), que representa um tipo de Sistema fotovoltaico isolado.

Figura 2 – Sistemas Fotovoltaicos Domiciliar.



Disponível em: www.amzsolar.com.br

Esse tipo de tecnologia possui as mais diversas aplicações, não se restringindo apenas a SFD. Dentre essas aplicações, destacam-se, a sua utilização em iluminação pública, telecomunicações, sinalização marítima e de estradas, refrigeração, bombeamento de água, telefones de emergência, estações espaciais, entre outras.

Dentre as principais vantagens destes sistemas, está a autossuficiência energética que também é uma forma de segurança, onde as falhas na rede da concessionária, em teoria, acabam não afetando. E uma de suas desvantagens, estão nas baterias, que possuem um alto custo e limite de armazenamento (GUIMARÃES, 2015).

2.1.2 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) é um gerador fotovoltaico, gerando energia elétrica pela radiação solar, com a aplicação conectado à rede elétrica da concessionária local. É também conhecido como sistema on grid (ROSA, CSR ENERGIA SOLAR, 2017).

Na composição básica de um SFCR, temos os módulos solares e o inversor interativo, que é conhecido internacionalmente como *grid-tied interactive inverter*. Além desses componentes básicos, existem os componentes de integração do sistema (chamados

internacionalmente de *balance of system* – BOS), que são as estruturas de fixação dos módulos fotovoltaicos e componentes elétricos de proteção (ROSA, CSR ENERGIA SOLAR, 2017).

O esquema abaixo, representa os componentes de um SFCR.

Figura 3 – Esquema dos componentes de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.



Disponível em: www.csrenergiasolar.com.br

O trabalho de Rosa (CSR ENERGIA SOLAR, 2017), descreve o funcionamento de um SFCR: o inversor interativo recebe a energia gerada pelos módulos solares, em corrente contínua (CC), e a transforma em energia elétrica de corrente alternada (CA), com forma de onda igual à energia elétrica fornecida pela rede elétrica da concessionária local. O inversor interativo injeta no quadro geral da unidade consumidora (residência, por exemplo) toda a energia gerada. Com isso, essa energia alimentará a rede como um todo. O inversor controla e alterna automaticamente o fornecimento de energia solar e a energia elétrica convencional, conforme a demanda e condições de ausência de irradiação solar, permitindo a operação e atendimento a demanda a todo momento.

A principal vantagem de um SFCR, está na utilização da rede da concessionária elétrica como o acumulador de energia (banco de baterias) em forma de créditos energéticos. Com isso possibilitou a otimização de recursos, eliminando o banco de bateria, que em muitos casos representavam de 20% a 60% do investimento. Sua principal desvantagem, em comparação com um sistema fotovoltaico autônomo, é a não utilização de acumulador de energia com banco de baterias. Como não há armazenamento, devido à forma como os inversores interativos

devem se comportar no caso de falta de energia na rede (em caso de apagão), a unidade consumidora (o imóvel) que possui apenas o SFCR ficará sem energia.

Uma vez que, para evitar acidentes com os técnicos das distribuidoras no caso de manutenção externas, os inversores devem se desligar automaticamente (ROSA, CSR ENERGIA SOLAR, 2017).

2.2 Sistema de Compensação de Energia Elétrica

O artigo 1º da Resolução Normativa (REN) 687/2015 define sistema de compensação de energia elétrica aquele no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa (MARTINS, 2018) conforme ilustra a figura 4.

Figura 4 – Demonstração do sistema de compensação de energia elétrica.



Fonte: (ANEEL,2016)

Quando a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos da unidade consumidora for maior que a energia consumida por essa unidade ao longo de um mês, o consumidor receberá um crédito em energia (KWh), válido por 60 meses e que poderá ser utilizado em outra unidade previamente cadastrada dentro da mesma área de concessão. Esse crédito de energia pode ser

abatido no consumo em outro ponto tarifário ou na fatura dos meses subsequentes para os demais consumidores (ANEEL, 2016).

Porém, mesmo com saldo positivo, o consumidor conectado em baixa tensão (grupo B) terá a despesa de uma tarifa mínima mensal, despesa essa que é referente ao custo de disponibilidade da rede elétrica, 30 Kwh para sistemas monofásicos, 50 Kwh para sistemas bifásicos ou 100 Kwh para sistemas trifásicos. De maneira análoga, para consumidores conectados em alta tensão (grupo A), o valor da fatura será a demanda contratada (ANEEL, 2016).

De acordo com a Resolução Normativa nº 687 da ANEEL, a geração compartilhada é caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possui unidade consumidora de micro ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada (MARTINS, 2018).

Vale ressaltar que a compensação de energia é primeiramente realizada na unidade de geração, se ainda houver excedente, um percentual dos créditos poderá ser utilizado para abater o consumo de outras unidades escolhidas pelo consumidor. Para o caso de autoconsumo remoto e geração compartilhada, a energia excedente é a diferença positiva entre a energia injetada e a energia consumida (ANEEL, 2016).

2.3 Irradiação Solar e Disponibilidade no Brasil

Por estar localizado em uma zona intertropical, o Brasil tem a vantagem de registrar altos índices de irradiação solar durante todo o ano, quando comparado com outros países que já fazem uso dessa tecnologia (TORRES, 2012). De acordo com a CRESESB (s.d.), a potência instantânea incidente na superfície terrestre pode atingir valores superiores a 1000 W/m², no Brasil incidem diariamente entre 4KWh/m² a 5KWh/m².

O sol transfere a nosso planeta a radiação eletromagnética, conhecida como radiação solar. Porém, apenas uma parcela dessa radiação atinge a superfície terrestre, o que corresponde aproximadamente 1×10^{18} KWh/ano, valor utilizado para calcular o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos (PEREIRA; OLIVEIRA, 2015).

O Atlas Brasileiro de Energia Solar é a referência em dados para a avaliação da disponibilidade de irradiação solar. Uma outra instituição exclusiva para fornecimento de informações e dados sobre a irradiação solar é a CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito), que atua por meio do SunData.

O CRESESB é um centro de referência com o objetivo de promover o desenvolvimento das energias solar e eólica através da difusão de conhecimentos, ampliação de diálogo entre as entidades envolvidas e o estímulo à implementação de estudos e projetos. Como ferramenta de fornecimento de dados sobre a irradiação solar, o SunData é um programa que busca no banco de dados CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar), valores de radiação média diária mensalmente no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil e em países limítrofes. Para obter informações sobre a radiação solar global diária mensal de uma localidade, basta entrar com as coordenadas geográficas em graus decimais (SANTOS, 2016).

Os dados são apresentados no seguinte formato:

Município:

Estado:

Latitude: XX,XX° N|S

Longitude: XX,XX° O

Distância do ponto de ref. (XX,XX° N|S; XX,XX° O): XX,X Km

Tabela 1 – Modelo de apresentação dos dados irradiação solar.

		Irradiação diária média [kwh/m2.dia]													
Ângulo	Inclinação [°]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Ângulo igual a latitude	XX	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx
Maior média anual	XX	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx
Maior mínimo mensal	XX	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx

Fonte: (CRESESB, 2018).

No título da tabela 1, é mostrado o nome da localidade, o estado da federação (ou o país a que pertence, caso não seja do Brasil), suas coordenadas geográficas e a distância, em quilômetros, em linha reta do ponto de interesse pesquisado. Os dados da tabela 1 mostram a irradiação solar diária média mensal (KWh/m² dia) para todos os meses do ano, contabilizando a partir de janeiro. Também são mostrados, o valor da menor irradiação diária média mensal (Mínimo), da maior irradiação diária média mensal (Máximo), da irradiação diária média anual (Média) e da diferença entre a máxima e mínima (Delta) (SANTOS, 2016).

Segundo o trabalho de Santos (2016), o maior aproveitamento da energia solar é obtido pela inclinação de um módulo em ângulo igual à latitude local e orientado ao norte em virtude da inclinação do eixo terrestre em relação à Órbita solar. Dessa forma, o potencial de geração dos módulos fotovoltaicos é diretamente influenciado pela sua inclinação, podendo acarretar em perdas. Santos (2016), ainda afirma que devido a esse motivo, é de suma importância que o

projeto considere a posição mais favorável para o módulo em termos arquitetônicos e também de potência de geração.

2.4 Custo da Energia Solar

3.4.1 Comparação de preço pelo custo de implantação por unidade de potência

De acordo com o trabalho de Shayani, Oliveira e Camargo (2006), a análise mais simples de ser feita, é a comparação das fontes de energia através de seu custo de implantação por unidade de potência.

Um estudo publicado pelo Programa de Sistema Fotovoltaicos de Potência da Agência Internacional de Energia, confirmou que os preços estão se reduzindo com o passar dos anos e indicou que os sistemas isolados tendem a custar o dobro quando comparados com sistemas conectados à rede. Em 2004, sistemas isolados de até 1 KW apresentavam variação de preço de 9 a 25 U\$/W, sendo o valor típico em torno de 13 U\$/W. Para sistemas conectados à rede os valores chegavam a 6 U\$/W. Essa diferença de valor se dá ao uso de baterias para armazenamento de energia nos sistemas fotovoltaico isolados (IEA-PVPS, 2006).

Outra conta que costuma ser realizada quando essa comparação é feita, é a capacidade de geração de energia em um dia. Um sistema dotado de fonte não intermitente pode gerar energia durante 24 horas por dia, enquanto que um sistema fotovoltaico de mesma potência instalada pode gerar, dependendo de sua localização geográfica, uma média de 6 horas equivalente de potência nominal ao longo do dia. Dessa forma, para que o sistema fotovoltaico possa produzir a mesma quantidade de energia em um dia, se comparado a uma fonte intermitente, ele deve ter sua potência aumentada em 4 vezes, o que eleva seu custo de implantação para 52 U\$/Wpico (13×4), considerando o sistema fotovoltaico isolado (SHAYANI; OLIVEIRA E CAMARGO, 2006).

2.4.2 Comparação de preço pela energia gerada durante a vida útil do sistema

Com o intuito de fazer uma comparação mais fiel na real diferença de preço entre a energia solar e as outras fontes, Shayani, Oliveira e Camargo (2006), utilizou exclusivamente critérios técnicos, desconsiderando efeitos ambientais, sociais e demais fatores. A seguinte metodologia foi utilizada:

1. Comparação utilizando preço da energia gerada, ao invés da potência instalada. Por possuir custo de operação e manutenção desprezível, principalmente por não precisar de

combustível para operar e nem ter peças móveis para sofrer manutenção complexa, seu investimento de instalação é diluído por toda sua vida útil.

2. Comparação com o preço da energia das fontes convencionais que é paga pela unidade consumidora, após o sistema de transmissão e distribuição, ao invés do valor cobrado pela usina geradora. O sistema fotovoltaico utilizado na geração distribuída produz energia diretamente na residência do consumidor, logo o valor que deve ser utilizado como referência para as fontes convencionais é a energia cobrada pela concessionária distribuidora para a classe residencial, a qual considera, entre outros custos como: energia gerada pela usina; linhas de transmissão; rede de distribuição; operação e manutenção; encargos setoriais.

2.5 Tecnologias Disponíveis

As células fotovoltaicas são as unidades básicas do sistema de conversão da radiação solar em eletricidade, que são agrupadas e encapsuladas formando os módulos fotovoltaicos. Os módulos disponíveis no mercado apresentam variações quanto ao potencial de geração, área, fator de forma de apresentação, entre outras especificidades, de acordo com o tipo de tecnologia desenvolvida e aplicada pelos diferentes fabricantes a cada tipo de célula fotovoltaica. Dentre os diversos semicondutores utilizados para a produção de células solares fotovoltaicas, destacam-se por ordem de maturidade e utilização os seguintes compostos (RUTHER, 2004).

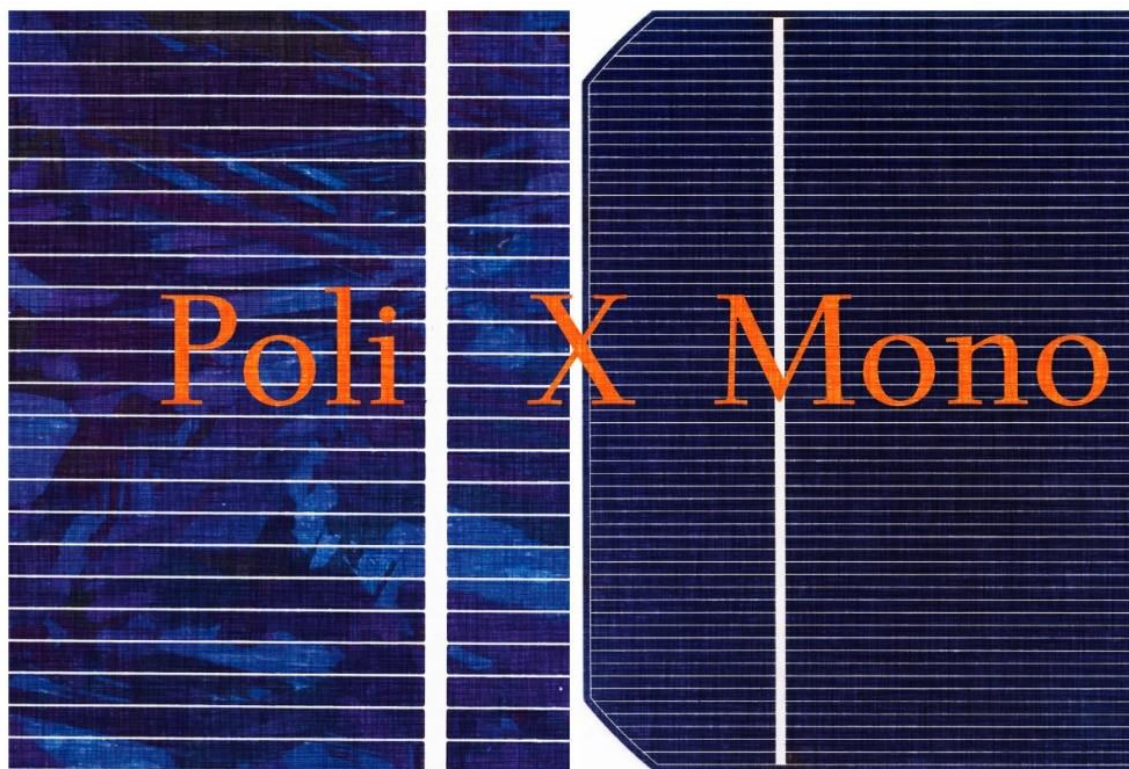
1. Silício Cristalino (c-Si).
2. Silício Amorfo Hidrogenado (a-Si).
3. Telureto de Cádmio (CdTe).
4. Compostos de Disseleneto de Cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS).

Ainda, de acordo com o estudo de Ruther (2004), a mais tradicional das tecnologias fotovoltaicas e que ainda hoje apresenta a maior escala de produção, é a de silício cristalino, tecnologia esta que se consolidou no mercado por sua extrema robustez e confiabilidade. A tecnologia de produção de eletricidade utilizando-se o efeito fotovoltaico pode separar o mercado em dois principais setores: o do silício cristalino e o do silício amorfo (PINHO, J.T. *et al.*). As células solares de silício cristalino podem se apresentar em dois tipos, as de Silício Monocristalino ou as de Silício Policristalino (SANTOS, 2016), como representado na figura 5.

Os cristais monocristalino são de 10% a 15% mais eficientes em relação aos cristais policristalino, porém, são 20% mais caros. Dessa forma, se o local para elaboração do projeto

fotovoltaico dispor de muito espaço é aconselhável utilizar painéis de Silício Policristalino, caso contrário, é aconselhável utilizar painéis de Silício Monocristalino.

Figura 5 – Célula fotovoltaica de Silício Policristalino e Monocristalino.



Disponível em: www.luxnova.com.br

3 METODOLOGIA

3.1 Local do estudo

A residência analisada neste trabalho, está localizada na parte central da cidade de Colatina no estado do Espírito Santo, mais precisamente no bairro Nossa Senhora da Penha.

- Latitude: 19° 31' 12" S
- Longitude: 40° 39' 10" O
- Altitude: 130m

Figura 6 – Vista aérea do local de estudo.



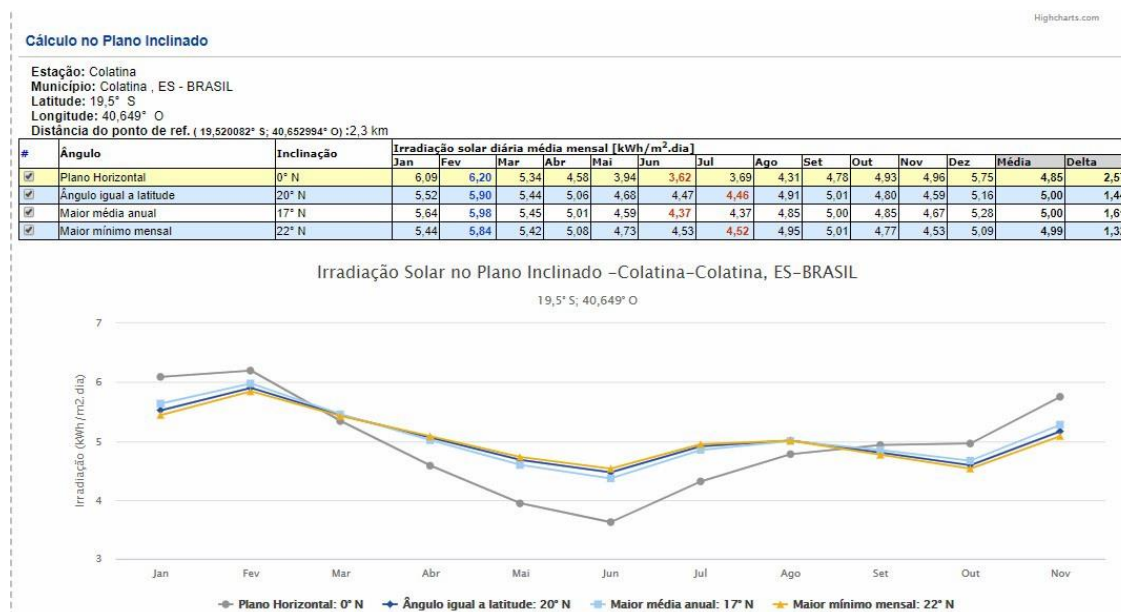
Fonte: Autor

3.1.1 Irradiação solar do local

Para o cálculo dos valores de irradiação solar do local, utilizou-se a base de dados do Centro de Referência Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB), que é disponibilizada para consulta online através do sistema de base de dados SunData (SANTOS, 2016). Os valores de irradiação encontrados, serão utilizados nos cálculos de eficiência e energia gerada pelo sistema. O programa SunData destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos (CRESESB, 2018).

Para esse trabalho, foram utilizados os valores de irradiação solar do banco de dados do CRESESB referente ao município de Colatina – ES.

Figura 7 – Dados de Irradiação Solar do município de Colatina – ES.



Fonte: (CRESESB, 2018)

3.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico ligado à rede

De acordo com o estudo de Santos (2016), o projeto e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos interligado à rede dependem basicamente das condições apresentadas a seguir:

- Área disponível;
- Orientação e ângulo de inclinação do local;
- Sombreamento;
- Tipo de Instalação;
- Especificações técnicas dos módulos e do inversor;
- Localização geográfica, longitude e latitude;
- Incidência solar;
- Histórico de consumo e consumo médio.

O projeto de sistema fotovoltaico escolhido para o presente trabalho, considerou as seguintes etapas, conforme Pinho e Galdino (2014) sugeriu.

- Estimativa inicial de potência instalada;
- Seleção do módulo solar;
- Seleção do inversor compatível ou uma configuração de inversores compatível com o módulo;

- Estabelecimento da configuração ótima módulo-inversor;
- Levantamento da listagem de componentes;
- Estimativa da energia produzida baseada nos dados da radiação solar do local.

A escolha do gerador fotovoltaico, levou em consideração a melhor tecnologia aplicável ao projeto, visando pelo custo da energia gerada e o benefício em termos de características elétricas e arquitetônicas.

Em relação ao fabricante de módulos fotovoltaicos, foi levada em consideração a credibilidade da empresa no que diz respeito à garantia dos módulos (20 a 25 anos), e às características do produto em termos de parâmetros elétricos e eficiência e pós-venda (PINHO; GALDINO, 2014).

Entre os variados fabricantes de módulos fotovoltaicos presente no mercado brasileiro, foram pesquisados módulos da Fronius, Canadian Solar, Sun Power Corp e Emaisolar. Dentre as marcas citadas, optou-se por trabalhar com os módulos da Canadian Solar, pois levou-se em consideração a qualidade do produto, garantia, capacidade de fornecimento e tradição da empresa no mercado.

3.3 Dimensionamento do gerador fotovoltaico

De acordo com Pinho e Galdino (2014), a potência de um gerador conectado à rede pode ser calculada pela equação 1 a seguir, onde se pode escolher uma fração da demanda de energia elétrica consumida que se pretende substituir.

Equação 1:

$$P_{FV}(W_P) = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSP_{ma}}$$

Onde:

$P_{FV}(W_P)$ = Potência de pico do painel fotovoltaico;

E (Wh/dia) = Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste (Já descontado o valor da disponibilidade mínima de energia);

TD (adimensional) = Taxa de desempenho;

$HSP_{MA}(h)$ = Média diária anual de horas de sol pleno HSP no plano do painel fotovoltaico.

A taxa de desempenho (TD) do sistema, mede a geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico, pois considera a potência real do sistema em operação e as perdas

envolvidas (por queda de tensão devido à resistência do cabeamento e conectores, efeitos do sombreamento, eficiência e carga sobre o inversor, diferenças entre as potências máximas de módulos de mesmo modelo, temperatura operacional, etc). Para sistemas fotovoltaicos residenciais pode-se obter uma taxa de desempenho entre 70 e 80% (PINHO; GALDINO, 2014).

3.4 Seleção do módulo e estimativa do número necessário de módulos

Após selecionar o módulo, calcula-se uma estimativa inicial da quantidade de módulos necessários de acordo com a equação 2.

Equação 2:

$$\text{Número de módulo} = \frac{P_{\text{pico do painel}}}{P_{\text{pico do módulo}}}$$

3.5 Cálculo da potência corrigida do sistema

A potência corrigida do sistema é determinada pela equação 3.

Equação 3:

$$\text{Potência corrigida do sistema} = \text{Número de módulos} \times P_{\text{pico do módulo}}$$

3.6 Verificação da tensão dos módulos para diferentes condições de funcionamentos

De acordo com Freitas (2008), o valor da tensão dos módulos é determinado considerando-se que a tensão atinge valores mais elevados nos períodos em que as temperaturas são mais baixas, sendo que nos meses mais quentes a tensão dos módulos apresenta valores mais baixos. Para determinação das tensões para as temperaturas mínima e máxima, são necessários os seguintes parâmetros:

- Tensão e corrente correspondentes ao ponto de potência máxima do módulo, V_{PPM} e I_{PPM} ;
- Tensão de circuito aberto para baixas temperaturas (-10°C).

Os valores da tensão máxima (V_{PPM}), corrente máxima (I_{PPM}), e tensão em circuito aberto (V_{ca}), são informados pelos fabricantes para as condições padrão de teste (STC) no plano do painel. A tensão de circuito aberto, V_{ca} , para temperatura máxima e mínima é determinada utilizando o coeficiente de variação de temperatura (T_c), fornecido pelo fabricante dos módulos fotovoltaicos (SANTOS, 2016).

O cálculo da tensão para as temperaturas extremas do módulo é efetuado considerando-se uma variação média anual de temperatura no plano do painel entre -10°C e 70°C. Portanto, os desvios absolutos para uma temperatura de 25°C, corresponde às condições padrão de teste (STC) são de -35°C e 45°C respectivamente (FREITAS,2008).

3.7 Cálculo da tensão para as temperaturas extremas do módulo (-10°C e 70°C)

Equações 4,5 e 6:

$$V_{ca}(a -10^{\circ}C) = V_{ca}(a 25^{\circ}C) + 35 \times T_c(V_{ca})$$

$$V_{PPM}(a -10^{\circ}C) = V_{PPM}(a 25^{\circ}C) + 35 \times T_c(V_{ca})$$

$$V_{PPM}(a 70^{\circ}C) = V_{PPM}(a 25^{\circ}C) - 45 \times T_c(V_{ca})$$

Onde:

$V_{ca}(a -10^{\circ}C)$ = Tensão em circuito aberto a -10°C;

$V_{ca}(a 25^{\circ}C)$ = Tensão em circuito aberto a 25°C;

$T_c(V_{ca})$ = Valor da variação da tensão em função da temperatura;

$V_{PPM}(a -10^{\circ}C)$ = Tensão máxima a -10°C;

$V_{PPM}(a 70^{\circ}C)$ = Tensão máxima a 70°C.

O valor de temperatura -10°C, que é o valor de temperatura mais baixo, corresponde ao valor mais elevado de tensão em circuito aberto (V_{ca}) e também o valor máximo da tensão (V_{PPM}).

3.8 Seleção do inversor

O gerador fotovoltaico é dimensionado com a potência nominal superior à do inversor em virtude do coeficiente de temperatura negativos das tecnologias fotovoltaicas. O Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI) corresponde à relação entre a potência nominal em corrente alternada do inversor e a potência de pico do gerador fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014), como mostra a equação 7.

Equação 7:

$$FDI = \frac{P_{Nca}(W)}{P_{FV}(W_P)}$$

Onde:

FDI (adimensional) = Fator de dimensionamento do inversor;

P_{Nca} (W) = Potência nominal em corrente alternada do inversor;

P_{FV} (W_P) = Potência de pico do painel fotovoltaico.

De acordo com a literatura, os valores inferiores de FDI recomendados por fabricantes situam -se entre 0,75 a 0,85 (PINHO; GALDINO, 2014).

A potência corrigida do sistema fotovoltaico, obtida através da equação 3, deve ser comparada com a potência nominal do inversor e, caso a potência corrigida do sistema seja maior que a potência nominal do inversor, o número de inversores requerido é calculado pela equação 8. Caso a potência corrigida do sistema seja menor que a potência nominal do inversor, o número de inversores é igual a um (SANTOS, 2016).

Equação 8:

$$\text{Número de inversores} = \frac{\text{Potência Corrigida do sistema}}{\text{Potência Nominal do inversor}}$$

Pretendendo definir os limites de tensão da configuração do painel fotovoltaico, o número máximo e mínimo de módulos ligados em série deve ser calculado, de acordo com as equações 9 e 10 a seguir:

$$\text{Número máximo de módulos} = \frac{V_{PPMmax}}{V_{PPM}(-10^{\circ}C)} \quad (9)$$

$$\text{Número mínimo de módulos} = \frac{V_{PPMmin}}{V_{PPM}(70^{\circ}C)} \quad (10)$$

A equação 11 calcula o número máximo de módulos por fileira. Tendo como propósito garantir que o valor máximo da tensão V_{ca} de entrada do inversor não será ultrapassado, e tendo que o máximo valor de tensão em circuito aberto ocorre à temperatura de $-10^{\circ}C$ no plano do painel se a fileira estiver em circuito aberto.

Equação 11:

$$\text{Número máximo de módulos} = \frac{V_{dcmin}}{V_{ca}(-10^{\circ}\text{C})}$$

3.9 Configuração do painel compatível como inversor

Para assegurar a compatibilidade entre painel fotovoltaico e o inversor é necessário calcular o valor da tensão para as condições extremas de temperatura através das equações 12, 13 e 14 abaixo (SANTOS, 2016).

$$V_{PPM}(\text{a } 70^{\circ}\text{C}) \text{ do painel} = \text{Número de módulos por fileira} \times V_{PPM}(\text{a } 70^{\circ}\text{C}) \quad (12)$$

$$V_{PPM}(\text{a } -10^{\circ}\text{C}) = \text{Número de módulos por fileira} \times V_{PPM}(\text{a } -10^{\circ}\text{C}) \quad (13)$$

$$V_{ca}(\text{a } -10^{\circ}\text{C}) = \text{Número de módulos por fileira} \times V_{ca}(\text{a } -10^{\circ}\text{C}) \quad (14)$$

Para garantir que a corrente máxima de entrada do inversor fotovoltaico não seja excedida, é necessário que o número máximo de fileiras das séries fotovoltaicas seja calculado, conectadas em paralelo de acordo com a equação 15.

Equação 15:

$$N^{\circ} \text{ seriesFV_Paralelo} = \frac{I_{imax}}{I_{sc}}$$

Onde:

N° seriesFV_Paralelo = Número de séries fotovoltaicas em paralelo (fileiras);

I_{imax} (A) = Corrente máxima (CC) admitida na entrada do inversor;

I_{sc} (A) = Corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico nas STC.

Para determinar o valor máximo da corrente fornecida pelo painel fotovoltaico é utilizado a equação 16 a seguir:

$$I_{PPM} \text{ do painel} = \text{Número de fileiras} \times I_{PPM}(\text{a } 25^{\circ}\text{C}) \quad (16)$$

Os valores obtidos das equações anteriores são comparados com os valores de tensão máxima e mínima, e com o valor da corrente máxima do inversor. O painel fotovoltaico escolhido é compatível com o inversor se as seguintes condições técnicas forem confirmadas (SANTOS, 2016):

- 1) V_{PPM} (a 70°C) do painel > V mínima do inversor;
- 2) V_{PPM} (a -10°C) do painel < V máximo do inversor;
- 3) V_{ca} (a -10°C) do painel < V_{cc} máxima do inversor;
- 4) I_{PPM} do painel < I_{cc} máxima do inversor.

Se as condições acima forem confirmadas, as configurações do sistema fotovoltaica estão definidas. Caso contrário é necessário selecionar outro inversor ou, se for o caso, outro modulo fotovoltaico.

3.10 Viabilidade econômica do sistema

Para o cálculo do período de retorno do investimento foram utilizados os métodos de análise de investimentos denominados *Payback* Descontado (PD) e a Taxa Interna de Retorno (SANTOS, 2016). O *Payback* Descontado é o período de tempo necessário para que o dinheiro investido no projeto seja totalmente recuperado e este é calculado pela seguinte equação:

$$PD = \text{mínimo } \{j\}, \text{ tal que } \sum_{j=1}^N \frac{B_j}{(1+TMA)^j} \geq -FC_0 \quad (17)$$

Onde:

PD = Payback descontado;

j = Período;

B = Investimento inicial;

N = Número de períodos;

FC₀ = Fluxo de caixa inicial;

TMA = Taxa mínima de atratividade.

A Taxa Interno de Retorno (TIR) é obtida pela equação 18, tendo como parâmetro o Valor Presente Líquido (VPL).

Equação 18:

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{R_j}{(1+i)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{C_i}{(1+i)^j}$$

Onde:

R_j = Receita no j-ésimo período considerado;

C_j = Custo no j-ésimo período considerado;

n = Horizonte de planejamento;

i = Taxa Mínima de Atratividade.

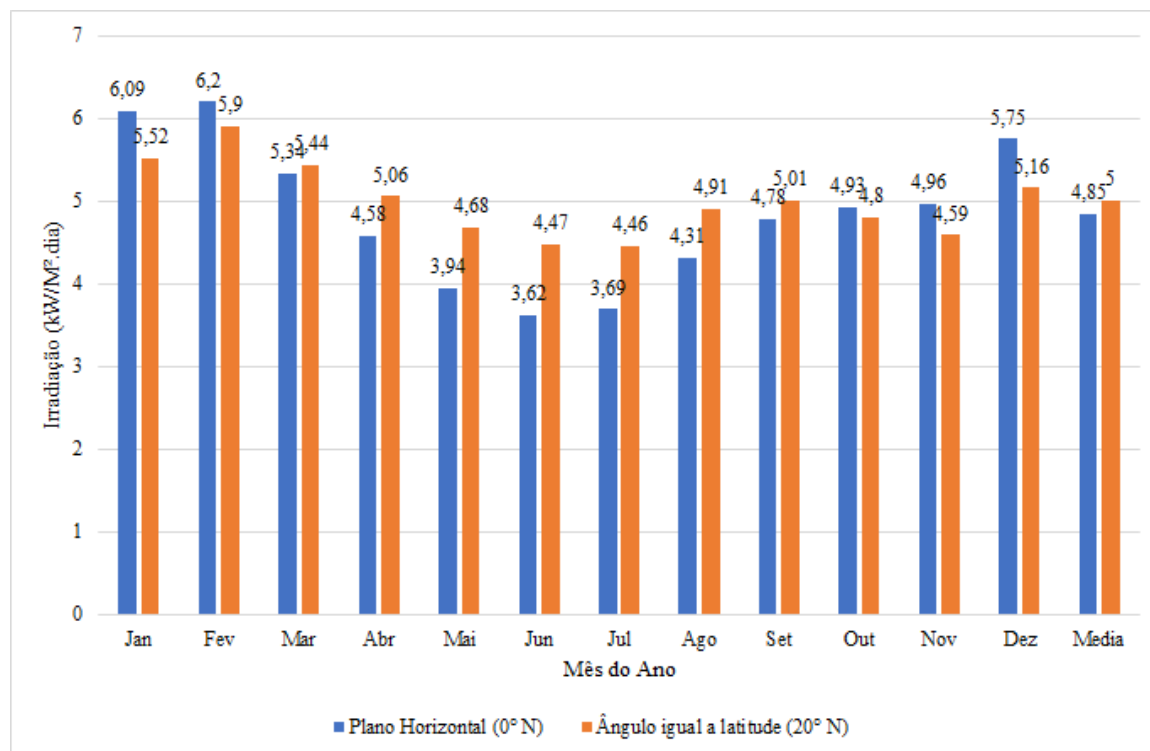
Para o presente trabalho foi adotado o valor de 5% para a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e para a determinação da viabilidade econômica foi considerada 25 anos a vida útil do sistema.

4 RESULTADOS

4.1 Dados de Irradiação Solar

Os dados da irradiação solar diária média da região de Colatina – ES, foram obtidos através do banco de dados da CRESESB e estão apresentados em valores médios, mês a mês no período de janeiro até dezembro, de acordo com o gráfico 1.

Gráfico 1 – Irradiação solar diária média mensal da cidade de Colatina – ES.



Fonte: Autor.

Ao examinar os resultados de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal, observa-se que os valores mais baixos estão centralizados nos meses de maio, junho e julho, meses estes que correspondem a estações de outono e inverno. Ao analisar os resultados de irradiação solar média mensal em ângulo igual a latitude de 20° N, percebe-se que os valores mais baixos correspondem aos meses de junho, julho e novembro, sendo esse último mês o período de maior precipitação de chuva do município de Colatina – ES. Foi considerado o valor médio anual da irradiação solar diária média em ângulo igual a latitude (20° N) que é de 5 kWh/m², para dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos deste trabalho.

Vale a pena ressaltar, que em meses com menor incidência solar haverá uma menor geração de energia elétrica, e com isso a residência pode estar consumindo mais energia do que a gerada pelos painéis fotovoltaicos.

4.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico interligado a rede

Para dimensionar o sistema fotovoltaico, foi realizada uma média aritmética simples do consumo mensal de energia elétrica entre os meses de janeiro de 2018 e dezembro de 2018 da residência. Assim, o valor do consumo médio estimado foi em torno de 340 kWh/mês, o que equivale a um consumo médio diário de 11,33 kWh.

Para cálculo da potência de pico do painel fotovoltaica, foi utilizada a equação 1, levando em consideração uma Taxa de Desempenho (TD) de 75%. Portanto, a potência de pico do painel fotovoltaico (P_{fv}) foi de 3,02 kW.

Para o presente trabalho, foi escolhido o painel com potência nominal de 330 W_p, da fabricante Canadian Solar, modelo CS6U-330P. Para o cálculo do número de módulos necessários para a instalação, foi utilizado a equação 2. Dessa forma, foi utilizado a quantidade de 10 módulos. Através da equação 3, foi determinado o valor da potência corrigida do sistema que é de 3,30 kW.

Tabela 2 – Informações técnica do módulo fotovoltaico CS3U-365MS

Dados do Módulo Fotovoltaico

<i>Fabricante</i>	Canadian Solar
<i>Modelo</i>	CS6U-330P
<i>Potência nominal de pico (Wp)</i>	330
<i>Tensão à Potência Nominal (V)</i>	37,2
<i>Tensão de circuito aberto (V)</i>	45,6
<i>Corrente à potência nominal (A)</i>	8,88
<i>Corrente de curto circuito (A)</i>	9,45
<i>Área (m²)</i>	1,944
<i>Valor de variação da tensão em função da temperatura (0,31%/°C)</i>	0,1413
<i>Eficiência do Módulo (%)</i>	16,97

Disponível em: www.minhacasasolar.com.br

Após o dimensionamento do módulo fotovoltaico, foi dimensionado o inversor, levando em consideração a potência e as características elétricas do módulo gerador. Foi levada em consideração também, a credibilidade da empresa no mercado nacional, bem como sua

capacidade de assistência técnica. Para este estudo, foi escolhido o inversor do fabricante FRONIUS, modelo Fronius Primo 3.0-1.

Tabela 3 – Informações técnicas do inversor.

Dados do Inversor

<i>Fabricante</i>	Fronius
<i>Modelo</i>	Fronius Primu 3.0-1
<i>Potência DC máx. (W)</i>	4500
<i>Tensão CC máx. (V)</i>	710
<i>Faixa de tensão de entrada CC (V)</i>	200-800
<i>Corrente máxima de entrada (A)</i>	12
<i>Potência nominal de CA (W)</i>	3000
<i>Potência máxima de CA (VA)</i>	3000
<i>Corrente máxima de saída (A)</i>	13
<i>Variação de Tensão de Saída - VPPMin</i>	180
<i>Variação de Tensão de Saída - VPPMax</i>	270
<i>Frequência de rede (Hz)</i>	50/60
<i>Eficiência máxima (%)</i>	98

Fonte: (FRONIUS PRIMO, 2019)

Portanto, para o dimensionamento desse sistema fotovoltaico, através dos resultados obtidos utilizando as equações do item anterior, foram obtidos os seguintes resultados para a unidade consumidora em estudo:

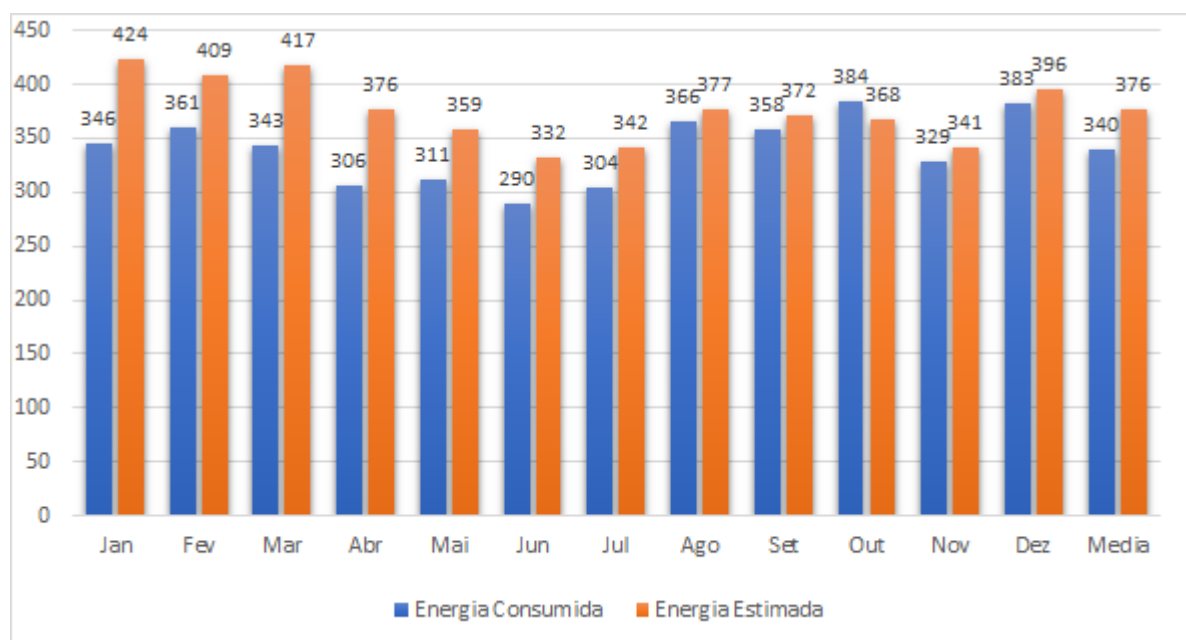
Número de módulos: 10 (dez).

Número de inversores: 01 (um).

4.3 Energia Estimada x Energia Consumida

Com auxílio das faturas de consumo de energia elétrica de todos os meses do ano de 2018 da unidade residencial em estudo, foram obtidos os valores de energia elétrica consumida em cada mês, estes que foram comparados à energia estimada de geração pelo sistema fotovoltaico projetado, conforme apresentado no gráfico 2.

Gráfico 2 – Relação energia consumida x energia estimada



Fonte: Autor

A energia estimada de geração pelo sistema fotovoltaico foi obtida considerando a irradiação solar diária, obtida a partir de mapas solarimétricos e da eficiência do módulo fornecido pelo fabricante. Com isso, a energia gerada pelo sistema dimensionado totalizou em 4.512 kW por ano, dando uma média mensal de 376 kW.

4.4 Investimento

Para a implantação do sistema de geração solar, são necessários módulos fotovoltaicos, inversor, cabos, estrutura de fixação para os painéis e proteções elétricas. Desta forma, foi realizada uma pesquisa comercial e os valores referentes aos custos da instalação estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Orçamento de acordo com a pesquisa comercial no mercado Solar

<i>Equipamentos e Serviço</i>	Quantidade	Custo
<i>Inversor</i>	1	R\$7.164,00
<i>Módulos Fotovoltaicos</i>	10	R\$6.990,00
<i>Estruturas, Cabeamentos, String Box e Conectores</i>	-	R\$3.500,00
<i>Projeto, Homologação e Acompanhamento Junto a Concessionária</i>	-	R\$1.500,00
<i>Instalação</i>	-	R\$700,00
TOTAL DO INVESTIMENTO		R\$19.854,00

Fonte: Autor

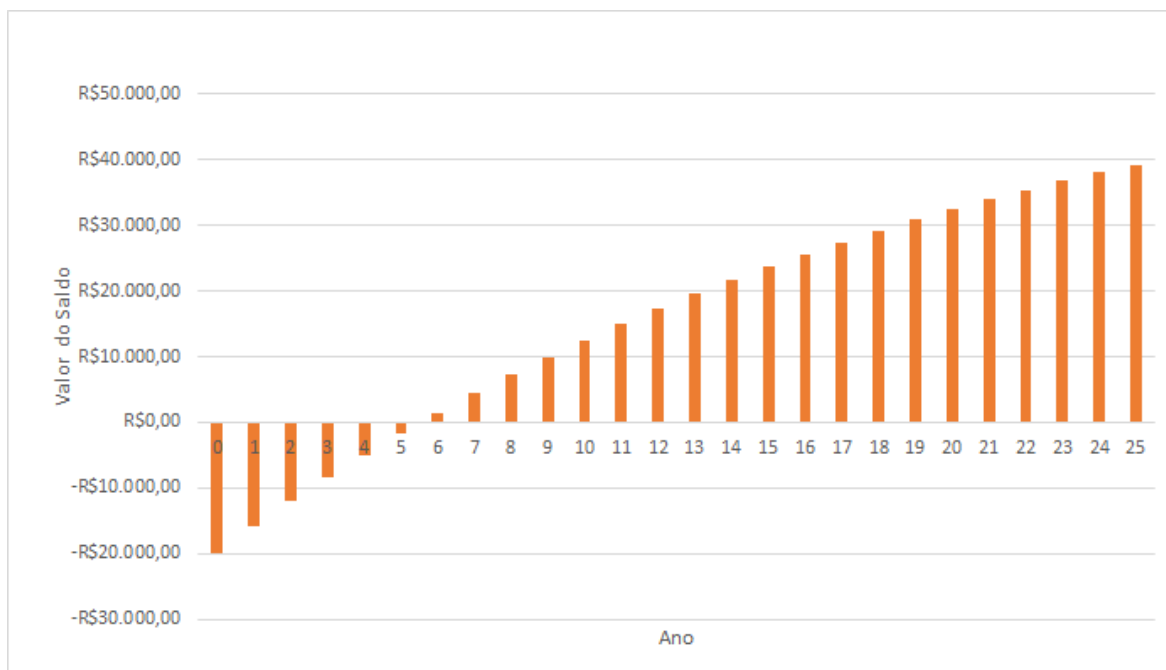
4.5 Viabilidade do sistema

Para a implantação do sistema fotovoltaico, dimensionada de acordo com a demanda da unidade residencial em estudo, o investimento final girou em torno de R\$19.854,00, considerando custos com equipamentos, materias e mão de obra (projeto e instalação).

Os paineis fotovoltaicos escolhidos possuem 10 anos de garantia contra defeito de fabricação e 25 anos para perda de eficiência superior a 20%. O inversor possui 5 anos de garantia de fábrica, contra defeito de fabricação e segundo o fabricante sua vida útil gira em torno de 10 a 15 anos.

Para cálculo do período de retorno de investimento do sistema projetado, foi levado em consideração o valor médio das tarifas da energia elétrica informado na fatura de energia elétrica da concessionária local, juntamente com todos os impostos, visto que, o valor da tarifa oscila de acordo com os meses do ano. Através da equação 17 e considerando uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 5%, o tempo de retorno do investimento foi de 5 (cinco) anos, 6 (seis) meses e 16 (dezesesseis) dias. O gráfico 3 apresenta a evolução do fluxo de caixa acumulado para um período de 25 anos.

Gráfico 3 – Fluxo de caixa acumulado do Sistema Fotovoltaico Dimensionado.



Fonte: Autor

4.6 Análise das configurações do sistema

A princípio, vale ressaltar que o sistema de energia solar fotovoltaica foi dimensionado para garantir que a energia gerada durante o ano, seja sempre igual ou superior à energia consumida, dispondo como base a irradiação solar diária mensal em um ângulo igual a latitude de 20° N, na cidade de Colatina – ES.

Através da equação 18, o sistema fotovoltaico dimensionado nesse estudo, apresentou viabilidade econômica, tendo com Taxa Interna de Retorno (TIR) de 21%.

É necessário destacar, que alguns bancos brasileiros, como Bradesco, Santander, Votorantim, Banco do Nordeste, Banco do Amazona e Caixa Econômica Federal, disponibilizam linha de crédito para esse tipo de instalação (ÉPOCA NEGÓCIO, 2019).

Por meio desse tipo de financiamento é possível parcelar o projeto em até 5 anos. Além do mais, 24 unidades federativas do Brasil, dão isenção de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), para quem gera a sua própria energia elétrica.

5 CONCLUSÃO

Após realizada uma análise de investimento, constatou-se que o custo de implementação do sistema fotovoltaico foi de R\$19.854,00, com um Valor Presente Líquido (VPL) de R\$39.286,44 e uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 21%, após 25 anos da implantação do projeto, considerando uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 5%. Esses valores são referentes ao custo da instalação do sistema fotovoltaico, uma vez que a energia gerada é consumida ou compensada, nunca podendo ser vendido para se obter retorno financeiro. Também é importante destacar, que, mesmo que a unidade residencial gere mais energia do que consuma, o consumidor irá pagar mensalmente uma taxa mínima de energia, que é de 30 kWh, para sistemas monofásicos ou bifásicos com dois condutores, valor este, que é cobrado pelas concessionárias elétricas por disponibilizarem a energia elétrica, mesmo que a unidade consumidora não a utilize.

A Taxa Mínima de Atratividade foi definida em 5% em função da rentabilidade média de opções tradicionais de investimentos, como poupança e determinados fundos de investimento, não considerando impactos inflacionários sobre o capital. Contudo, é necessário salientar que a sensibilidade do VPL de acordo com a variação da TMA, dessa forma, para uma TMA de 7,5% e 10%, a VPL do sistema passa a ser de R\$26.920,37 e R\$18.234,71 respectivamente. Portanto, quanto maior a TMA maior o será o tempo de retorno do investimento inicial.

É importante também destacar alguns pontos ao se projetar e implementar um sistema de geração fotovoltaica, como, a eficiência do painel fotovoltaico, a assimilação com a arquitetura da edificação, resistências a altas temperaturas, custos e qualidade dos módulos fotovoltaicos, assistência técnica disponível na região, desgastes e principalmente evitar a aplicação dos painéis em regiões sombreadas, para não comprometer o aproveitamento da energia solar, reduzindo dessa forma a geração de eletricidade.

O presente estudo, mostrou a viabilidade técnica e econômica para a implementação de uma usina fotovoltaica como alternativa para redução de custos com energia elétrica na residência em questão, visto que essa região é de grande incidência solar ao longo do ano e a estimativa de geração de energia foi maior que o consumo em quase todos os meses do ano de 2018. O projeto também se mostrou como uma alternativa de investimento financeiro, tendo como tempo de retorno do investimento total 5 anos, 6 meses e 16 dias, além de contribuir com menor impacto ambiental.

Ademais, o incentivo de produção da própria energia elétrica contribui para que o valor da tarifa elétrica não aumente, uma vez que a demanda passa a ser menor e com isso os reajustes e bandeiras utilizadas na formação da tarifa tende a cair ou estagnar. O investimento em gerações elétricas de meios convencionais, como a hidrelétrica e a termoeletrica, tende a despencar com o consumidor gerando sua própria energia, visto que, esses métodos são mais caros e mais poluente para o meio ambiente.

Como sugestões para projetos futuros, pode-se desenvolver um estudo mais aprofundado sobre a implementação de sistemas solares fotovoltaicos em unidades habitacionais, levando-se em consideração o retorno financeiro, o impacto ambiental, qualidade de geração, agilidade e facilidade de instalação, manutenção barata e quase inexistente, vida útil longa, comparação com os métodos convencionais de geração elétrica, entre outras.

Feito esse trabalho, usá-lo-ei como justificativa para a elaboração de um projeto de lei de iniciativa popular a ser enviado para a câmara dos deputados. Esse projeto de lei popular tem como argumento, a isenção ou a diminuição de impostos em todos os componentes de um sistema fotovoltaico e diminuição dos juros para financiamentos feitos por bancos públicos e privados, com o intuito de baratear o processo de instalação e incentivar o uso cada vez maior de sistemas fotovoltaicos e tornar o país em uma potência mundial na geração elétrica solar.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA. (2016) Cadernos Temáticos ANEEL - Micro e Minigeração Distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. Brasília, [Online] Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>

(Acessado em: 11 de maio de 2019).

BENEDITO, R. S. (2009). *Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistema fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório*. São Paulo, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Instituto de Eletrotécnica e Energia e Instituto de Física) para a obtenção do título de Mestre em Ciências, Universidade de São Paulo – USP.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. Tutorial Energia Solar: Princípios e Aplicações. [online] Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br> (Acessado em: 12 de maio de 2019).

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO. (2018). Potencial solar – SunData v 3.0. [online] Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&> (Acessado em: 12 de maio de 2019).

ÉPOCA NEGÓCIOS. (2019). Custo e instalação de equipamentos de energia solar caem 50% no país. Agência O Globo, 11 de fev. 2018. [online] Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Brasil/noticia/2018/02/custo-de-instalacao-de-equipamentos-de-energia-solar-cai-50-no-pais.html> (Acessado em: 17 de Jun. de 2019).

ESTADÃO (2019). Energia Solar deve crescer 44% no Brasil em 2019 com o impulso de geração distribuída. [online] Disponível em:

<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,energia-solar-deve-crescer-44-no-brasil-em-2019-com-impulso-de-geracao-distribuida,70002683737> [Acessado em: 29 de mar 2019].

FERNANDES, L.M. ALTOQI (2018). Usina fotovoltaica no Brasil: potencial de crescimento. [Online] Disponível em: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/eletrico/usina-fotovoltaica-no-brasil/> [Acessado em: 29 de mar de 2019].

FREITAS, G.C.; DATHEIN, R. As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. Revista Nexos Econômicos, v. 7, n. 1, p. 71-94, 2013.

FREITAS, S. S. A. *Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos*. 104f. Relatório de projecto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial – Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, 2008.

FRONIUS PRIMO. (2019). O inversor comunicativo para gestão otimizada de energia. [online] Disponível em: <https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/produtos/residencial/inversor/fronius-primo/fronius-primo-3-0-1> (Acessado em: 15 de jun de 2019).

GOOGLE. (2019) Google Earth Website. [Online] Disponível em: <https://earth.google.com/web/> (Acessado em: 03 de jun de 2019).

GUIMARÃES, G. Entenda as diferenças entre o sistema isolado e o sistema conectado à rede. [s.d.], [Online] disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-isolado-ou-conectado> (Acessado em: 09 de maio de 2019).

IEA Photovoltaic Power Systems Programme - International statistics -System prices - Trends in photovoltaic applications. [online] Disponível em :<http://www.iea-pvps.org> (Acessado em: 14 de maio de 2019).

MACHADO, C.T.; MIRANDA, F.S. (2014). Energia solar fotovoltaica: uma breve revisão. Revista Virtual de Química. vol. 7, nº 1, p. 128-129.

MARTINS, J.B. (2018). *Estratégias e mecanismos econômicos para a inserção de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída na matriz elétrica brasileira*. Araranguá, Trabalho de conclusão de curso, apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro(a) de Energia.

MINHA CASA SOLAR. Paine solar 365 W monocristalino Canadian Solar – CS3U-365ME. [online] Disponível em: <https://www.minhacasasolar.com.br/produto/paine-solar-365w-monocristalino-canadian-solar-cs3u-365ms-79325> (Acessado em: 15 de jun de 2019).

NASCIMENO, R.L (2017). Energia solar no Brasil: Situação e Perspectivas. Câmara dos Deputados. p. 4.

PACHECO, F. (2006). Energia renováveis: breves conceitos. Economia em destaque. p.4.

PINHO, J. T. et al. Sistemas Híbridos – Soluções Energéticas para a Amazônia. 1ª. Ed. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. CEPEL – CRESESB, Rio de Janeiro, 2014. Resolução Normativa nº 482. [online] Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> (Acessado em: 30 de maio de 2019).

PORTAL SOLAR. Energia renovável. [Online] Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/energia-renovavel.html> [Acessado em: 27 de mar de 2019].

ROCHA, P., LUX NOVA. (2017). Conheça os principais tipos de células fotovoltaicas. [online] Disponível em: <http://www.luxnova.com.br/principais-tipos-celulas-fotovoltaicas/> (Acessado em: 03 de jun de 2019).

ROSA, R.S., CSR ENERGIA SOLAR (2017). Sistema fotovoltaico conectado à rede -SFCR/ ON-GRID. [Online] disponível em: <http://www.csrenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede---sfcr-on-grid> (Acessado em: 11 de maio de 2019).

RUTHER, R. (2004). Pré-dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de caso do edifício-sede do CREA – SC. In: Conferência Latino-americana de Construção Sustentável, 1.; Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10. São Paulo – SP. I CLACS; X ENTAC, 2009.

SANTOS, M. A. (2016). *Dimensionamento e retorno de investimento de geração de energia solar residencial: um estudo de caso no município de Lagoa Santa – MG*, Curitiba, Trabalho de conclusão do curso de especialização em mudanças climáticas, projetos sustentáveis e mercado de carbono do programa de educação continuada em ciências agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Universidade Federal do Paraná – UFPR.

SHAYANY, R. A., OLIVEIRA, M. A. G., CAMARGO, I. M. T., (2006). Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais, V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético – CBPE, Política pública para a energia: Desafios para o próximo quadriênio, Brasília.

TORRES, R. C. (2012). *Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais*. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.