

ENERGIAS RENOVÁVEIS: ESTUDO DE CASO DE APLICAÇÃO RESIDENCIAL DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

OLIVEIRA, Gessyelle Vilela ¹

Centro Universitário Academia - UniAcademia

ABRITTA, Camila do Carmo Almeida ²

Centro Universitário Academia – UniAcademia

FERNANDES, Victor ³

Universidade Federal Fluminense - UFF

Linha de pesquisa: Sistemas de Energia Elétrica

RESUMO

O aumento crescente do consumo da energia elétrica em razão do desenvolvimento econômico, populacional e tecnológico desencadeou a necessidade de diversificar a matriz energética e assim buscar por fontes renováveis. Frente à grande necessidade da inserção do uso de energias renováveis no cenário atual, o presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre energias renováveis: energia eólica, biomassa, geotérmica, maremotriz e solar, uma visão ampla acerca da energia elétrica gerada através dos raios solares, abordando os tipos de sistemas fotovoltaicos, as células que dominam o mercado mundial e os componentes básicos de um sistema solar. Conjuntamente este trabalho apresenta um estudo de caso de aplicação residencial de energia solar fotovoltaica conectado à rede, incluindo um dimensionamento ideal e um dimensionamento real, bem como uma comparação entre os sistemas. O sistema apresentado para suprir a demanda de energia da residência em análise é composto por 8 módulos com potência de 380 Wp e inversor com potência de 3 kW.

Palavras Chaves: Energia Elétrica, Matriz energética, Fotovoltaica.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia - UniAcademia.

² Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.

³ Professor do curso de Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense.

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, não é mais possível imaginar uma sociedade que não tenha a presença de energia elétrica, a qual tem sido gerada e consumida em grande escala e de forma progressiva. Tarefas antes realizadas de forma manual e mecânica hoje em dia são realizadas através de circuitos eletrônicos e autônomos. Portanto, novas fontes de energia vêm sendo solicitadas para suprir a demanda energética moderna.

As fontes de energia renováveis são compostas pelas usinas eólicas, de biomassa, geotérmicas, maremotriz e a solar. Devido ao fato de que essas fontes contribuirão para um futuro da geração sustentável com um menor impacto ao meio ambiente, elas têm a tendência de ganhar uma grande participação na matriz energética mundial (BEIGELMAN, 2013).

Em vista da grande demanda de energia na atualidade, a natureza vem se degradando com o uso de fonte de energias não renováveis, como a de combustíveis fósseis, devido à grande emissão de gases poluentes produzidas por elas. Portanto, fontes limpas e renováveis que possam reduzir os impactos ambientais e gerar um desenvolvimento sustentável vêm sendo investigadas, e uma fonte que vem se destacando é a proveniente dos raios de luz (ondas eletromagnéticas), a energia solar fotovoltaica.

Algumas vantagens que fazem com que a energia solar fotovoltaica cresça no Brasil é o aumento na conta de energia elétrica, esse fato ocorre devido a matriz energética atual ser proveniente de hidrelétricas. Com as poucas chuvas na atualidade, as hidrelétricas ficam com pouca capacidade, necessitando acionar outras fontes energéticas para suprir a demanda. Como os custos dessas fontes são mais elevados, o valor da conta de energia aumenta consideravelmente, favorecendo a instalação de um sistema fotovoltaico para o consumidor final (ROSA e GASPARIN, 2016).

Outro ponto favorável para a inserção dessa tecnologia no Brasil é a sua localização privilegiada, por ser um país tropical há uma grande incidência solar, contribuindo para a geração da energia. Todavia, ainda é um país que está longe de alcançar uma expansão significativa da tecnologia na matriz energética, pois a energia solar fotovoltaica ainda é muito nova para o país, tanto na produção dos

equipamentos, quanto na regulamentação, obtendo obstáculos tributários e institucionais (ROSA e GASPARIN, 2016).

1.1 OBJETIVO

Frente à grande necessidade da inserção do uso de energias renováveis no contexto mundial, o principal objetivo deste trabalho de conclusão de curso é fornecer uma visão ampla acerca da energia elétrica gerada através dos raios solares, assim como apresentar um estudo de caso de aplicação residencial de energia solar fotovoltaica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentadas, de maneira sucinta, algumas alternativas de energias renováveis, tais como, a eólica, de biomassa, a geotérmica, a maremotriz e a solar, em que esta última será o foco deste trabalho de conclusão de curso. Com base nessas informações pode-se construir a metodologia para alcançar os objetivos descritos em 1.1 deste trabalho.

Energias não renováveis são aquelas que requerem tempo geológico para sua reposição, como as provenientes da fissão nuclear e as provenientes dos combustíveis fósseis, carvão mineral, gás natural, petróleo e derivados. Já as renováveis são aquelas fontes que são respostas imediatas da natureza, como a energia eólica, de biomassa, a geotérmica, a maremotriz e a solar (GOLDEMBERG e LUCON, 2006).

2.1 ENERGIA EÓLICA

A energia proveniente dos ventos ou as correntes de ar já é conhecida há mais de 3000 anos, através da conversão da energia cinética dos ventos em energia mecânica, utilizada nos moinhos. Já a energia eólica propriamente dita, é conhecida há cerca de 150 anos. Ela é um exemplo promissor de energia renovável, devidos seus impactos serem baixos, como segurança energética, custos socioambientais e

viabilidade econômica. A geração de energia é obtida através das turbinas eólicas, que convertem a energia cinética dos ventos em energia mecânica através da rotação das pás do rotor e transformada em energia elétrica pelo gerador. Porém, nem toda energia fornecida pelos ventos é transformada em energia elétrica, somente 59% da potência total é extraída, o restante da potência é perdido através de perdas mecânicas (MARTINS, GUARNIERI e PEREIRA, 2007).

2.2 ENERGIA DE BIOMASSA

De acordo com Pacheco (2006, p. 6) “Energia de biomassa é a energia química produzida pelas plantas na forma de hidratos de carbono através da fotossíntese. Plantas, animais e seus derivados são biomassa.” A utilização da biomassa como combustível, pode ser produzida na sua forma bruta ou de seus derivados.

A energia de biomassa engloba várias subcategorias, as tradicionais, que são provenientes da lenha e dos resíduos de animais e vegetais, e as modernas como o etanol, o biodiesel, bagaço de cana e gás de aterros sanitários (GOLDEMBERG e LUCON, 2006).

2.3 ENERGIA GEOTÉRMICA

A Energia Geotérmica é a energia produzida do calor oriundo do interior da Terra, esse calor pode ser dissipado em qualquer parte da superfície terrestre. Entretanto, existem locais onde a liberação desse calor é mais acentuada, geralmente, devido as zonas ativas das fronteiras das placas tectônicas do planeta (BICUDO, 2019). A aplicação dessa energia é basicamente de duas formas, a utilização direta do calor ou a produção de energia elétrica (OMIDO, BARBOZA e MOREIRA, 2017).

2.4 ENERGIA MAREMOTRIZ

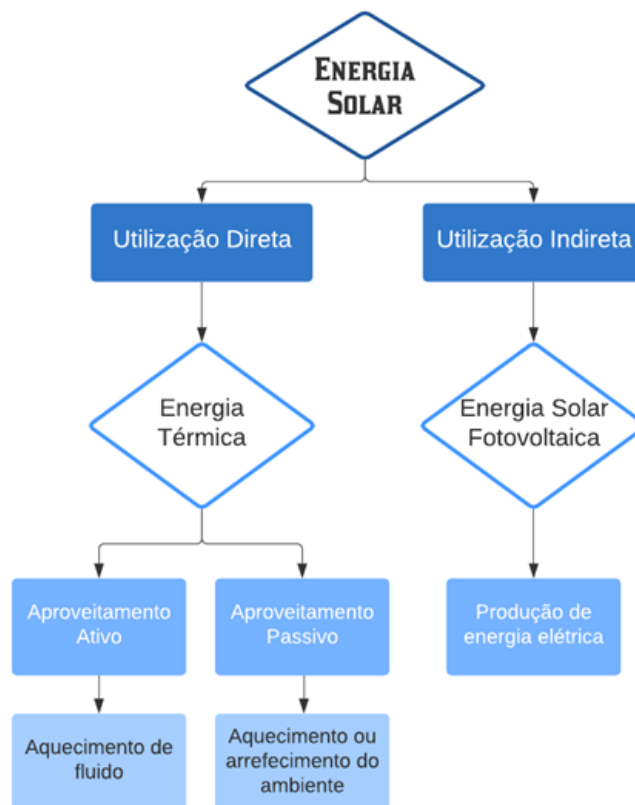
A energia maremotriz é aquela em que se utiliza a força das marés para produção de energia elétrica, porém, apenas alguns lugares do mundo têm amplitude suficiente de mares e condições geográficas favoráveis para tal exploração. A

exploração da energia nas marés, na sua grande maioria é utilizando turbinas instaladas em barragens, mesmo princípio das hidrelétricas, assim criando um desnível suficiente entre os lados da barragem, fazendo com que as turbinas sejam acionadas. Porém, essas instalações necessitam de marés de grande amplitude e características geográficas específicas, o que dificulta sua implementação. Existe também a exploração através das correntes das marés e ondas, onde sistemas modulares de turbinas são colocados diretamente no leito do mar, esse é um sistema mais simples de ser implementado (NETO, SAAVEDRA, CAMELO, RIBEIRO e FERREIRA, 2011).

2.5 ENERGIA SOLAR

Energia solar é aquela proveniente do sol, portanto, abundante e de fácil acesso para todos. Sua utilização pode ser direta ou indireta. A direta é a energia solar térmica, que é utilizada para aquecimento do ambiente e de fluido, e a indireta, que é a energia solar fotovoltaica, utilizada para a produção de energia elétrica, como apresentado na Figura 1. Logo, é considerada uma das fontes com menor impacto ambiental e totalmente renovável. A energia solar térmica, de utilização direta pode ter um aproveitamento ativo ou passivo, o passivo é através das técnicas construtivas e de concepção das habitações, para gerar aquecimento ou arrefecimento, fugindo da exposição ao sol. Já a ativa é através de um sistema constituído por coletores solares, que transferem a energia solar para um fluido térmico, promovendo aquecimento deles (PEREIRA, 2010).

Figura 1 – Diagrama de blocos das utilizações da energia solar



Fonte - Autor

Entre as fontes renováveis citadas anteriormente, a energia solar fotovoltaica é uma das mais abundantes e inesgotáveis, dessa forma, é uma das alternativas mais promissoras para a composição de uma matriz energética mundial (VERMA; MIDTGARD; SATRE, 2011). É previsto que até 2040 seja a fonte renovável mais importante e expressiva para o planeta (BRITO et al.,2011).

2.5.1 Sistemas Fotovoltaicos

A energia solar fotovoltaica, foco deste trabalho é a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade, isto ocorre por meio de um dispositivo chamado célula fotovoltaica que opera, utilizando o efeito fotoelétrico (IMHOFF,2007). A palavra fotovoltaica significa transformação da luz em energia eletromotriz, através de reação química do material semicondutor, que geralmente é o silício. Suas aplicações se dividem em duas categorias, as de pequena potência

(decimais ou unidades de quilowatt) e as aplicações de média potência (dezenas ou centenas de quilowatt). As aplicações de potência média são divididas em três aplicabilidades, os sistemas conectados à rede de distribuição, os sistemas híbridos, e os sistemas isolados.

Os sistemas conectados à rede (ON GRID), significam dizer que toda produção de energia é entregue diretamente a rede, ou seja, não há armazenamento (PEREIRA, 2010). Os sistemas autônomos (OFF GRID), geralmente atende localidades que não tem acesso a rede de distribuição da concessionária, têm por finalidade armazenar a energia gerada, que geralmente é realizado através de baterias (SANTOS, 2011).

Sistemas híbridos utilizam a energia fotovoltaica em conjunto com uma outra fonte, geralmente esse sistema fornece energia de uma outra fonte, quando a energia fotovoltaica não é suficiente, como por exemplo nos dias que tem baixa ou nenhuma geração, porém é considerada um sistema complexo, por ter que integrar várias fontes de energia elétrica (PEREIRA e OLIVEIRA, 2011).

A geração de energia em sistemas fotovoltaicos é dividida em três principais grupos: geração centralizada, geração isolada e geração distribuída. A geração centralizada é a produção de energia elétrica em larga escala e é disponibilizada através de linhas de transmissão. A geração isolada é a geração local de energia e assiste a locais remotos. Já na geração distribuída, o sistema está conectado à rede pública de distribuição, junto à unidade consumidora, concedendo a energia gerada em excedente à rede, sendo integrantes os sistemas de micro e minigeradores distribuídos (ROSA e GASPARIN, 2016). A microgeração distribuída tange a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), ao passo que a minigeração distribuída se refere as centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 megawatt (MW), para a fonte hídrica, ou 5 MW para as demais fontes (ANEEL, 2017).

Com o avanço da tecnologia e a popularização dos sistemas solares, a tendência é que essa técnica tenha custos menores e ganhe cada vez mais espaço dentre as demais, ganhando também mais representação frente aos órgãos que a regem, portanto, criando regulamentações específicas e incentivos em todos os aspectos.

2.5.2 Células Fotovoltaicas

As Células fotovoltaicas podem ser fabricadas em diferentes tipos de formas e materiais, e independentes das suas particularidades convertem energia solar em eletricidade. O material mais usado para fabricação dessas células é o silício (Si), e é o segundo elemento químico mais abundante do planeta. Atualmente, há três tipos de células que dominam o mercado mundial, são elas: silício monocristalino, policristalino e película fina. As células de silício monocristalino são muito eficientes, porém seu processo de fabricação é caro o que torna seu custo final alto quando comparadas aos seus equivalentes policristalinos e película fina. Uma alternativa mais barata são as células fotovoltaicas de silício policristalino, porém, são menos eficientes devido a um processo menos rigoroso de preparação das células. Outra célula dominante no mercado é a película fina. Essas películas podem ser construídas por diversos materiais, como por exemplo silício amorfo, essas células são bem finas e flexíveis, contudo, sua eficiência pode ser afetada uma vez que os átomos de silício são menos ordenados do que em suas formas cristalinas (AFEWORK et al.,2018). Com a crescente busca por energias renováveis, a energia solar tem se destacado, portanto, cada vez mais estudos por novas tecnologias são realizados.

2.5.3 Componentes de um Sistema Fotovoltaico

Um sistema fotovoltaico apresenta quatro componentes básicos: os painéis solares que são responsáveis por transformar a energia solar em energia elétrica. Os controladores de carga que são equipamentos que servem para evitar sobrecargas na bateria, aumentando sua vida útil. Os inversores solares responsáveis basicamente por estabelecer a ligação entre o gerador e a rede ou a carga, seu papel mais significativo é converter o sinal elétrico CC do arranjo fotovoltaico em sinal elétrico CA, e ajustá-lo para a frequência e o nível de tensão da rede que está ligado. E as baterias são equipamentos que armazenam energia para que o sistema opere sem a presença do sol. O sistema proposto neste trabalho é conectado à rede, por este motivo não serão abordados os componentes como baterias, controladores de carga, etc. (GREENPRO,2004).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo de caso foram realizadas pesquisas bibliográficas em artigos, teses, normas e utilizou-se do software Radasol 2 (LABSOL, 2020). Serão apresentados nesta seção o dimensionamento de um sistema solar conectado à rede elétrica e os requisitos básicos a serem considerados usando como referência o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL e CRESESB, 2014).

3.1 DIMENSIONAMENTO EM CONDIÇÕES IDEAIS DE UM PROJETO RESIDENCIAL

Para iniciar um dimensionando em condições ideais, foram levantados os dados do consumo de energia dos últimos 12 meses, que compreende o período de outubro de 2020 a setembro de 2021, extraídos das contas de energia elétrica da Energisa Minas Gerais de uma residência do município de Rio Pomba, MG, para tal foi necessário saber o tipo de ligação, a modalidade da ligação e o tipo de cliente. Além disso, é necessário ter conhecimento sobre a orientação do telhado.

A partir da energia média mensal (E_{mm}) e dos demais detalhes da ligação, obtém-se a potência do sistema. Através da potência do sistema, é possível determinar a quantidade de módulos e a potência do inversor. A energia média mensal é dada por:

$$E_{mm} = \frac{\sum_i E_{m,i}}{N_m} \quad (1)$$

em que $E_{m,i}$ é a energia consumida em um determinado mês $i = \{\text{jan, fev, ..., dez}\}$, medido em kWh/mês, e N_m é o número de meses considerados.

Atualmente, é sabido que existe um valor a ser pago para a distribuidora de energia, que é referente à disponibilidade da rede pública de distribuição de energia elétrica, por esse motivo a “*taxa mínima*” é denominada de custo de disponibilidade (

C_D), o qual pode variar de acordo com o tipo de ligação no ramal de entrada, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Custo de Disponibilidade

Tipos de Ligação	Nº de Condutores	Custo de Disponibilidade
Monofásico	2 (1F + N ou 2F)	30 kWh/mês
Bifásico	3 (2F + N)	50 kWh/mês
Trifásico	4 (3F + N)	100 kWh/mês

Fonte: adaptado pelo autor de (REN-414, 2010).

Uma vez que o valor referente ao custo de disponibilidade deverá ser pago, não é lucrativo gerar toda demanda de energia da residência, e sim o que realmente poderá ser creditado. Assim sendo, a energia de compensação (E_C), em kWh/mês é definida por:

$$E_C = E_{mm} - C_D \quad (2)$$

É recomendado utilizar energia de compensação em valores diários, onde E_{Cd} é a energia de compensação diária, em kWh/dia, conforme apresentado a seguir:

$$E_{Cd} = \frac{E_C}{30} \quad (3)$$

Através do endereço da localidade é possível consultar a radiação solar para o plano horizontal, essa referência é uma variável local, e influencia diretamente na energia que será produzida pelo sistema fotovoltaico implementado. Para obtenção desses dados solarimétricos, este trabalho usa como referência o banco de dados solarimétricos do CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito) (CRESESB, 2018). Com base nos dados E_{Cd} e radiação solar média (diária), pode-se fazer um esboço do projeto que atenderá ao consumo da residência.

Desse modo é possível calcular a potência de pico ideal (P_p), em quilowatt pico - kWp, que é o valor máximo teórico que um arranjo fotovoltaico pode assumir, apresentado a seguir:

$$P_p = \frac{E_{cd}}{HSP} \quad (4)$$

onde HSP são as horas de sol de pico, em h/dia.

Assim sendo é possível determinar, de forma preliminar, a quantidade de módulos fotovoltaicos a serem utilizados, através de:

$$N_{\text{mod}} = \frac{P_p \cdot 1000}{W_{p, \text{mod}}} \quad (5)$$

em que N_{mod} é o número de módulos, $W_{p, \text{mod}}$ é a potência de pico dos módulos, em Wp (watt-pico) e 1000 é uma constante de cálculo. Para este trabalho, serão utilizados os módulos fotovoltaicos do fabricante OSDA, modelo ODA380-36-M de 380 Wp e 72 células, monocristalino.

Por último, foi realizado o dimensionamento do sistema de condicionamento de potência (inversor), com base na potência de pico ideal, limitando-se a uma faixa de potências admissíveis informada no datasheet do Inversor. Logo, pode-se determinar o inversor com potência igual ou aproximada à potência de pico ideal.

3.2 DIMENSIONAMENTO EM CONDIÇÕES REAIS DE UM PROJETO RESIDENCIAL

Para o dimensionamento real foram necessários o levantamento de alguns dados e informações relevantes para que fosse possível calcular as estimativas de rendimento do sistema, isto significa que o sistema em condições reais sempre terá perdas em sua produtividade, sendo necessário um ajuste no projeto final para suprir a demanda necessária.

No padrão de entrada, encontra-se os disjuntores que estão instalados, a potência máxima estimada para ramal bifásico (P_{max}) do SFCR, é calculada através de:

$$P_{\text{max}} = 2 \cdot V_{\text{fase}} \cdot I_{\text{disj}} \quad (6)$$

em que V_{fase} é a tensão entre um condutor fase e neutro, em Volts e I_{disj} é a corrente do disjuntor geral, em Ampère.

Para o dimensionamento real foi necessário realizar a correção da radiação para o desvio azimutal e para o plano inclinado, obtida utilizando o software Radasol 2.

3.2.1 Análise do Rendimento do Projeto

Para análise em vigor, foram realizadas as estimativas de rendimento e produção de energia sobre o dimensionamento em condições ideais do SFCR residencial. Serão adicionados os coeficientes de rendimento energético a fim de analisar a necessidade de mudanças no cálculo do projeto.

Para o cálculo da energia ideal diária (E_{ideal}), considera-se a potência de pico e a radiação solar incidente no plano inclinado (HSP_K), como apresentado em:

$$E_{ideal} = P_p \cdot HSP_K \quad (7)$$

Para o cálculo da energia ideal anual, basta multiplicar a equação (7) pela quantidade de dias de um ano, o cálculo da energia ideal mensal é dado por:

$$E_{idealM} = P_p \cdot HSP_{KM} \cdot D_M \quad (8)$$

sendo HSP_{KM} a radiação solar média mensal e D_M os dias do mês.

É necessário que os coeficientes de perdas energéticas estejam de acordo com as características do local de instalação para realizar o cálculo da energia real. Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes utilizados nesse trabalho.

Tabela 2 - Coeficientes de Perdas Energéticas

Estágio	Tipo de Rendimento/ Perda	Perdas Valores Adotados	Coeficiente de Rendimento (decimal)
Antes dos Módulos	Sombreamento η_{somb}	2,3%	0,977
	Sujeira η_{suj}	8,05%	0,9195
Nos Módulos	Tolerância de Potência η_{tol}	0%	1
	Mismatching η_{mis}	1%	0,99
	Fator de Temperatura η_{temp}	Será calculado mês-a-mês	
Depois dos Módulos	Cabeamento CC η_{cc}	1,5%	0,985
	Conversão CC/CA η_{inv}	3%	0,97
	Cabeamento CA η_{ca}	0,5%	0,995

Fonte: Adaptado de Green Rhino Energy (2013).

O coeficiente de perda por temperatura deverá ser calculado para todos os meses do ano. Contudo, para calcular o coeficiente de perda por fator de temperatura, deve-se considerar a média de temperatura máxima ambiente (T_{amb}) do local de instalação, que é obtido através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para esse fim será necessário utilizar as equações de temperatura de cálculo (T_{cal}), calculada em (9) e rendimento de potência de pico por fator de temperatura, equação (10):

$$T_{cal} = T_{amb} + (\Delta t - T_{ref}) \quad (9)$$

sendo Δt a diferença de temperatura das células em relação ao ambiente, em °C e a T_{ref} é a temperatura de referência das células, em °C.

$$K_{temp} = L^\circ C_{p \max} = T_{cal} \cdot C_{temp} \quad (10)$$

sendo $L^\circ C_{p \max}$ a perda da potência de pico por fator de temperatura, em %, C_{temp} o coeficiente de perda por temperatura (fornecido pelo fabricante), em % / °C.

O fator de desempenho global (FDG), deve ser calculado mês a mês, e neste projeto o único valor que passa por variação é o coeficiente de rendimento por temperatura, como apresentado em:

$$FDG = \eta_{somb} \cdot \eta_{suj} \cdot \eta_{tol} \cdot \eta_{mis} \cdot \eta_{temp} \cdot \eta_{cc} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{ca} \quad (11)$$

Uma vez determinado a energia solar total para os planos inclinados e o fator de desempenho, emprega-se a equação de energia real diária, para encontrar a estimativa de geração, dada por:

$$E_{real} = E_{ideal} \cdot FDG \quad (12)$$

A fim de calcular a energia real anual, basta utilizar a equação (12) e multiplicá-la pela quantidade de dias de um ano.

Para encontrar o valor de energia real mensal, utiliza-se de valores referente ao mês de cálculo, como em:

$$E_{realM} = E_{idealM} \cdot FDG \quad (13)$$

Após aplicar o fator de desempenho global (FDG) a estimativa de geração do SFCR reduz, portanto é necessário aumentar a potência de pico, por consequência a energia real total. A fim de calcular a energia faltante, utiliza-se a equação a seguir:

$$E_{falt} = E_c - E_{real} \quad (14)$$

Por conseguinte, a potência de pico faltante ($P_{p, falt}$) pode ser calculada por:

$$P_{p, falt} = \frac{E_{falt}}{HSP_k \cdot FDG} \quad (15)$$

O número de módulos faltantes é determinado conforme apresentado a seguir:

$$N_{m, falt} = \frac{P_{p, falt} \cdot 1000}{W_{p, mod}} \quad (16)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para obtenção dos resultados foram necessárias análises específicas como localização e fatura de energia. Na fatura de energia elétrica da residência apresentase o endereço da unidade consumidora, através dela foram obtidas imagens de satélite com as coordenadas exatas da edificação deste estudo de caso, as quais serão utilizadas para análise do recurso solar na localidade, e também para facilitar a visualização dos entornos da edificação. Utilizando o recurso do Google Maps, a localização exata, 21°2576 S 43°1952W que corresponde ao endereço Av. Prof. José Marcelino, Rio Pomba, MG, como demarcado na Figura 2.

Figura 2 – Imagem de satélite da localização da residencia



Fonte: Google Maps (2021)

Por meio da fatura de energia da concessionária Grupo Energisa, pode-se concluir que a residência é classificada como baixa tensão, pertencente ao subgrupo B2, sendo rural residencial, e o ramal de entrada do tipo ligação bifásica, com tensão

de 127/220 V. A energia média mensal foi consultada através da Tabela 3, que mostra o histórico de consumo mensal.

Tabela 3 - Histórico de Consumo

	Set	Ago	Jul	Jun	Mai	Abr	Mar	Fev	Jan	Dez	Nov	Out
Consumo	370	438	365	347	371	431	367	327	363	293	365	401

Fonte: Autor.

Desse modo a E_{mm} que foi extraída da Tabela 3 ,utilizando a equação (1) foi de 369,83 KWh/mês.

4.1 RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO EM CONDIÇÕES IDEAIS

Uma vez que a unidade consumidora analisada nesse projeto tem ligação Bifásico 127 / 220 V, o seu C_b é de 50 kWh, que deverão ser acrescidos dos impostos e Custeio Iluminação Pública (CIP), assim como outras possíveis taxas (multas ou doações, se houver).

Utilizando a equação (2), obtivemos uma energia de compensação mensal (E_c), de 319,83 KWh/mês. Constatou-se, com base na equação (3), que o SFCR deverá ser capaz de gerar 10,66 KWh/dia em média, para suprir a energia referente ao consumo compensável da residência.

Ao consultar o banco de dados solatimétricos, CRESESB, com as coordenadas exatas da residência, pode-se verificar que as horas de sol pico é de 4,68 kWh/m².dia ou 4,68 h/dia.

No dimensionamento em condições ideais, foram feitos os cálculos da potência de pico ideal, de acordo com os dados levantados da residência, ou seja, sem considerar nenhuma perda, para assim obter o número de módulos necessários e a potência do inversor.

Aplicando a equação (4) para a unidade consumidora, obteve-se uma potência de pico ideal de 2,28 Kwp. Com base nessa informação, é possível encontrar o número de módulos para esse projeto, conforme a equação (5), portanto foram determinados a quantidade de 6 módulos.

Neste projeto, que visa atender ao consumo residencial, foi dimensionado um arranjo fotovoltaico de 2,28 kWp (6 módulos de 380 Wp), portanto deve-se utilizar um Inversor com potência de 2,28 kW ou aproximada. Contudo, foi optado por um Inversor Interativo do fabricante Fronius, modelo Primo 3.0-1 de 3 kW.

4.2 RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO EM CONDIÇÕES REAIS

No dimensionamento real os cálculos foram refeitos com base na radiação solar para o desvio azimutal ⁴ (nota de rodapé explicando) e inclinação do telhado e não mais para o plano horizontal, portanto serão considerados os coeficientes de rendimento energético. Assim sendo serão apresentadas as análises específicas para o projeto.

4.2.1 Local para Instalação do Arranjo FV

A cobertura da edificação possui orientação para o Oeste, com desvio azimutal de -90, e inclinação de 5 graus, com uma área útil de 130 m², portanto, se as dimensões dos módulos são de 1,96 x 0,99 m, mas para facilitar a análise foi considerado dimensões de 2 x 1 m cada módulo, assim, o telhado possui capacidade máxima de 58 módulos. Dentro da caixa do padrão de entrada estão instalados um disjuntor DIM - 50 A, portanto, a potência instalada máxima do SFCR, equação (6), é de 12,7 KW.

4.2.2 Radiação Solar no Plano dos Módulos Fotovoltaicos

A média diária de radiação solar para o plano orientado e inclinado é de 4,75 kWh/m².dia, conforme a Tabela 4. Portanto, os novos dados para o projeto, são P_p de

⁴ Desvio azimutal é o ângulo de orientação da parte frontal do módulo solar com relação ao Norte geográfico (CEPEL e CRESEB, 2014).

2,244 kWp e 5,9 o número de módulos, porém foi arredondado para 6, e o inversor permanece o mesmo de 3 kWp.

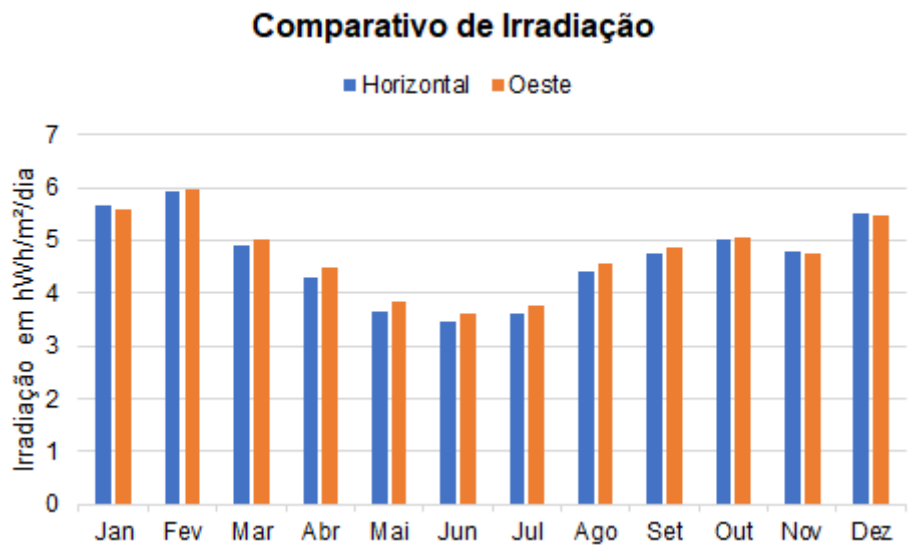
Tabela 4 - Radiação Corrigida (jan à dez)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Irrad. Horiz	5,66	5,92	4,91	4,30	3,66	3,46	3,63	4,43	4,77	5,02	4,81	5,53
Irrad. Inclin	5,60	5,98	5,01	4,47	3,84	3,63	3,77	4,56	4,87	5,07	4,76	5,47
Média = 4,75 kWh/m ² .dia												

Fonte: CRESESB

A Figura 3 apresenta a comparação da radiação solar entre o plano horizontal e os planos inclinado e orientado.

Figura 3 - Gráfico Comparativo de Energia Solar Total



Fonte: Autor.

Analisando o gráfico da Figura 3, é possível verificar uma pequena variação na radiação solar nos meses do final e início do ano (verão brasileiro), já quando se observa os meses do meio do ano (inverno brasileiro) a variação da radiação é um pouco maior e acaba optando por realmente escolher o plano orientado ao Oeste ao invés do horizontal, haja vista que o plano orientado ao Norte, que é a orientação de

maior radiação solar, não é possível para esse projeto, devido ao fato da orientação do telhado da residência.

4.2.3 Energia Ideal

Conforme o dimensionamento real, para suprir o consumo energético da residência serão necessários 6 módulos no telhado Oeste, portanto a energia ideal diária para essa orientação utilizando a equação (7) foi de 10,66 kWh/dia, a energia ideal anual foi de 3890,5 kWh/ano, já a energia ideal mensal, calculada através da equação (8), obtém os resultados indicados na Tabela 5.

Tabela 5 – Energia Ideal Mensal

Painel FV	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Oeste	389,56	375,74	348,52	300,92	267,13	244,37	262,26	317,21	327,85	352,69	320,44	380,52
Média Mensal = 323,93 kWh/mês												

Fonte: Autor.

4.2.4 Energia Real

Os valores foram adotados de acordo com as características do projeto. O coeficiente de perda por temperatura deverá ser calculado para todos os meses do ano. A diferença de temperatura (Δt) é aceito internacionalmente em 25°C, mas o tipo de estrutura de fixação influencia diretamente no arrefecimento das células, por isso, de acordo com o tipo de fixação proposto, será utilizado Δt de 29°C. A temperatura de referência (T_{ref}) é fornecida pelo fabricante, neste caso (e na grande maioria) é 25°C, em STC.

Manipulando a equação da temperatura de cálculo, equação (9) para todos os meses, para a cidade de Rio Pomba, MG, e utilizando o coeficiente de perda por temperatura (C_{temp}) fornecido pelo fabricante de 0,39% / °C, calculando para todos os meses do ano obtém os resultados obtidos na Tabela 6.

Tabela 6 – Coeficiente de Perdas por Temperatura

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média de Temp. Max	29	31	29	29	27	25	25	27	27	29	29	29
Temp. de Cálculo	33	35	33	33	31	29	29	31	31	33	33	33
Coef. de Perdas em %	12,87	13,65	12,87	12,87	12,09	11,31	11,31	12,09	12,09	12,87	12,87	12,87
Rendimento em %	87,13	86,35	87,13	87,13	87,91	88,69	88,69	87,91	87,91	87,13	87,13	87,13
Rendimento em decimal	0,8713	0,8635	0,8713	0,8713	0,8791	0,8869	0,8869	0,8791	0,8791	0,8713	0,8713	0,8713

Fonte: Autor.

Por conseguinte, esses valores encontrados na Tabela 6, serão utilizados como fator de temperatura (K_{temp}), localizados na Tabela 2.

Realizando os cálculos do fator de desempenho global, (11), com o coeficiente de rendimento por fator de temperatura de cada mês, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Fator de Desempenho Global

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
FDG	73,67%	73,01%	73,67%	73,67%	74,33%	74,99%	74,99%	74,33%	74,33%	73,67%	73,67%	73,67%
FDG _{Médio} = 74%												

Fonte: Autor.

Devido ao grande impacto do fator de temperatura sobre o rendimento energético dos módulos fotovoltaicos, o fator de desempenho global apresenta os maiores valores no período mais frio do ano.

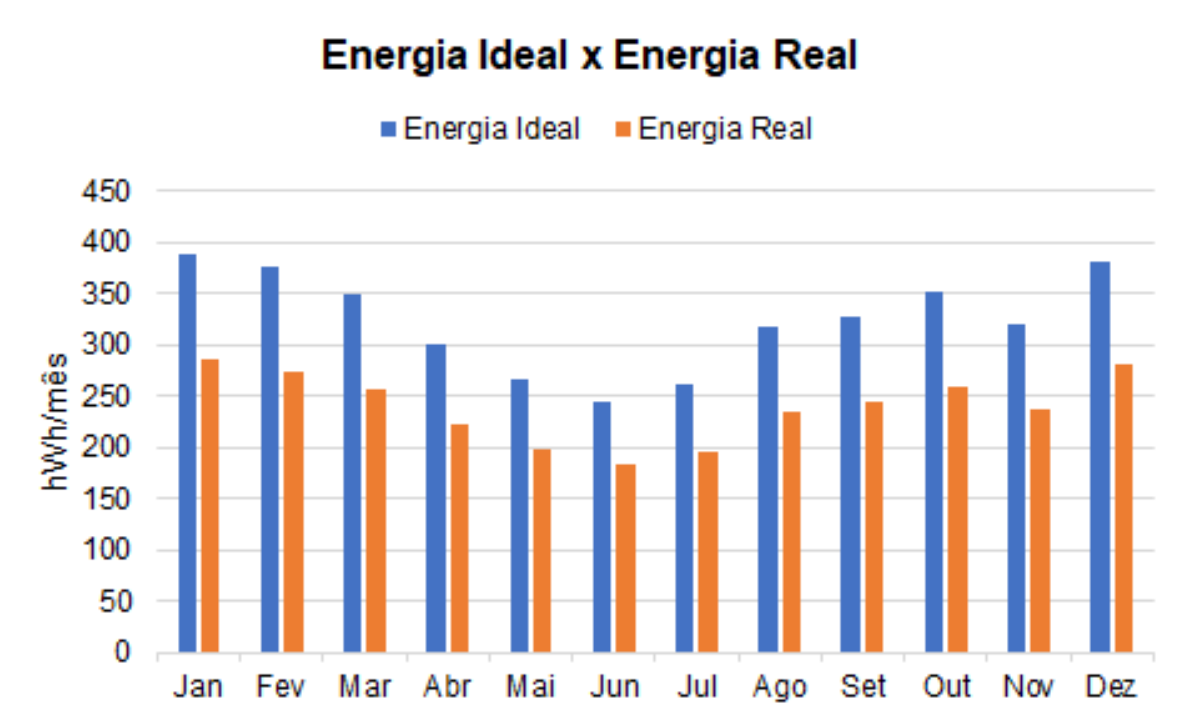
Definidos os valores da energia solar total para os planos inclinados e o fator de desempenho, utiliza-se a equação de energia real diária (12), e pode-se encontrar a estimativa de geração de 7,888 kWh/dia e anual de 2879,12 kWh/ano. A fim de encontrar o valor de energia real mensal, utilizou-se a equação (13), e obteve os resultados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Estimativas de Energia Real para Painel Fotovoltaico Norte

Painel FV	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Oeste	286,99	274,32	256,75	221,69	198,55	183,25	196,67	235,78	243,69	259,83	236,07	280,33
Média Mensal = 239,49 kWh/mês						Somatório Total = 2873,92 kWh/ano						

Fonte: Autor.

Após as estimativas de geração foi desenvolvido o gráfico da Figura 4, onde é ilustrada a comparação entre o total de energia ideal e energia real.

Figura 4 - Gráfico Comparativo Estimativas de Geração Energia Real x Ideal


Fonte: Autor.

Ao aplicar os índices de rendimento energético sobre os dados obtidos em condições de laboratório (STC), estimando a geração do SFCR de acordo com as características do local de instalação, a geração reduziu significativamente em relação à calculada inicialmente, assim como o esperado.

4.2.5 Adequação do Dimensionamento para Suprir a Demanda Total

Levando em consideração das perdas, calculadas no item anterior, deverá ser feito um dimensionamento final para o SFCR, para que o sistema, mesmo perdendo rendimento possa se adequar a quantidade de energia que o cliente necessita.

Após aplicar o fator de desempenho global (FDG) a estimativa de geração do SFCR reduziu, portanto será necessário aumentar a potência de pico, conseqüentemente a energia real total.

O modelo de módulo fotovoltaico que será usado nessa parte do projeto e o fator de desempenho global médio (FDG) são os mesmos utilizados até o momento.

Durante o dimensionamento em condições ideais deste projeto, foi calculada a energia de compensação diária (E_{cd}) de 10,66 kWh/dia. Contudo, será realizado o cálculo de quantos módulos se adicionará ao projeto, para que mesmo aplicando o FDG , o sistema continue com a mesma quantidade de energia de compensação diária. Portanto a energia faltante, calculado através da equação (14), foi de 2,772 kWh/dia.

A potência de pico faltante, equação (15), por estar sendo dimensionada para o telhado Oeste, deverá ser usado o HSP_k encontrado para ele. O valor de FDG é o mesmo para qualquer orientação de telhado, logo a potência de pico faltante agora é 0,79 kWp. Assim o número de módulos faltantes, equação (16) é de 2,08, aproximando para 2 módulos.

Uma vez determinado o número de módulos a mais que serão instalados, é possível calcular a estimativa de energia real, que será adicionada no projeto, que foi de 2,671 kWh/dia e 323,81 kWh/mês. Logo a estimativa é que o SFCR deste projeto seja capaz de gerar 10,56 kWh/dia de energia média diária, com uma potência de 3,034 kWp (2,244 + 0,79). Na Tabela 9, observa-se o comparativo entre os dimensionamentos realizados.

Tabela 9 – Comparativo entre os dimensionamentos

	Dimensionamento Ideal	Dimensionamento Real	Dimensionamento Final
Radiação Solar	4,68 kWh/m ² .dia	4,75 kWh/m ² .dia	4,75 kWh/m ² .dia
Potência de Pico	2,28 KwP.	2,244 kWp	3,034 kWp
Número de Módulos	6	5,9 aproximando para 6	8
Potência do Inversor	3 kW	3 kW	3 kW
Estimativa da Energia Diária	10,66 kWh/dia	7,888 kWh/dia	10,56 kWh/dia
Estimativa da Energia Mensal	319,83 kWh/mês	239,49 kWh/mês	323,81 kWh/mês

Fonte: Autor.

Visto a adequação do sistema na tabela 9, pode-se observar que no dimensionamento real obteve perdas na eficiência, portanto, para supri-las foi necessário acrescentar 2 módulos fotovoltaicos, aumentando a potência de pico, com a finalidade de suprir a demanda de energia da residência, calculada do dimensionamento em condições ideais.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho realizou um estudo sobre energias renováveis, dando ênfase na energia solar fotovoltaica, na qual vem ganhando reconhecimento e representatividade na matriz energética brasileira, visto que o país usufrui de condições favoráveis, ou seja, possui grande disponibilidade de radiação solar.

A tecnologia fotovoltaica está se desenvolvendo cada dia mais, seus custos estão declinando ao longo dos anos e as suas perspectivas são de reduções ainda maiores. Em contrapartida, não há nenhuma estimativa de redução dos custos da geração convencional para o consumidor final, incentivando a instalação de um sistema residencial. Em vista disso foi realizado um dimensionamento para a construção de um projeto solar fotovoltaico residencial em condições ideais e em condições reais. Em resultados é apresentado o tipo de inversor que deve ser

empregado e a quantidade de módulos que são necessários no projeto para atender a demanda de energia da residência.

Com base nos dois modelos de dimensionamentos neste trabalho apresentado, foi possível comprovar através dos cálculos e análises adequadas que se for realizado um dimensionamento em condições ideais e implementado, este não suprirá a demanda que a residência necessita, visto que as perdas no sistema não foram consideradas. Portanto, além do investimento no sistema fotovoltaico ainda haverá um valor relativamente alto na conta de luz da residência e não o mínimo desejado, dessa forma as expectativas de redução de gastos não serão atendidas de maneira eficiente.

ABSTRACT

The growing increase in electricity consumption due to economic, population and technological development triggered the need to diversify the energy matrix and thus seek renewable sources. Faced with the great need to insert the use of renewable energies in the current scenario, this paper presents a bibliographical review on renewable energies: wind, biomass, geothermal, tidal and solar energy, a broad view of the electricity generated by lightning solar systems, addressing the types of photovoltaic systems, the cells that dominate the world market and the basic components of a solar system. Together this work presents a case study of a residential application of photovoltaic solar energy connected to the grid, including an ideal dimensioning and a real dimensioning, as well as a comparison between the systems. The system presented to supply the energy demand of the residence under analysis comprises 8 modules with a power of 380 Wp and an inverter with a power of 3 kW.

Keywords: Electric energy, Energy matrix, Photovoltaic.

REFERÊNCIAS

AFEWORK, Bethel et al. Types of photovoltaic cells. 2018. Disponível em:<https://energyeducation.ca/encyclopedia/Types_of_photovoltaic_cells>. Acesso em: 4 out. 2021.

ALVES, J. **Estudos foto físicos e fotovoltaicos de sistemas polímero-fulereno e nanopartículas de CdSe**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011. 48 f.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **PRODIST - Módulo 3**. Revisão 4, de 19 de abr. de 2012 a 13 de dez. de 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **PRODIST - Módulo 3**. Revisão 7, de 01 de jun. de 2017.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 414**. 09 de set. de 2010.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482**. 17 de abr. de 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 517**. 11 de dez. de 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 687**. 24 de nov. de 2015.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 786**. 17 de out. de 2017.

ARAÚJO, A. J. N.; RANK, N. I.; BUENO, T. B. A. **Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede em Curitiba**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

BEIGELMAN, Bruno Boaventura. **A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E A APLICAÇÃO NA USINA SOLAR DE TAUÁ.** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007228.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2021.

BICUDO, Carlos. **Aproveitamentos Geotérmicos nos Açores.** 2019. Disponível em: <http://siaram.azores.gov.pt/energia/geotermia/Geotermia_SRAM_2019.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2021.

BRITO, M. A. G et al. **Research on photovoltaics: review, trends and perspectives.** In: Brazilian Power Electronics Conference (COBEP), 2011.

Cadernos Temáticos ANEEL. **Micro e minigeração distribuída - Sistema de Compensação de Energia Elétrica.** 2.ed. Brasília-DF, 2016. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida++2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em 27 ago. de 2021.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig.** Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.

CRESESB. Centro de Referência das Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito. Potencial SunData v.3.0. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>> Acesso em: 13 out. 2021.

GOLDEMBERG, José. LUCON, Oswald. **Energias Renováveis: um futuro sustentável.** São Paulo: Revista USP, n.72, 2006. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13564/15382>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

GREEN, Rhino Energy. **Energy Yield and Performance Ratio of Photovoltaic Systems.** 2013. Disponível em: <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_energy_yield.php>. Acessado em out. 2021.

GREENPRO. **Energia Fotovoltaica: Manual Sobre Tecnologias, Projeto e Instalações.** União Europeia: ALTENER, 2004. Disponível em: < <https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>> Acesso em: 13 out. 2021.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos.** Rio Grande do Sul: Santa Maria, 2007. Disponível:<<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8608/JOHNINSONIMHOF.F.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2021.

LABSOL. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2020. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#espectro>>. Acesso em: 14 out. 2021.

MARTINS, F.R. GUARNIERI, R.A e PEREIRA, E.B. **O aproveitamento da energia eólica.** São Paulo: Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1304, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/nL6x7dJv9gv7HnkTSJRLfS/?lang=pt>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

NETO, Pedro Bezerra Leite. SAAVEDRA, Osvaldo Ronald. CAMELO, Nelson José. RIBEIRO, Luiz A. de Souza. FERREIRA, Rafael M. **Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências.** Ingeniare: Revista chilena de ingeniería, vol. 19 Nº 2, 2011.

OMIDO, Agleison Ramos. BARBOZA, Christian Souza. MOREIRA, Orlando Júnior. **Energia Geotérmica: Uma Aliada Na Busca Da Eficiência Energética.** Campo Grande, 2017. Disponível em: < <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/X-005.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2021.

PACHECO, Fabiana. **Energias Renováveis: breves conceitos.** Conjuntura e Planejamento, Salvador: SEI, n.149, 2006.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica.** Porto: Publindústria, 2011.

PEREIRA, Pedro Tiago Sousa. **Energia Solar Térmica: Perspectivas do Presente e do Futuro.** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, 2010. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60373/1/000142688.pdf>>. Acesso em 23 ago. 2021.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos** - CEPEL CRESESB, 2014.

ROSA, Antonio Robson Oliveira; GASPARIN, Fabiano Perin. **Panorama Da Energia Solar Fotovoltaica No Brasil**. Revista Brasileira de Energia Solar, ano 7. vol. VII, Nº 2, 2016. Disponível: < <https://rbens.org.br/rbens/article/view/157/155> >. Acesso em: 27 ago. de 2021.

SANTOS, Filipe Fernandes. **Utilização de Energia Fotovoltaica para a eficiência energética de uma moradia**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, 2011. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59232/1/000146246.pdf> >. Acesso em: 25 ago. 2021.

VERMA, D.; MIDTGARD, O.-M.; SATRE, T. O. **Review of photovoltaic status in a European (EU) perspective**. In: 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2011.