

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ÍTALO CARVALHO DE ARAÚJO
MARCO AURÉLIO CORREIA GUIMARÃES**

**ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA EM UMA EDIFICAÇÃO DE MÉDIO PORTE
EM ANÁPOLIS-GO**

ANÁPOLIS / GO

2020

**ÍTALO CARVALHO DE ARAÚJO
MARCO AURÉLIO CORREIA GUIMARÃES**

**ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA EM UMA EDIFICAÇÃO DE MÉDIO PORTE
EM ANÁPOLIS-GO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: AURÉLIO CAETANO FELICIANO

ANÁPOLIS / GO: 2020

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, Ítalo Carvalho; GUIMARÃES, Marco Aurélio Correia. Estudo de caso: sistema de geração de energia fotovoltaica em uma edificação de médio porte em Anápolis. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Ítalo Carvalho de Araújo

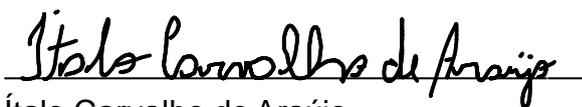
Marco Aurélio Correia Guimarães

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
Estudo de caso: sistema de geração de energia fotovoltaica em uma edificação de médio porte em Anápolis.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

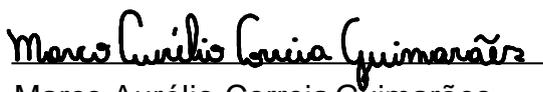
ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


Ítalo Carvalho de Araújo

Ítalo Carvalho de Araújo

E-mail: italo_carvalho11@hotmail.com


Marco Aurélio Correia Guimarães

Marco Aurélio Correia Guimarães

E-mail: marcof0@hotmail.com

**ÍTALO CARVALHO DE ARAÚJO
MARCO AURÉLIO CORREIA GUIMARÃES**

**ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA EM UMA EDIFICAÇÃO DE MÉDIO PORTE
EM ANÁPOLIS-GO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

**AURÉLIO CAETANO FELICIANO, Especialista (UniEvangélica)
(ESPECIALISTA)**

**NOME DO MEMBRO DA BANCA, titulação (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**NOME DO MEMBRO DA BANCA, titulação (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 28 de novembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade que tive de estudar e chegar até aqui, à minha família por sempre me apoiar e a minha esposa que sempre me incentivou mesmo nos momentos mais difíceis.

Ítalo Carvalho de Araújo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado vida, por ter me dado a oportunidade de estar cursando Engenharia Civil, agradeço aos meus pais pelo esforço no trabalho do dia a dia para me manter na faculdade, aos meus amigos por estar junto comigo em busca de um sonho, que é o diploma de bacharel em Engenharia Civil.

Marco Aurélio Correia Guimarães

RESUMO

Energia solar fotovoltaica, é uma energia elétrica renovável, produzida a partir de luz solar. Devido ao crescimento da população no Brasil, o uso desse tipo de energia está com uma demanda cada vez maior. O Brasil está localizado em zona intertropical, onde se tem registros de altos índices de irradiação solar, tornando-se um dos países com maior potencial para se tornar um dos maiores usuários da energia fotovoltaica. Este trabalho realiza um estudo de caso, em uma residência em Anápolis, Goiás, onde será proposto a implantação de um sistema de microgeração fotovoltaica, que possui um custo total de R\$12.631,58. Apesar de ser um valor alto, promete em cerca de 5 anos ser compensado, gerando a partir daí um lucro ao investidor, sem contar os benefícios ao meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar fotovoltaica; Renovável; Geração de energia solar.

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy is a renewable electric energy, produced from sunlight. Due to the population growth in Brazil, the use of this type of energy is in increasing demand. Brazil is located in an intertropical zone, where there are records of high levels of solar radiation, making it one of the countries with the greatest potential to become one of the largest users of photovoltaic energy. This work carries out a case study in a residence in Anápolis, Goiás, where a photovoltaic microgeneration system will be implemented, which has a total cost of R \$ 12,631.58. Despite being a high value, it promises to be compensated in about 5 years, generating from there a profit to the investor, not counting the benefits in the environment.

KEYWORDS: *Photovoltaic solar energy; Renewable; Solar power generation.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem do satélite Vanguard I	17
Figura 2 - Oferta interna de energia nacional por fonte	18
Figura 3 - Faixas de Energia	20
Figura 4 - Formação de energia elétrica através de células fotovoltaicas	21
Figura 5 - Lingote de silício monocristalino	23
Figura 6 - <i>Wafer</i> de silício monocristalino	23
Figura 7 - Módulo de silício policristalino	24
Figura 8 - Módulos fotovoltaicos de filmes finos.....	25
Figura 9 - Módulos fotovoltaicos de silício monocristalino.....	28
Figura 10 - Arranjo das células em série	28
Figura 11 - Componentes da radiação solar	29
Figura 12 - Piranômetro de segunda classe	30
Figura 13 - Diagrama representativo do sistema <i>on-grid</i>	32
Figura 14 - Localização do lote 8 A	33
Figura 15: Irradiação solar no plano horizontal para localidades próximas.	34
Figura 16: Planta baixa do imóvel em estudo	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação de eficiências das células fotovoltaicas	26
Quadro 2 - Irradiação solar diária média	33
Quadro 3 - Estimativa de consumo mensal.....	35
Quadro 4 – Orçamento dos materiais.....	39
Quadro 5 – Resumo do sistema dimensionado.....	40

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

a-Si:H silício amorfo hidrogenado

CdTe Telureto de cádmio

CIGS Disseleneto decobre índio e gálio

CRESESB Centro de referência para energia solar e eólica

EPE Empresa de Pesquisa Energética

Km Quilômetro por hora

kWh Quilowatt-hora

kW Quilowatt

MWp Mega Watts

TW Terawatt

TWh Terawatt-hora

V Potencial elétrico

W/m² watt por metro quadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 METODOLOGIA.....	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 HISTÓRIA E CONCEPÇÃO	17
2.2 BALANÇO ELÉTRICO NACIONAL EM 2019	18
2.2.1 Efeito fotovoltaico	19
2.2.2 Células solares	21
2.2.3 Silício monocristalino	22
2.2.4 Silício policristalino	24
2.2.5 Filmes finos	25
2.2.6 Silício amorfo	26
2.2.7 Telureto de cádmio (CdTe) e cobre-índio-gálio-selênio (CIGS)	26
2.3 MÓDULOS FOTOVOLTAICO	27
2.3.1 Associação dos módulos fotovoltaicos	28
2.4 RADIAÇÃO SOLAR A NÍVEL DO SOLO	29
2.4.1 Medição da radiação solar	30
2.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DISTRIBUÍDOS	31
2.5.1 Sistemas conectados à rede elétrica (ON-GRID)	31
3 ESTUDO DE CASO	32
3.1 DADOS DA EDIFICAÇÃO.....	33
3.2 ESTIMATIVA DE CONSUMO ENERGÉTICO	35
3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA.....	37
3.4 ANÁLISE DO CUSTO	39
4 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos primordiais o homem busca maneiras inovadoras de produzir energia, seja para se locomover, alimentar aparelhos eletrônicos e até mesmo abastecer residências e comércios, proporcionando assim um aumento na qualidade de vida.

No Brasil, quando se fala no contexto de geração de energia elétrica logo se pensa em hidrelétricas, o que é certo pois elas são responsáveis por cerca de 65% de toda energia gerada no país. No entanto existem outros meios de geração que são tão eficientes quanto, e que são considerados melhores para o meio ambiente, ou seja, sustentáveis.

Ao analisar apenas o âmbito comercial nota-se que as hidrelétricas possuem um excelente potencial, visto que se utiliza de rios para geração em larga escala, distribuindo eletricidade a milhares de residências no país. Porém tal geração não é renovável e causa grandes impactos ao meio ambiente. Devido ao grande crescimento dos centros urbanos a demanda energética aumenta a cada dia, necessitando de mais hidrelétricas e maiores em tamanho. Além do mais, depender das hidrelétricas pode ser um grande problema nos tempos atuais visto que a escassez de água se tornou rotina dos brasileiros.

É pensando nisso que surge a temática de novas fontes de energia sustentável como a energia solar fotovoltaica, que é uma energia limpa, na qual necessita apenas do sol para gerar energia.

A tecnologia fotovoltaica foi difundida inicialmente em países desenvolvidos, como Alemanha e Estados Unidos, hoje se tornou popular em vários países, ganhando mercado inclusive no Brasil, graças a produção em larga escala o que diminui os custos e a torna mais acessível.

Pode-se afirmar, portanto, que no Brasil a energia solar tem um grande potencial para se tornar um dos principais meios de geração de energia. Devido a posição geográfica que se encontra, próximo a Linha do Equador, a exposição solar é frequente durante todo o ano, sem contar que os módulos fotovoltaicos podem ser instalados diretamente nos locais ao qual se necessita da energia, tornando o processo mais viável e econômico.

1.1 JUSTIFICATIVA

Desde os tempos pré-históricos o homem manipula as fontes de energia para preservar uma vida mais longa, confortável e garantir sua sobrevivência.

Dessa forma, a busca por recursos renováveis é necessária para que o futuro exista, e para que as próximas gerações possam desfrutar do belo planeta que vivemos. No Brasil, há um alto nível de radiação solar durante todo o ano, o que possibilita a utilização do sistema fotovoltaico em diversos setores. A energia solar é uma fonte limpa que traz vantagens ao meio ambiente, traz vantagens ao consumidor podendo reduzir a quase zero sua conta de luz.

De acordo com pesquisas do EPE a geração de energia hidráulica no Brasil equivale a 65,2% da matriz energética brasileira, enquanto apenas 6,9% é o percentual de energia solar e eólica juntas. Porém, é de conhecimento popular que a falta de energia é frequente, devido à grande demanda. Assim fica evidente que a expansão da energia fotovoltaica tende a impulsionar a matriz energética brasileira, com o potencial de se tornar uma das principais fontes de energia no futuro breve.

Justifica-se por meio deste trabalho a análise de instalação de uma usina fotovoltaica em uma residência na cidade de Anápolis-GO, a fim de expor o funcionamento de um sistema de geração solar e detalhar como é feita sua instalação, para que os resultados obtidos possam evidenciar sua eficiência e economia quando comparado a um sistema convencional de energia elétrica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar um estudo de caso sobre a instalação de um sistema fotovoltaico *on-grid* em uma residência em Anápolis-GO. Este trabalho tem como intuito incentivar a base para pessoas que desejam obter informações e observações sobre a viabilidade de se utilizar energia fotovoltaica.

1.2.2 Objetivos específicos

- Demonstrar o layout de funcionamento do sistema de geração de energia;

- Apresentar o dimensionamento da instalação de células fotovoltaicas no estudo de caso proposto.
- Relatar a demanda de geração de energia por meio da apresentação de memorial de cálculo;
- Denotar vantagens da instalação de painéis fotovoltaicos para geração própria em residência de médio porte;
- Estimar as vantagens econômicas do sistema analisado e instalado de placas solares;
- Compreender em quais situações o projeto é viável para instalação de acordo com as propriedades físicas dos painéis solares;
- Apresentar modelo para sociedade, a fim de incentivar o uso de painéis fotovoltaicos.

1.3 METODOLOGIA

A estrutura do trabalho será constituída em duas partes, a primeira parte refere-se ao levantamento bibliográfico e na segunda parte um estudo de caso.

Na primeira parte será descrito sobre a história e conceito da energia solar fotovoltaica, efeitos fotovoltaicos, células solares mais comuns utilizadas e os módulos fotovoltaicos, para firmar as discussões deste trabalho.

Na segunda parte será realizado uma proposta de dimensionamento de instalação de células fotovoltaicas mediante as condições referentes a um projeto usual regulamentadas e estipuladas por meio da consulta de catálogos e memoriais de cálculo comerciais, que apontará os critérios de instalação das placas de acordo com a funcionalidade e demanda residencial em estudo, situada na cidade de Anápolis-GO, onde o sistema fotovoltaico utilizado para estudo será os conectados à rede elétrica (on-grid).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por quatro capítulos.

Após a introdução, o capítulo 2 relata a história e a concepção da energia fotovoltaica. Além disso tem como proposta mostrar a base da conversão de luz solar em energia elétrica e os componentes que permitem esse acontecimento.

O capítulo 3 apresenta o estudo de caso onde será realizado demonstrativo de uma implantação de um Sistema solar conectado à rede (*on-grid*), instalado em uma residência na cidade de Anápolis-GO, ressaltando que a implantação não ocorrerá de fato. A partir desse estudo, são analisados os materiais utilizados, o tipo de instalação e o tempo de retorno do investimento, verificando sua viabilidade.

No capítulo 4 serão apontadas as conclusões encontradas no trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

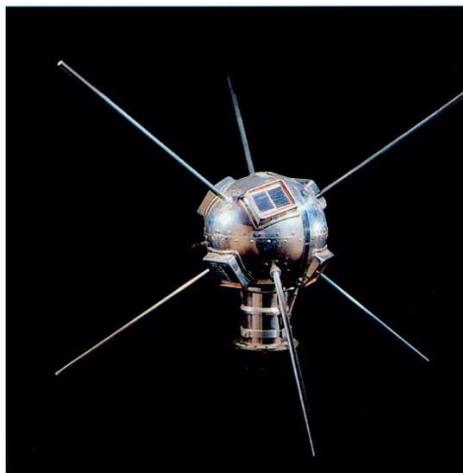
2.1 HISTÓRIA E CONCEPÇÃO

As células fotovoltaicas são sistemas de conversão direta de energia solar em energia elétrica. Esse princípio de funcionamento foi demonstrado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel que verificou uma diferença de potencial entre dois eletrodos mergulhados num eletrólito, quando um dos eletrodos foi submetido à luz (DACOL, 2011).

Em 1876 foi desenvolvido o primeiro mecanismo fotovoltaico resultante dos estudos das estruturas de estado sólido e somente em 1956 iniciou-se a produção industrial, advinda do desenvolvimento da microeletrônica (VALLÊRA, BRITO, 2006).

No princípio a energia fotovoltaica era sondada por empresas no setor de telecomunicações que buscavam fontes de energia para sistemas instalados em locais remotos. Posteriormente a corrida espacial também investiu em pesquisas fotovoltaicas, pois a energia solar é o meio mais adequados até os dias atuais para os longos períodos no espaço. Além disso os satélites espaciais também necessitavam desse tipo de energia, conforme a Figura 1, Vanguard I foi o primeiro satélite com células solares, lançado em março de 1958 levando a bordo um pequeno painel solar com 100 cm² visível na janela superior (VALLÊRA, BRITO, 2006).

Figura 1 - Imagem do satélite Vanguard I



Fonte: VALLÊRA, 2006.

Até esse momento o custo da energia fotovoltaica era bastante elevado e restrito. No entanto, no ano de 1973 a crise energética criou conceitos de aplicações terrestre. Reduziu em até 100 vezes o custo de produção dos painéis solares comparado aos que eram usados nas explorações espaciais. Dessa forma a energia solar começou a se tornar viável economicamente e novas empresas como do ramo de petróleo se interessaram por essa forma de conversão de energia e investiram nela (CRESESB 2014).

Com isso em 1998 foram gerados 150 MWp através da energia solar no mundo. Sendo os Estados Unidos o líder mundial dessa tecnologia na década de 90 (CRESESB 2014).

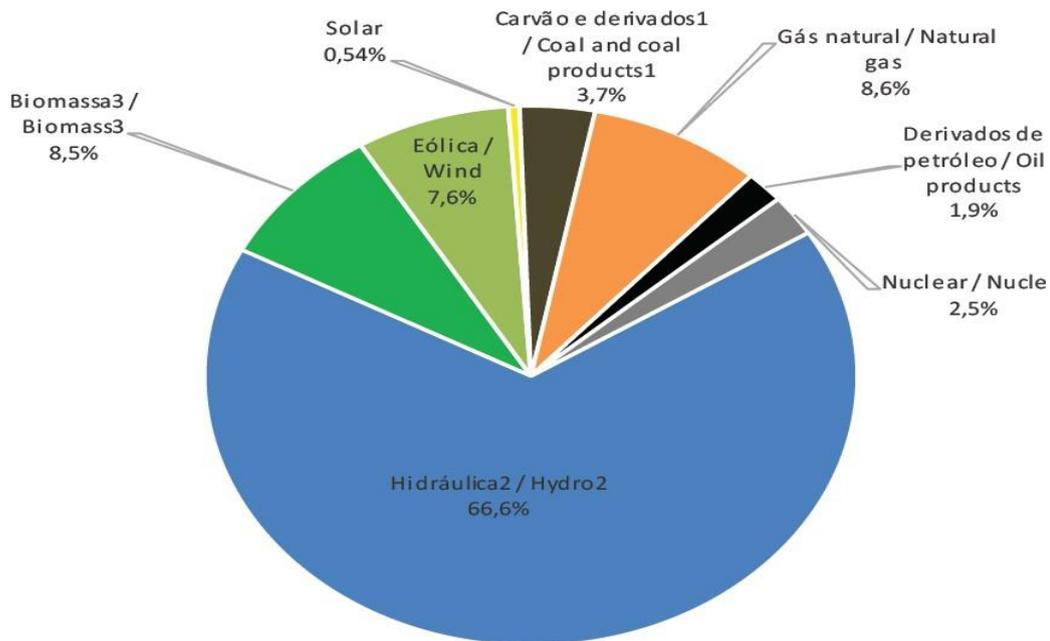
2.2 BALANÇO ELÉTRICO NACIONAL EM 2019

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 601,4 TWh em 2018, índice 2,0% superior ao de 2017.

A principal fonte de produção de energia elétrica no Brasil é a geração hídrica, que corresponde a 66,6% da oferta interna. A geração elétrica a partir de fontes não renováveis representou 17,6%, enquanto as fontes renováveis representam 83,3% (EPE,2019).

De acordo com a Figura 2, a energia solar, por sua vez, apresenta um índice baixo de oferta interna de energia elétrica, correspondendo a 0,54%, mas vem demonstrando crescimento nos últimos anos, tendo o Brasil um enorme potencial em produzi-la. Percebe-se, então, que nesse cenário a energia fotovoltaica ainda é pouco utilizada. Nesse sentido, esse estudo torna-se importante, pois nos traz a discussão sobre a temática (EPE,2019).

Figura 2 – oferta interna de energia nacional por fonte



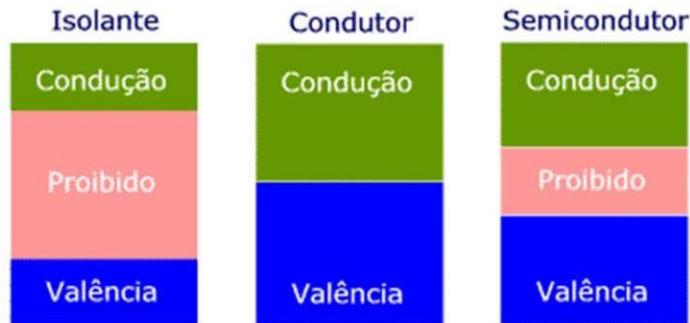
Fonte: EPE, 2019.

2.3 Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico pode ser observado em elementos conhecidos como semicondutores, que podem ser definidos como elementos que transitem energia de modo mais eficaz do que isolantes e de modo menos eficaz do que condutores, o fator que determina essa propriedade são faixas de valência (ou de energia) onde nota-se a presença de elétrons e zonas onde elétrons são totalmente ausentes, também conhecidas como faixa de condução, no meio dessas duas zonas encontra-se o hiato elétrico, sendo a dimensão desta que define se o material é um semicondutor.

Enquanto elementos isolantes apresentam esta faixa larga, materiais semicondutores apresentam faixa proibida média, de modo que fótons, na faixa de luz visível com energia acima do hiato de energia possam estimular elétrons da faixa de valência para a zona de condução. A figura 3 representa as faixas citadas (CINTRA JUNIOR; SOUZA, 2018).

Figura 3: Faixas de Energia.



Fonte: CINTRA JUNIOR; SOUZA, 2018.

Dentro os semicondutores o mais comumente utilizado em elementos fotovoltaicos é o silício. Seus átomos apresentam quatro elétrons que se associam aos vizinhos formando uma rede cristalina, se for acrescentado átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo (P), a rede terá um elétron a mais, que apresenta uma ligação sensível ao átomo, deste modo uma quantidade pequena de energia é capaz de movê-lo para a zona de condução, conforme Figura3. Por esta razão o fósforo é chamado de dopante doador de elétrons, bem como de dopante P ou impureza P (KONER, 1993).

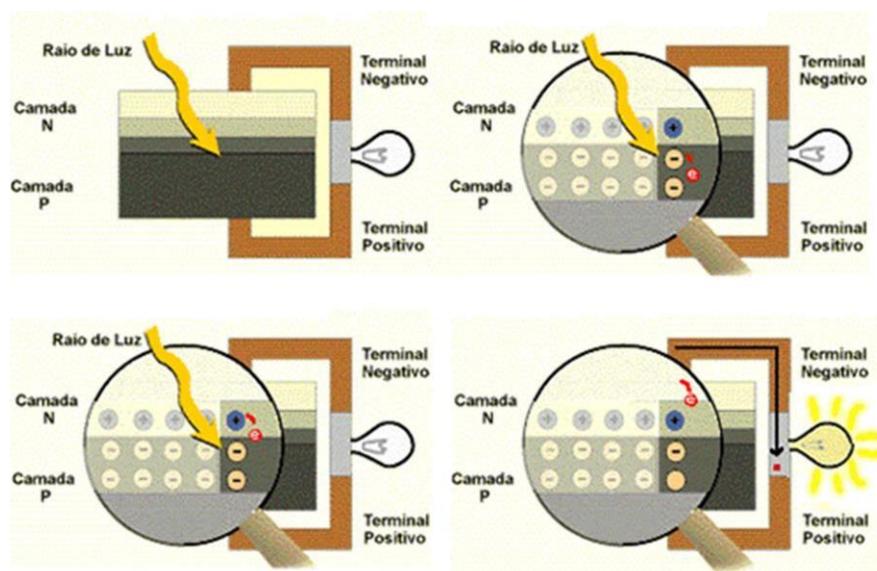
Se nesta mesma rede forem adicionados átomos com três elétrons de ligação, como o boro, poderá ser observada a carência de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos que compõe a rede. Esta carência é chamada de buraco ou lacuna e com uma quantidade razoavelmente pequena um elétron de sítio próximo pode passar para o desocupado, o que resulta em uma mudança de local da lacuna. Devido a isto o boro é chamado de dopante aceitador de elétrons, bem como de dopante B ou impureza B (CINTRA JUNIOR; SOUZA, 2018).

Se utilizarmos silício puro e adicionarmos em um lado átomos de boro e de outros átomos de fósforo, temos o que chamamos de junção PB. O interessante nesta junção é que elétrons livres da face P atravessam para o lado B, onde há lacunas que os prendem, causando um excesso de elétrons na face do boro, ficando com carga negativa e uma diminuição considerável de elétrons na face do fósforo, deixando-o com carga positiva. As cargas aprisionadas dão início a um campo elétrico que dificulta a transferência de elétrons do lado N para o lado P, alcançando o equilíbrio

quando constrói uma barreira que impossibilita a passagem de átomos livres restantes da face do fósforo (SOARES; VIEIRA; GALDINO, 2010).

Se a junção PB for submetida a fótons com energia superior ao da faixa proibida ocasionara uma produção de pares-lacuna, se esse fenômeno ocorrer num local onde o campo elétrico não é nulo as partículas são aceleradas, resultando em uma corrente de lado a lado na junção PN, essa movimentação de cargas inicia uma diferença de potencial, conhecido como efeito fotoelétrico. Caso as duas extremidades do elemento silício sejam associadas a partir de um fio, produzirá uma circulação de elétrons, sendo esse o alicerce das células fotovoltaicas. A Figura 4 apresenta como o efeito fotovoltaico ocorre no interior da célula fotovoltaica (CINTRA JUNIOR; SOUZA, 2018).

Figura 4: Formação de energia elétrica através de células fotovoltaicas



Fonte: Cresesb (2014).

2.3.1 Células solares

As primeiras células solares tinham um rendimento baixo, cerca de 2% e custavam em torno de US\$ 600/w. Hoje, graças as evoluções tecnológicas existem placas que podem ter uma eficiência de até 18% dependendo do material que é fabricada e com um preço médio de US\$ 6,00/W, sendo que, no futuro a tendência é que diminua ainda mais com a chegada de novas tecnologias e métodos de fabricação (CRESESB 2006).

Como já mencionado, conforme Cresesb (2006) o material mais usado na fabricação das células solares é o silício. As células podem ser classificadas de acordo com a estrutura molecular e a pureza desse elemento. Os mais comuns são: Silício monocristalino e silício policristalino, no entanto, há também os filmes finos de telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre índio e gálio (CIGS), silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) e silício microcristalino.

2.3.2 Silício monocristalino

A célula mais frequentemente utilizada como conversor direto de energia solar em energia elétrica é a de silício monocristalino. Esse sistema apresenta tecnologia para produção muito básica, porém consideravelmente organizado. Esse processo se inicia com a retirada do cristal de dióxido de silício do ambiente, depois esse material passa por processos de desoxidação em fornos de grandes dimensões, depois é purificado e solidificado, com esse processo o grau de pureza alcançado oscila entre 98% e 99%, essa pureza é razoavelmente efetiva tendo em vista sua relação custo-benefício, sob o ponto de vista energético. Para a operação da célula fotovoltaica, o silício necessita de outros elementos para atuarem como semicondutores, que apresentam um grau de pureza elevado, chegando a 99,999% de pureza (PINHO et al, 2008).

Para a aplicação do silício em projetos de eletrônico alguns pré-requisitos devem ser seguidos, o elemento deve apresentar altas porcentagens de pureza, se esqueleto deve ser monocristalina e possuir ainda reduzida densidade de imperfeições na rede. O procedimento mais comum utilizado para alcançar as características requeridas é conhecido como “Processo *Czochralski*” pelo qual o silício passa por uma liquefação, onde é agregada ao elemento uma pequena porcentagem de dopante, normalmente o boro que é do tipo P. Desta parcela do cristal é retirado o material fundido em um cilindro de silício monocristalino levemente dopado, esse procedimento é realizado sob um rigoroso controle da temperatura do material. Este cilindro apresenta grandes dimensões e é talhado em tamanhos de aproximadamente 300 μ m (MACEDO, 2006).

Feitos os cortes eles devem ser limpos e impurezas do tipo N inseridas para se obter a junção. Tal processo é feito através da difusão controlada, de forma que as fatias de silício, são expostas a temperaturas entre 800 e 1000 °C. A figura 5 apresenta um lingote de silício monocristalino. (CRESESB 2006).

Figura 5 – Lingote de silício monocristalino.



Fonte: *Bosch Solar Energy, AG* (2012).

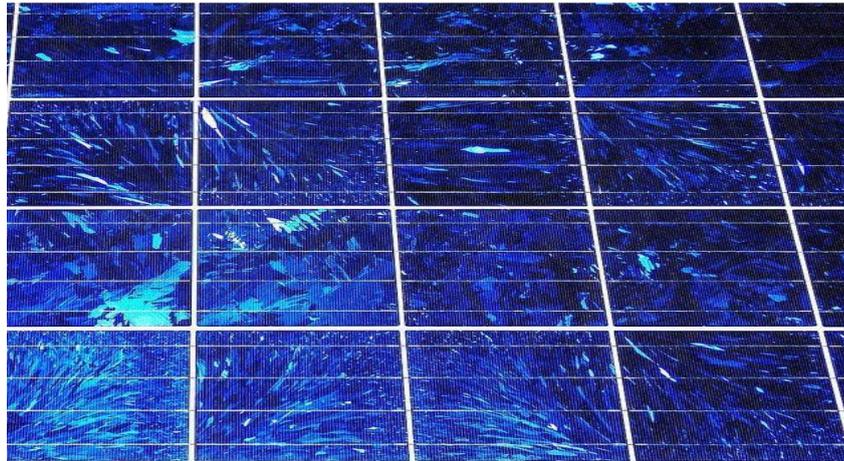
2.3.3 Silício policristalino

As células de silício policristalino são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso, o lingote de silício policristalino é formado por um aglomerado de pequenos cristais de vários aspectos, porém o baixo custo e forma de produção diminui um pouco a eficiência da célula, o processo de purificação do silício utilizada na produção das células de silício policristalino é semelhante ao processo do Si monocristalino, o que permite deixa mais compatível com relação aos níveis de eficiência, as técnicas de fabricação de células policristalinas são as mesmas na fabricação das células monocristalinas, porém com menores rigores de controle, tornando assim mais baratas. (VILLALVA,2017).

Também é produzido o wafers, do lingote de policristalino para a produção de células policristalinas, as células policristalinas têm aparência heterogênea, são encontradas na cloração azul, que pode sofrer alterações conforme a função e o

tratamento antirreflexivo. Na Figura 6 podemos observar o resultado da célula de policristalino já finalizada. (VILLALVA, 2017).

Figura 6 - Célula fotovoltaica de silício policristalino.



FONTE: LUX NOVA (2018).

2.3.4 Filmes finos

Segundo Gazoli, Villalva e Guerra (2012), os filmes finos são extraídos da pulverização de finas camadas de silício com apoio de uma base confeccionada de material rígido ou flexível. O preço de mercado dos filmes finos é menor pelo fato de sua fabricação não ter fragmentos de serragem de lingotes, portanto contribui para reduzir o desperdício de material e menor consumo de energia, devido ao uso de menores temperaturas. Esse material também se destaca por seu processo de fabricação ser menos complexo, fazendo que grande parte dos processos sejam automatizados o que beneficia a produção industrial.

Os filmes finos, de acordo com a Figura 7, podem ser produzidos no tamanho desejado, visto que possuem baixa eficiência energética necessitam de uma extensa área para realizar sua instalação e produzir o mesmo quantitativo energético que a tecnologia cristalina. Os custos da instalação são elevados. Porém, tem como vantagem o baixo coeficiente de redução de potência quando exposto a temperaturas elevadas, o que viabiliza a instalação em regiões com altas temperaturas. Por outro lado, tem como desvantagem a rápida degradação dos filmes finos (GAZOLI; VILLALVA; GUERRA, 2012).

Figura 7 – Módulos fotovoltaicos de filmes finos.



Fonte: *Bosch Solar Energy AG* (2012).

2.3.5 Silício amorfo

Em relação as tecnologias de filmes finos, o silício amorfo foi visto por algum tempo como a única solução comercialmente competitiva em comparação ao silício cristalino. A silício amorfo é um material utilizado pela maioria dos produtos eletroeletrônicos de baixo consumo energético, tais como relógios, calculadoras, sendo também utilizado na indústria de edificação, com os vidros, cristais e na produção de sistemas e módulos fotovoltaicos (GHENSEV, 2006).

O silício amorfo possui uma absorvidade para a radiação solar 40 vezes mais eficiente do que o silício monocristalino, o que permite que uma lâmina de apenas 1 micrometro seja capaz de absorver 90% da energia solar útil, o que apresenta um benefício em termos de quantidade de material para a fabricação de uma célula fotovoltaica (BÜHLER, 2011).

2.3.6 Telureto de cádmio (CdTe) e cobre-índio-gálio-selênio (CIGS)

Dentre os filmes finos as células de telureto de cádmio (CdTe) e CIGS (cobre-índio-gálio-selênio) possuem a maior eficiência. No entanto não são produzidas em larga escala. Isso se dá pois o cádmio (Cd) é tóxico e o telúrio (Te) é escasso na

natureza. As células CIGS não são tóxicas, mas seu custo é bastante elevado o que resulta em baixa produção (GAZOLI; VILLALVA; GUERRA, 2012).

No quadro 1 pode-se notar as eficiências de cada um dos materiais aqui descritos e compará-los a fim de analisar sua melhor aplicação.

Quadro 1 – Comparação de eficiências das células fotovoltaicas

Material da célula fotovoltaica	Eficiência da célula em laboratório	Eficiência da célula comercial	Eficiência dos módulos comerciais
Silício monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício policristalino	19,8%	15%	13%
Silício cristalino – filme fino	19,2%	9,5%	7,9%
Silício amorfo	13%	10,5%	7,5%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Telureto de cádmio	16,4%	10%	9%

Fonte:(GAZOLI; VILLALVA; GUERRA, 2012).

2.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Uma célula fotovoltaica possui baixa tensão e corrente de saída, para se ter tensões e correntes de saídas corretas para a sua utilização, é necessário o agrupamento de várias células formando um módulo fotovoltaico, como na figura 8. Esse agrupamento é indispensável, sendo que uma célula isolada não consegue fornecer a energia necessária, em uma tensão em torno de 0,4 volts no ponto de máxima potência.

De acordo com Carneiro (2010), para produzir energia, os sistemas fotovoltaicos, devem ser conectados por muitos módulos, sendo conectados em série ou paralelos. Conjuntos com mais de dez módulos em série são comuns em sistemas conectados à rede elétrica, que operam com tensões mais elevadas.

Figura 8 - Módulos fotovoltaicos de silício monocristalino.



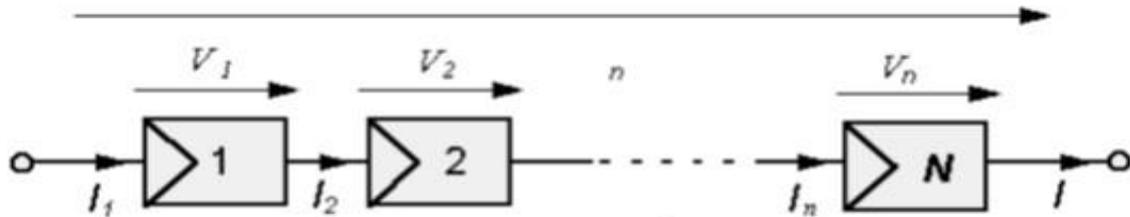
Fonte: *Bosch Solar Energy AG* (2012).

2.3.1 Associação dos módulos fotovoltaicos

A associação em paralelo raramente é usada, pois soma-se as correntes de cada módulo, mas a tensão continua a mesma da célula, que é muito baixa (em torno de 0,7V) por isso é inviável para geração de energia. (CRESCER 2014)

Entretanto, a associação em série, de acordo com a Figura 9, quando utilizada soma a tensão de cada célula. Com ela consegue-se facilmente obter a tensão de 12 V, o que é útil para recarregar baterias de igual tensão e facilita a instalação do conjunto de módulos para geração de energia. Tudo isso torna a associação em série ideal para utilização, sendo assim a mais utilizada.

Figura 9 – Arranjo das células em série.



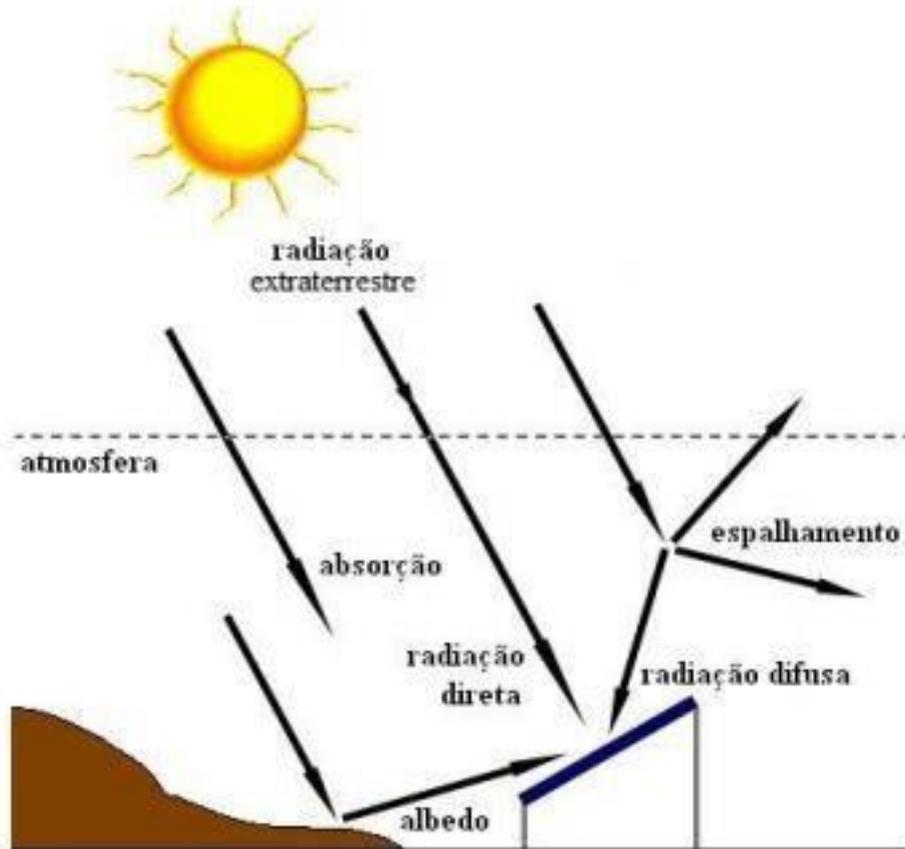
Fonte: Cresesb (2014).

2.4 RADIAÇÃO SOLAR A NÍVEL DO SOLO

A energia fornecida anualmente pelo sol para a terra, atinge $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar por ano. Comparado ao consumo mundial de energia no mesmo período, esse valor é 10.000 vezes maior. Isso mostra que a radiação solar é uma fonte inesgotável de energia, se tornando responsável pela manutenção da vida na Terra (CRESESB, 2006).

É denominada irradiância solar, a densidade média anual de energia que se têm pela radiação solar. Medida num ponto perpendicular aos raios solares no topo da atmosfera terrestre, essa irradiância é nomeada de constante solar e adota-se o valor de 1.367 W/m^2 . Se o raio médio da terra tem 6.371 Km , com esse valor, é calculado o valor total de potência disponibilizada pelo Sol na Terra, no ponto mais alto da atmosfera, que é aproximadamente 174.000 TW , valor que justifica a importância do sol enquanto fonte de energia (CRESESB, 2014).

Figura 10 - Componentes da radiação solar.



Fonte: Rodrigues, 2014.

De toda a radiação solar que atinge a superfície terrestre, como mostra a Figura 10, tem-se os seguintes dados: 30% é refletida para atmosfera; 47% aquece a superfície da terra; e 23% é absorvida na evaporação da água (REIS, 2017, p.248).

Analisando a radiação solar que chega até a superfície terrestre, é necessário considerar duas componentes, as diretas e as difusas.

A direta é definida por ser resultante diretamente da direção do sol, onde produz sombras nítidas, a difusa é resultante de todas as direções, pois atinge o solo depois de se propagar na atmosfera terrestre. A difusa costuma-se ocorrer em dias nublados.

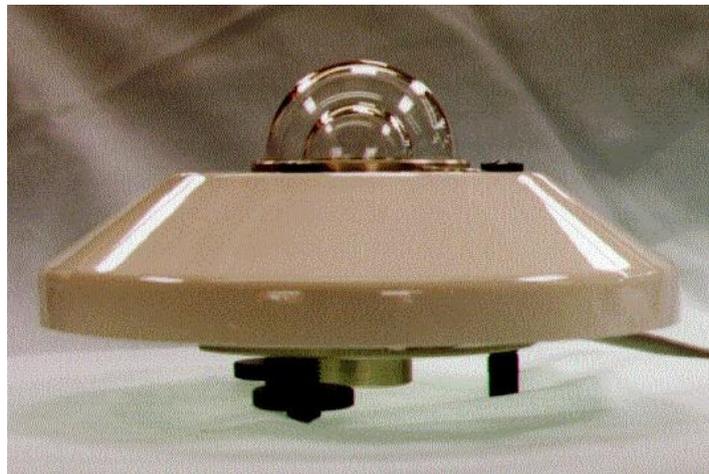
2.4.1 Medição da radiação solar

A medição da radiação solar na superfície terrestre é de extrema importância para o estudo das condições climáticas e atmosféricas. A leitura de equipamentos que fornecem estes dados possibilita verificar a eficácia na instalação de sistemas

captadores de energia solar e, com um histórico dessas medidas, pode-se viabilizar a instalação de sistemas fotovoltaicos em uma determinada região, garantindo o máximo aproveitamento da radiação ao longo do ano (TIBA, 2000).

Existem tipos variados de instrumentos que podem ser utilizados para realizar a medição, como os Pireliômetros, Heliógrafo, Actinógrafo, Piranômetro, dentre outros. Porém o equipamento mais utilizado costuma ser o Piranômetro, de acordo com a Figura 11, devido ao seu menor custo, ainda que não seja o mais preciso, tem sua vantagem principalmente em relação à economia (CRESESB, 2014).

Figura 11 - Piranômetro de Segunda Classe



Fonte: Cresesb, 2006.

Existem vários tipos de Piranômetros os de primeira classe (2% de precisão) e os de segunda classe (5% de precisão). Um dos modelos de Piranômetro é o que utiliza uma célula fotovoltaica de silício monocristalino para colher medidas Solari métricas, por questão do seu custo benefício, esse equipamento é bem utilizado, mas apresenta limitações quando exibe sensibilidade em apenas 60% da radiação solar incidente, essa limitação se dá pelas características da célula fotovoltaica (CRESESB, 2014).

2.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DISTRIBUÍDOS

A energia solar fotovoltaica, teoricamente é, a energia captada através da conversão da luz solar em eletricidade pelas células fotovoltaicas contidas em módulos fotovoltaicos. Os sistemas fotovoltaicos são classificados do seguinte modo:

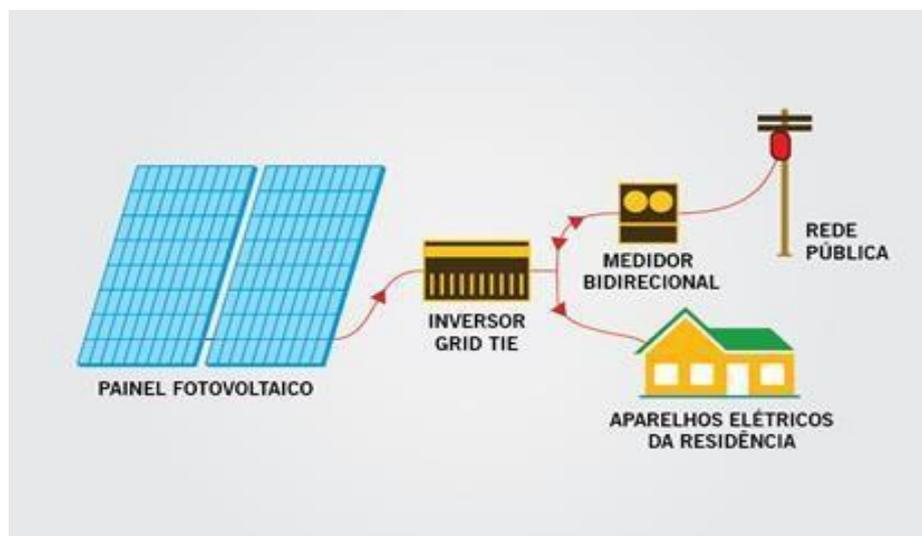
sistemas isolados (*off-grid*), desconectados da rede pública; sistemas conectados (*on-grid*), conectados pela rede pública de energia; E o sistema híbrido, que utiliza das características dos sistemas citados anteriormente (ALVES, 2016).

2.5.1 Sistemas conectados à rede elétrica (**ON-GRID**)

Esse tipo de sistema tem sua característica principal, a geração de energia elétrica no próprio local de consumo, interagindo com a rede elétrica que é a fonte distribuidora do local em questão. A energia gerada deve ser maior que a consumida, caso não seja o cliente só paga para concessionária o consumo superior utilizado.

Sistemas distribuídos, não necessitam de baterias, são formados pelo painel fotovoltaico e o inversor, além dos componentes e comando e de proteção, como mostra na figura 12. (ANEEL 2012).

Figura 12 - Diagrama representativo do sistema *on-grid*.



Fonte: Empresa Redsol (2017).

Componentes desse sistema:

- 2.5.1.1 Painéis fotovoltaicos;
- 2.5.1.2 Inversor de frequência: dispositivo elétrico capaz de converter um sinal elétrico de corrente contínua em um sinal elétrico de corrente alternada;
- 2.5.1.3 Medidor bidirecional: mede a quantidade de energia que excede e é jogada para a rede;
- 2.5.1.4 Quadro de luz: distribui energia para a residência.

3 ESTUDO DE CASO

A pesquisa abordada a seguir tem como finalidade explorar a viabilidade sustentável e econômica em relação a instalação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede (*on-grid*), levando em consideração as normas da Aneel contidas na Resolução 482/2012.

O objeto desse estudo é uma residência unifamiliar de três quartos, construída na rua Vp 01 quadra 49 lote 08 A, no bairro Vale dos Pirineus em Anápolis, como pode-se ver na Figura 13.

É importante ressaltar que tal implantação não ocorreu de fato, sendo assim, tal estudo serve apenas como demonstrativo.

Figura 13 - Localização do lote 8 A



Fonte: Google maps (2020).

3.1 DADOS DA EDIFICAÇÃO

A sequência do estudo revela dados adicionais do local ao qual será proposto a instalação de energia solar fotovoltaica. Esses dados incluem a estrutura da residência e principalmente o nível de radiação solar médio, pois é a chave para a obtenção de energia.

Através de estudos preliminares pode-se notar que a residência foi construída pela construtora JF SOARES, a fim de ser vendida pela CAIXA. Portanto, houve a fiscalização de um engenheiro durante sua execução. Além disso foi constatado que tal imóvel possui laje pré-moldada, estrutura do telhado em madeira e telhas de concreto, informações que são importantes para instalação correta dos módulos fotovoltaicos.

Pode-se determinar também que não há nenhum sombreamento causado por estruturas vizinhas, como se pode ver na Figura 13. As coordenadas geométricas do local são: Latitude: 16,301° S e Longitude: 48,949° O. Sendo assim é possível mensurar sua irradiação solar, através do Quadro 2 abaixo CRESESB (2018), no qual se refere a uma ferramenta auxiliar para dimensionamentos fotovoltaicos.

Quadro 2: Irradiação solar diária média

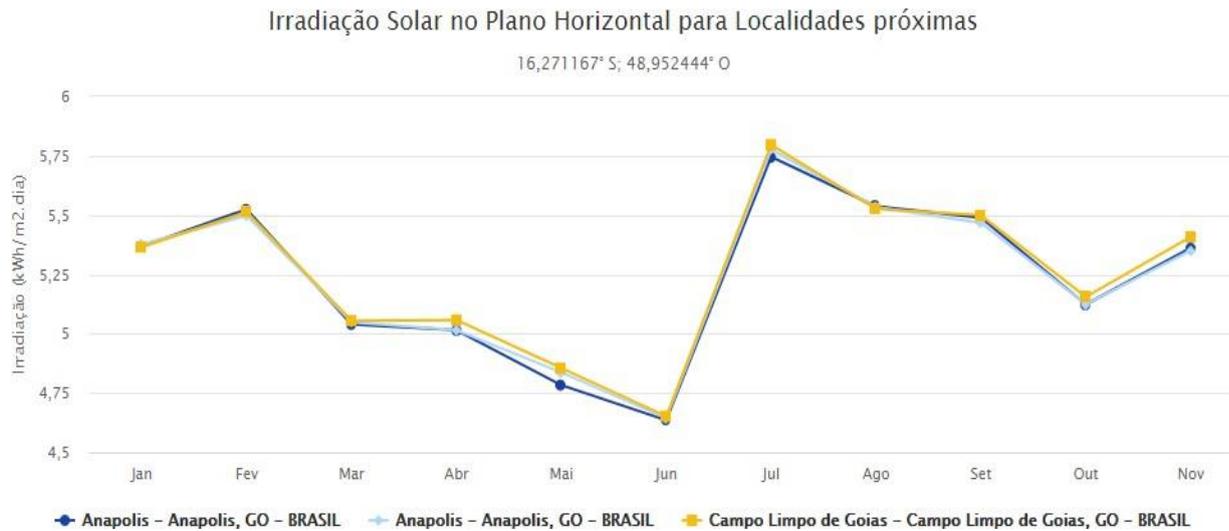
Município	Irradiação solar diária média [kW/m ² . dia]																
	Latitude	Longitude	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Agosto	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Anápolis	16,301° S	48,949° O	3,1	5,37	5,52	5,04	5,01	4,78	4,64	4,90	5,75	5,54	5,49	5,12	5,36	5,21	1,11
Anápolis	16,401° S	48,949° O	8,1	5,38	5,54	5,00	5,01	4,79	4,60	4,88	5,70	5,53	5,52	5,14	5,33	5,20	1,11
Campo Limpo de Goiás	16,301° S	48,049° O	10,6	5,37	5,51	5,06	5,06	4,86	4,65	4,90	5,80	5,53	5,50	5,16	5,41	5,23	1,14

Fonte: Adaptado de CRESESB (2018).

De acordo com o Quadro 2, determina-se que o imóvel em estudo possui um nível de irradiação solar médio de 5,21 kW/m² ao mês. Com isso é possível avaliar também o desempenho da irradiação solar no plano horizontal. Fica evidente que o

mês de julho possui maior teor de irradiação solar, com cerca de 5,74 kW/m² e junho o menor, com cerca de 4,65 kW/m², como mostra a Figura 14.

Figura 14: Irradiação solar no plano horizontal para localidades próximas.



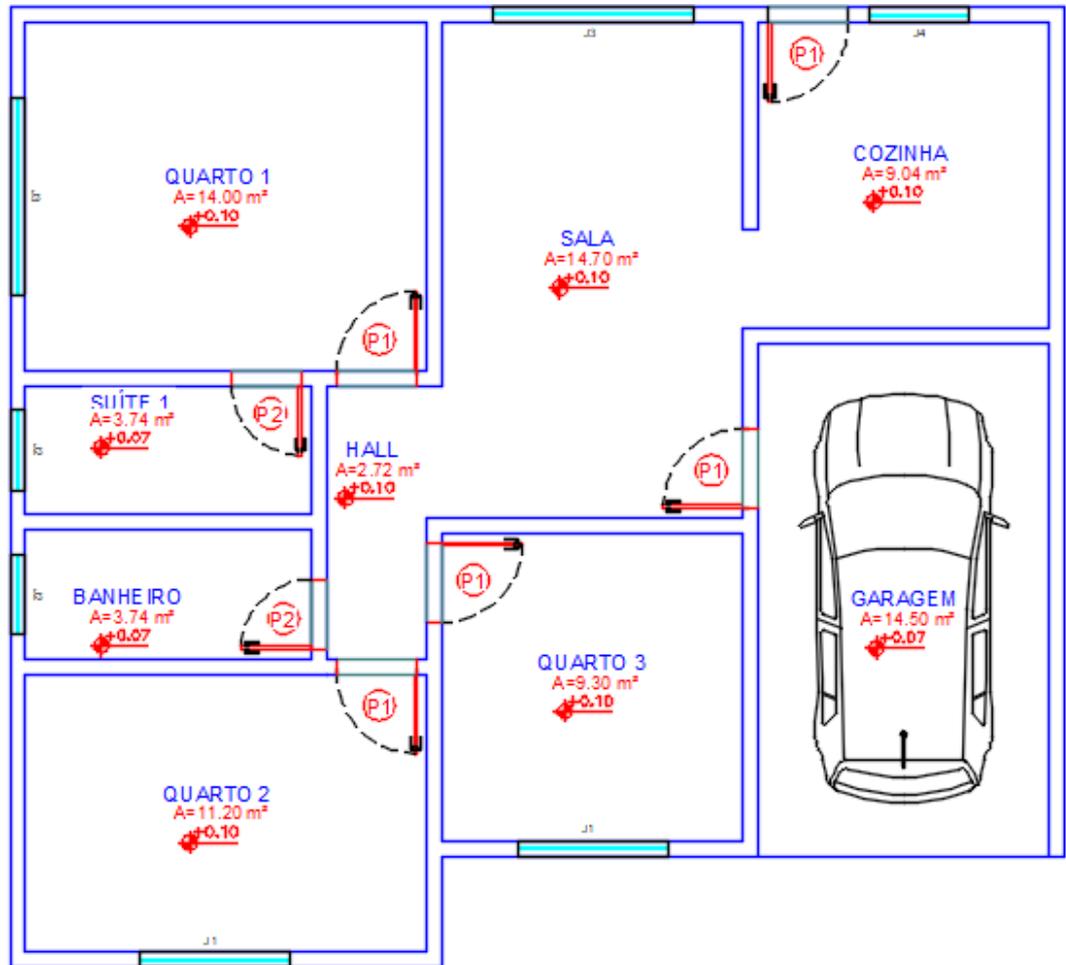
Fonte: CRESESB (2018).

3.2 ESTIMATIVA DE CONSUMO ENERGÉTICO

Para efetuar cálculos de dimensionamento do sistema fotovoltaico é necessário possuir o histórico de consumo do cliente, ou seja, as faturas de energia dos doze meses anteriores para se obter uma média anual, a fim de se obter um dimensionamento preciso. No entanto, como já mencionado, esse estudo não ocorreu de fato. Sendo assim, não foram coletados dados do histórico de consumo, por isso será feita uma estimativa de consumo.

Para realizar a estimativa de forma mais precisa será considerada a planta baixa real do imóvel, como pode-se ver na Figura 15. Os equipamentos elétricos mais populares nas residências brasileiras serão levados em conta para obtenção da suposta média de consumo.

Figura 15: Planta baixa do imóvel em estudo



Fonte: Próprio autor (2020).

Com base na quantidade de quartos (3), este será o suposto número de pessoas a ser levado em conta para a seguinte estimativa, descrita no Quadro 3.

Quadro 3: Estimativa de consumo mensal.

	Quantidade	Potência (W)	Uso mensal (dias)	Horas (por dia)	Consumo mensal (KWh)
Geladeira Duplex	1	65	30	24	46,8
Iluminação quartos	3	10	30	4	3,6
Iluminação banheiros	2	7	30	2	0,84
Iluminação sala	1	10	30	3	0,9

Iluminação garagem	1	10	30	2	0,6
Iluminação cozinha	1	10	30	4	3,6
Iluminação área externa	2	10	30	3	1,8
Chuveiro elétrico	2	3500	30	0,75	78,75
Micro-ondas 20 Litros	1	620	30	0,5	9,3
Lavadora de roupa	1	310	8	1	2,48
Ferro elétrico	1	150	8	2	2,4
Televisor Led	2	130	30	3	23,4
Filtro de água	1	6	30	24	4,32
Computador	1	120	30	5	18
					Total= 196,79kWh /mês

Fonte: (de Sá, 2016).

3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Em vista do valor obtido através da estimativa mensal de 196,79 kWh/mês será dimensionado um sistema fotovoltaico que supra totalmente o consumo dessa suposta residência.

Tomando como base o memorial de cálculo e descritivo desenvolvidos nos trabalhos de (Monteiro e Zini, 2019) e (Sá, 2016) para discorrer o cálculo de dimensionamento, é mais usual trabalhar com o valor de geração diária. Utiliza-se a equação abaixo, para determinar o valor do “Consumo Médio Diário”:

$$Cm \text{ diário} = \frac{cm}{30} \quad (1)$$

Onde:

- Cm diário: Consumo em Média Diária – em kWh/dia;
- 30: Constante referente à quantidade de dias do mês, em média.

Portanto utilizando-se esta equação, com base nos valores obtidos anteriormente, obtém-se:

$$Cm \text{ diário} = \frac{Cm}{30} = \frac{196,79}{30} = 6,55 \text{ kWh/dia} \quad (2)$$

Sendo assim, conforme descrito na equação 1, o sistema ideal deve gerar no mínimo 6,55 kWh/dia, mas é necessário otimizar o sistema devido às perdas de energia que ocorrem nos cabos e no inversor por aquecimento, como descrito no efeito Joule. Além disso existem dias mais nublados ou chuvosos, que implicam em uma geração reduzida. A fim de compensar tais perdas adiciona-se 20% na geração diária de energia, conforme expresso a seguir:

$$Cm \text{ diário} + 20\% = 7,86 \text{ kWh/dia} \quad (3)$$

O próximo passo é descobrir qual a potência pico do sistema fotovoltaico. Para isso é necessário dividir o consumo médio diário pela irradiação solar média em Anápolis, já obtida anteriormente no Quadro 3, segundo CRESESB (2018).

$$Wp = \frac{Cm_{\text{diário}}}{I_s} \quad (4)$$

Onde:

- Wp = É a potência pico do sistema;
- I_s = Irradiação solar em kW/m².dia.

Calcula-se, portanto, através dos dados já obtidos, da seguinte forma:

$$Wp = \frac{Cm_{\text{diário}}}{I_s} = \frac{7,86}{5,21} = 1,50 \text{ kWp} \quad (5)$$

A seguir será calculado o número de placas fotovoltaicas necessárias. Para isso divide-se a potência pico pela potência de cada placa solar, que neste caso será utilizado de 340 w, equivalente a 0,34 kW.

$$N = \frac{W_p}{P_{placa}} \quad (6)$$

Onde:

- N = número de placas;
- P_{placa} = potência de uma placa fotovoltaica.

Utilizando esta equação, obtém-se:

$$N = \frac{W_p}{P_{placa}} = \frac{1,50}{0,34} = 4,41 \approx 5 \text{ placas} \quad (7)$$

O último passo é dimensionar a potência do inversor que será utilizado. Para isso deve-se multiplicar a quantidade de placas pela sua respectiva potência em kW.

$$PI = N \times P_{placa} \quad (8)$$

Onde:

- PI = potência necessária do inversor para o sistema.

Por fim o cálculo ocorre da seguinte forma:

$$\text{Potência Inversor} = N \times P_{placa} = 5 \times 0,34 = 1,70 \text{ kW} \times 1000 = 1700 \text{ Wp} \quad (9)$$

Porém, segundo o Portal Solar (2017), recomenda-se que a utilização de um inversor sempre seja de potência menor à do sistema, para se obter maior eficiência, superdimensionando o mesmo com até 1/3. Assim, quando os painéis são superdimensionados, o inversor gastará menos tempo por operar com menor eficiência em luz solar fraca, dessa maneira a eficiência média mais alta otimiza a compensar a perda de energia elétrica quando a saída de energia dos painéis exceda a capacidade nominal do inversor.

Sendo assim, seguindo essa recomendação a potência do inversor será de 1500 Wp.

3.4 ANÁLISE DO CUSTO

A fim de explorar a viabilidade econômica do sistema dimensionado foi realizado um estudo com base em PORTAL SOLAR, 2020.

O Quadro 4 a seguir mostra os preços dos materiais necessários para instalação.

Quadro 4: Orçamento dos materiais.

Quantidade	Material	Valor R\$
5	Placa Solar 340 Wp – ASTRONERGY	3703,45
1	Inversor ongrid growatt grid tie 1500-s	1815,07
2	Protetor surto CA SPW275-20	61,70
3	Conector MC4 6 mm ²	66,68
50	Cabo CC Unipolar flexível NH 6 mm ² Preto	136,12
50	Cabo CC Unipolar flexível NH 6 mm ² Preto	136,12
1	Disjuntor CA MDW-B16-2	32,15
2	Estrutura para telhado Cerâmico 5 módulos em retrato	1680,29
	TOTAL	7631,58

Fonte: Portal solar, 2020.

A partir dessas informações pode-se determinar o custo total do sistema, levando em conta o preço médio da mão-de-obra na região somado ao valor do projeto em torno de 5000 reais, o valor final do sistema é de R\$ 12.631,58.

Com o intuito de se estimar o tempo de retorno de investimento (*payback*) será colocado em pauta os cálculos necessários para se obter tal resultado.

Para o cálculo do tempo de retorno, leva-se em conta a tarifa vigente de R\$ 0,90/kWh no ano de 2020, adicionando uma inflação energética projetada de 6% ao ano, segundo dados obtidos da enel.

Para calcular a economia mensal, leva-se em consideração o consumo de energia média, subtraída pelo custo de disponibilidade, que é de 30kwh/mês. Sendo assim, para obter o valor anual, multiplicamos a compensação mensal pelos 12 meses decorrentes, resultando em uma economia de R\$ 1801,33 no primeiro ano. No ano seguinte, 2021, o valor de economia anual será de R\$ 1921,43, no ano de 2022, será equivalente a R\$2021,50, em 2023 será de R\$ 2141,58, em 2024 será de R\$ 2281,69, por fim em 2025 será de R\$ 2421,79.

Portanto o sistema implantado irá gerar um retorno de investimento após o sexto ano, quando o valor da economia produzida será superior ao valor do projeto proposto, de R\$ 12631,58.

Com isso pode-se notar no Quadro 5 um resumo desse sistema.

Quadro 5: Resumo do Sistema Dimensionado.

Potência pico do sistema	1,50 kWp
Área ocupada pelas placas	9,70 m ²
Radiação solar do local	5,21 kWh/m ² /dia
Geração mensal do sistema	196,79 kWh/mês
Total do Investimento com mão de obra	R\$12.631, 58
Retorno do Investimento (<i>payback</i>)	6 anos

Fonte: (Monteiro e Zini, 2019) – Adaptado.

4 CONCLUSÃO

O estudo de caso apresentado, teve como objetivo analisar a viabilidade sustentável e econômica de um sistema de energia solar fotovoltaica conectado à rede (*on-grid*), em uma residência construída na rua Vp 01 quadra 49 lote 08 A, no bairro Vale dos Pirineus em Anápolis-GO. A construção desse trabalho objetivou em uma estimativa de como seria a instalação, os custos e o lucro caso a instalação ocorresse de fato na residência analisada, sendo assim despertando o interesse para a aquisição de projetos como este abordado no estudo de caso, além de promover projetos sustentáveis na cidade proposta.

Os resultados obtidos a partir do *payback* mostrado no quadro 4, demonstraram que o projeto de implantação de energia solar fotovoltaica como alternativa de redução de custos é viável para um período de médio prazo, considerando os dados propostos e o tempo de retorno de investimento em 6 anos.

Conclui-se que, além de apresentar viabilidade econômica para implantação do projeto na residência analisada, foi colocado em pauta que a energia solar é uma das

mais importantes fontes de energia renováveis.

Projetos como este adotado, contribuem diretamente no mercado com o incentivo de pesquisas no ramo, aprimorando cada dia mais a implantação de geradores e usinas solares fotovoltaicas, quanto mais também ao meio ambiente minimizando impactos ambientais e indiretamente a emissão de CO₂ na atmosfera.

Sendo assim fica claro que até mesmo edificações de pequeno porte podem ser contempladas com a utilização de minigeração solar fotovoltaica, sendo um benefício tanto ao proprietário quanto ao meio ambiente, pois tal método de geração é cem por cento sustentável.

REFERÊNCIAS

MONTEIRO, F. S. / ZINI, H. C.; **Geração de energia a partir de células fotovoltaicas: estudo de viabilidade de implantação de uma usina de microgeração fotovoltaica.** TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 2019.

Sá, V. S.; **Estudo de viabilidade de utilização de sistema de geração fotovoltaica conectado à rede no Brasil.** TCC, Curso de Engenharia Civil, UFOP, Ouro Preto, MG, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas – procedimento: NBR8681.** 2004

CRESESB; **Energia Solar: princípios e aplicações.** Rio de Janeiro, 2006.

CRESESB; **Energia Solar: princípios e aplicações.** Rio de Janeiro, 2014.

DACOL, R. P. Processamento Eletrônico de Energia Fotovoltaica. UDESC. Joinville, p. 30. 2011. Publicação interna do nPEE.

REIS, L. B.; **Geração de energia elétrica: 3. ed. ver., ampl. e atual-Barueri Manole,** 2017. 247p. a 265p.

VALLÊRA, A. M.; BRITO, M. C.; **MEIO SÉCULO DE HISTÓRIA FOTOVOLTAICA.** Gazeta de Física, Lisboa, 2006.

PINHO, J. T. et al. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel - Cresesb, 2014. 530 p.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 482,** de 17 abr. 2012.

RIBEIRO, B. E.; **ENERGIA FOTOVOLTAICA – ESTUDO DO FUNCIONAMENTO, INSTALAÇÃO E SUA VIABILIDADE NO BRASIL**, TCC, CURSO DE ENGENHARIA CIVIL, UNIEVANGELICA, ANAPOLIS, GO, 2018.

CARNEIRO, J.; MÓDULOS FOTOVOLTAICOS - CARACTERÍSTICOS E ASSOCIAÇÕES. UNIVERSIDADE DO MINHO. ESCOLA DE CIÊNCIAS - DEPARTAMENTO DE FÍSICA. CAMPUS DE AZURÉM, PORTUGAL, 2010.

ALVES, G. H.; **Projeto e análise da viabilidade econômica da instalação de painéis fotovoltaicos no setor industrial**. 2016. 106f. Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica, da Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2016.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R.; **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações – sistemas isolados e conectados à rede**. Editora Érica, 2012. ANEEL.

EPE; **Balço energético nacional 2019**: ano base 2018. Rio de Janeiro, 2019.

PEREIRA, A. C.; **Geração de Energia para Condomínio Utilizando Sistema Fotovoltaico Autônomo – Estudo de Caso em Edifício Residencial com Seis Pavimentos**, 2010. 46f. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG.

SOARES, G. F. W.; VIEIRA, L. S. R.; GALDINO, M. A.; OLIVIERI, M. M. A.;

BORGES, E. L. P.; CARVALHO, C. M.; LIMA, A. A. N. **Avaliação Técnico-Econômica da Aplicação de Sistemas Fotovoltaicos Individuais e de Centrais com Minirredsr na Eletrificação Rural**. Revista Brasileira de Energia Solar, v. II, p. 117-128, 2010.

KONER, P. K. **A review on the diversity of photovoltaic water pumping systems**. RERIC International energy journal, v. 15, n. 2, 1993.

CINTRA JÚNIOR, A.; SOUZA, I. M.; **Células fotovoltaicas: O futuro da energia alternativa**. TCC, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia–FACEG, Goianésia, GO, 43p.2018.

PINHO, J.T.; BARBOSA, C.F.O.; PEREIRA, E.J.S; SOUSA, H.M.S; BLASQUES, L.C.
Sistemas híbridos – Soluções energéticas para a Amazônia. 1 ed. Brasília, Brasil: Ministério de Minas e Energia, 2008. 396 p.

MACEDO. W. N. **Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. São Paulo, Brasil: Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. Brasil, 2006. 183 p.

VILLAIVA, M. G.; GAZOLI, J. R.; **Energia Fotovoltaica: conceito e aplicação sistema isolados e conectados à rede**. 2ª Edição revisada e Atualizada, Editora Saraiva, 2017.

TIBA, C. et al, **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Solarimétrico**. Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia – Departamento de Energia Nuclear UFPE. Recife, 2000.

GHENSEV, A.; **Materiais e processos de fabricação de células fotovoltaicas**. 2006. 154 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-graduação Latu Sensu em Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2006.

BÜHLER, A. J.; **Estudo de técnicas de determinação experimental e pós processamento de curvas características de módulos fotovoltaicos**. 2011. 195 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.