

Photovoltaic energy in residence in the city of Goiania-GO

Lima, F. Q.¹; Moraes, R.C. B.²

Graduandos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Mendes, S. R. S.³

Professora Esp., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

¹ fqlima@gmail.com; ² ritadecassia.puc@gmail.com; ³ silvia.r.santin@gmail.com

RESUMO: A Energia Solar, apontada como uma tecnologia promissora para os próximos anos, ainda está dando seus primeiros passos no Brasil. À medida que o preço da energia fornecida pelas concessionárias aumenta a procura por sistemas alternativos de geração de energia limpa crescem. O objetivo deste estudo de caso é propor solução para um edifício residencial que não possui cobertura adequada para a instalação dos painéis solares e assim, avaliar o custo benefício. O presente trabalho vai de encontro ao cenário atual para divulgar e incentivar a implantação de um sistema de fonte de captação de energia totalmente limpa. Portanto, mediante a análise comparativa dos gastos de energia elétrica do imóvel, antes e após a instalação do sistema, e dos procedimentos de implantação, obteve-se uma resposta econômica, social e amplamente sustentável, comprovando que a utilização dessa tecnologia é viável e vantajosa.

Palavras-chaves: sustentabilidade, energia solar, sistemas fotovoltaicos, energias renováveis, painéis solares.

ABSTRACT: Solar Energy, pointed out as a promising technology for the coming years, is still taking its first steps in Brazil. As the price of energy supplied by utilities increases, the demand for alternative clean energy generation systems grows. The objective of this case study is to propose a solution for a residential building that does not have adequate coverage for the installation of solar panels and thus evaluate the cost-benefit. This work is in line with the current scenario to publicize and encourage the implementation of a totally clean energy collection source system. Therefore, through the comparative analysis of the property's electricity costs, before and after the installation of the system, and the implementation procedures, an economic, social and broadly sustainable response was obtained, proving that its use of this technology is viable and advantageous.

Keywords: sustainability, solar energy, photovoltaic systems, renewable energy, solar panels.

Área de Concentração: 01 – Construção Civil

1 INTRODUÇÃO

Energia, ar e água são ingredientes essenciais à vida humana. Nas sociedades primitivas seu custo era praticamente zero. A energia era obtida da lenha das florestas, para aquecimento e atividades domésticas, como cozinhar. Aos poucos, porém, o consumo de energia foi crescendo tanto que outras fontes se tornaram necessárias. (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

Segundo Goldemberg e Lucon (2007) os métodos atuais de produção e consumo de energia são baseados em recursos fósseis, que podem produzir poluentes locais, emissões de gases de efeito estufa e colocar em

risco o abastecimento do planeta a longo prazo. É necessário mudar esses padrões, estimulando as energias renováveis.

O tema sustentabilidade passou a ser muito discutido em conferências promovidas pela ONU desde 1980. Foram debatidos meios e maneiras de extrair os recursos naturais de forma consciente para que esse processo não comprometesse as futuras gerações. Dessa forma, surgiram estudos sobre as energias renováveis que possuem origem a partir dos recursos naturais, elementos continuamente reabastecidos, como o sol, vento, água, ondas e marés.

A demanda por sistemas alternativos de geração de energia elétrica por meio das energias limpas cresce à medida que o preço da energia fornecida pelas

concessionárias aumenta. Diante deste cenário os consumidores industriais e residenciais procuram maneiras de reduzir o valor cobrado na fatura de energia elétrica. Isso posto, este trabalho vai de encontro com este cenário, divulgando e analisando uma alternativa de fonte de energia limpa com a implantação do sistema fotovoltaico, o que promove uma conscientização frente aos problemas ambientais e encoraja a sociedade a utilizar esta tecnologia e explorar os recursos renováveis, unindo sustentabilidade e viabilidade técnica.

O estudo tem como objetivo verificar a solução proposta para implantação do sistema fotovoltaico em uma edificação residencial que não teve a sua cobertura projetada para receber os painéis solares e avaliar seu custo benefício.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

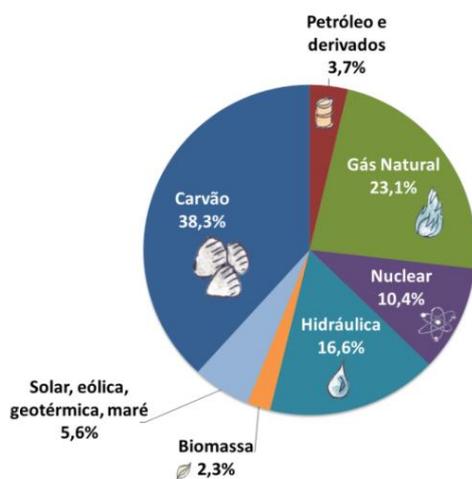
2.1 Sustentabilidade

De acordo John Elkington (1994) sociólogo britânico que formulou o Triple Bottom Line (Tripé Da Sustentabilidade), a sustentabilidade consiste no equilíbrio de algo ser financeiramente viável, socialmente justo e ambientalmente responsável, ou seja, no equilíbrio existente entre o ambiental, o social e o econômico.

Sustentabilidade “significa a possibilidade de se obterem continuamente condições iguais ou superiores de vida para um grupo de pessoas e seus sucessores em dado ecossistema”. (CAVALCANTI, 2003).

Segundo estudos e pesquisas realizadas pela EPE (2018) a geração de energia elétrica no mundo é baseada, principalmente, em combustíveis fósseis como carvão, óleo e gás natural, em termelétricas, conforme Figura 1.

Figura 1 – Oferta de Energia Mundial



Fonte: EPE (2018).

Para Goldemberg e Lucon (2007) a solução para a crise energética é investir e utilizar energias renováveis como energia eólica, energia de biomassa, energia solar com painéis fotovoltaicos, etc., na maioria dos casos, estas fontes de energia provêm da radiação solar e não se esgotam. Como resultado, o investimento global nessa tecnologia aumentou, permitindo que mais pessoas consumam energia sustentável.

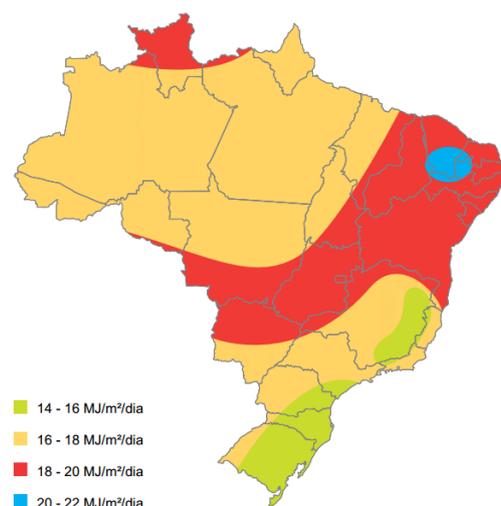
2.2 Potencial Brasileiro

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA, 2002), criado pela Lei nº 10.438/2002 tem como meta fazer com que 10% do consumo anual de energia elétrica do país sejam supridos por meio de fontes renováveis.

O Brasil aproveita pouco o potencial da fonte solar, a geração fotovoltaica no país é residual comparada às demais fontes, como a eólica. A Empresa de Pesquisa Energética - EPE (Nota técnica DEA 19/14, 2014) estima uma produção de 283,5 milhões de MW por ano de energia fotovoltaica se todo o potencial solar for aproveitado. A potência gerada seria suficiente para abastecer mais de duas vezes o atual consumo doméstico de 128,8 milhões de MW por ano do país.

Na Figura 2 é possível observar a variação de radiação solar no Brasil, é notório verificar que em Goiás a radiação solar se destaca como alta. Conclui-se que o Estado apresenta uma ótima radiação para a implantação de usinas fotovoltaicas.

Figura 2 – Variação da radiação solar no Brasil (MJ/m². dia)



Fonte: ANEEL (2013).

2.3 Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico. (IMHOFF, 2007).

O princípio de funcionamento desta tecnologia está baseado na conversão da energia solar em energia elétrica através dos efeitos da radiação sobre materiais semicondutores. Esta conversão pode ocorrer a partir de dois efeitos físicos conhecidos como o efeito termoelétrico e o efeito fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica por meio do uso de células solares. (ALBUQUERQUE; MALDONADO e VAZ, 2017).

Por sua vez no interior das células solares o efeito fotovoltaico ocorre, efeito esse que pode ser descrito como o processo físico pelo qual uma célula fotovoltaica converte luz solar em eletricidade. A luz solar possui em sua composição os fótons, que por sua vez os fótons possuem uma grande quantidade de energia, correspondente aos diferentes comprimentos de onda do espectro solar. Quando os fótons vão de encontro à célula, os mesmos podem ser refletidos, absorvidos, ou até mesmo atravessam a célula fotovoltaica. (PEREIRA, 2006).

Somente os fótons que são absorvidos têm a capacidade de gerar eletricidade, os demais não têm sua energia convertida. Já para os fótons que são absorvidos sua energia é transferida a um elétron de um átomo da célula. Com essa nova energia, o elétron sai de sua posição original no átomo para tornar-se parte da corrente, em um circuito elétrico. Deixando sua posição inicial, o elétron deixa uma "lacuna" para que outro elétron possa ocupar. Propriedades especiais das células fotovoltaicas (um campo elétrico nela embutido) fazem com que a corrente produza uma d.d.p para que haja corrente em uma carga externa. (PEREIRA, 2006).

2.4 Componentes do sistema fotovoltaico

Os painéis solares é um dos componentes básicos para a produção de energia a partir do sol, sendo composto resumidamente pela célula e o módulo, conforme ilustra a Figura 3.

A célula fotovoltaica nada mais é que a unidade básica desenvolvida para realizar a conversão direta de energia solar em elétrica. O módulo é a unidade

formada por um conjunto de células solares, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar eletricidade. Já os painéis são dois ou mais módulos fotovoltaicos interligados eletricamente, montados de modo a formar uma única estrutura. Um conjunto de módulos, juntamente com equipamentos complementares (inversores e cabos) de energia. (ASOLAR, 2021).

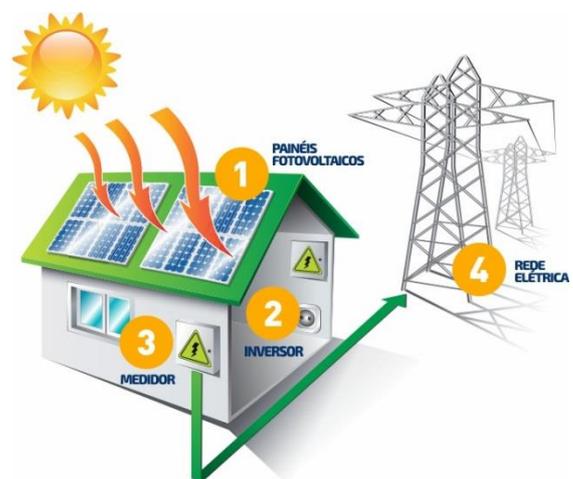
Figura 3 – Representação simples de um painel solar



Fonte: ASOLAR (2021)

Segundo Ecoa Energia Renováveis (2019), para produzir energia a partir do sol, um sistema é composto, de maneira resumida, por painéis solares, inversores, medidor e rede elétrica a ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Componentes do sistema fotovoltaico



Fonte: Wec² Energia Solar (2019)

1 - Painéis solares: um dos principais elementos que permitem a geração de energia solar são encontrados principalmente nos telhados das casas. Sua cor pode variar do azul ao azul escuro, quase preto, devido ao material que é composto, como o Silício. (Ecoa Energia Renováveis)

2 - Inversores: responsáveis por tornar compatível a energia elétrica produzida no interior das placas solares com aquela usada na rede elétrica da concessionária

local. A função do inversor é transformar de contínua para alternada a corrente elétrica (Ecoa Energia Renováveis 2019).

3- Medidor: é um componente do sistema fotovoltaico que tem a função de medir o consumo de energia elétrica. Funciona, basicamente, registrando a energia consumida da concessionária (direta), e registrando a energia injetada na rede da concessionária (reversa). Dessa forma, acontece a compensação dos créditos na sua conta. (ENTEC Solar, 2019).

4 - Rede elétrica: conjunto de estruturas, utilidades, condutores e equipamentos elétricos, aéreos ou subterrâneos, utilizados para a distribuição da energia elétrica, operando em baixa, média e/ou alta tensão de distribuição inferior a 230 kV (ANEEL, 2010).

2.5 Sistemas fotovoltaicos

De acordo com a (Minas Energy Soluções Energéticas, 2017) um sistema fotovoltaico é um sistema que utiliza as radiações solares para gerar corrente elétrica contínua através do efeito fotovoltaico. Existem dois tipos básicos de sistemas fotovoltaicos sistemas isolados e sistemas conectados à rede.

Sistemas autônomos ou isolados (OFF GRID)

São sistemas que não dependem da rede elétrica convencional para funcionar, conforme a figura 5, sendo possível sua utilização em localidades carentes de rede de distribuição elétrica. Existem dois tipos de autônomos: com armazenamento e sem armazenamento. O primeiro pode ser utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e, até mesmo, em pequenos aparelhos portáteis. (VILLALVA & GAZOLI, 2012). Enquanto o segundo, além de ser frequentemente utilizado em bombeamento de água, apresenta maior viabilidade econômica, já que não utiliza instrumentos para o armazenamento de energia (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

Figura 5 – Sistemas ligados à rede (Of grid)



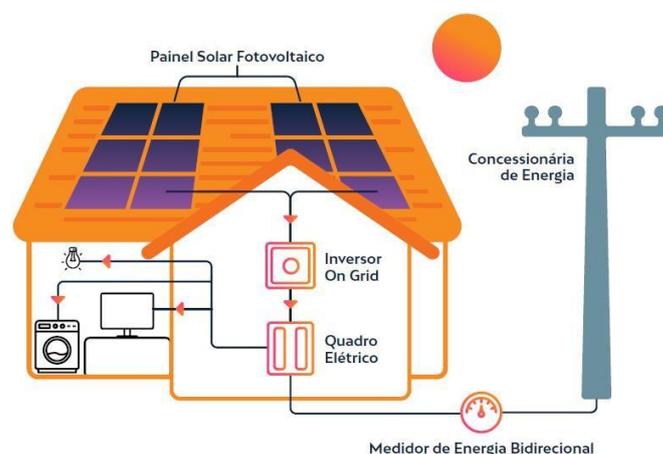
Fonte: Eco Aquecedores (2020)

Sistemas ligados à rede (ON GRID)

São aqueles que trabalham concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica. (PEREIRA e OLIVEIRA, 2011).

Segundo a Sunna Energia (2020) a energia solar é captada pelos painéis fotovoltaicos sob a forma de luz visível e transformada em energia elétrica, como pode ser observado no esquema da Figura 6. O inversor converte a energia gerada para que ela possa ser consumida pelos equipamentos em funcionamento, e o excedente vai para a rede elétrica, acumulando créditos que podem ser usados em até 60 meses.

Figura 6 – Sistemas ligados à rede (On grid)



Fonte: Fonte: Sunna Energia (2020)

2.6 Tecnologias fotovoltaicas

De acordo com o Grupo de Pesquisa Aplicada em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul- IFRS (2018) existem atualmente muitas tecnologias fotovoltaicas em desenvolvimento, algumas com grande expectativa de oferecer uma revolução em termos de relação preço/eficiência. Entretanto, existem apenas seis tecnologias com representatividade no mercado fotovoltaico mundial hoje. Abaixo estão cada uma delas com a sua respectiva participação em porcentagem no mercado de tecnologias fotovoltaicas:

- Silício policristalino (p-Si) – 54%
- Silício monocristalino (m-Si) – 30%
- Telureto de cádmio (CdTe) – 6%
- Silício amorfo (a-Si) – 5%
- Disseleneto de cobre-indio-gálio (CIGS) – 4%
- Arsenieto de gálio (GaAs) – 1%

Segundo o Grupo de Pesquisa Aplicada em Energias Renováveis do IFRS (2018), podem-se dividir as tecnologias citadas anteriormente em três categorias, denominadas gerações, sendo:

▪ **Primeira geração** - Constituída pelo silício cristalino e o arseneto de gálio, recebe este nome porque correspondem as primeiras tecnologias de células fotovoltaicas que obtiveram uso comercial em meados de 1950. A primeira Geração, além de ser a que possui maior representatividade no mercado mundial, cerca de 80%, e também a que representa maiores eficiências de conversão (excluindo células com mais de uma camada). Apresentam os preços mais baixos no mercado mundial e é composta por dois representantes, o silício monocristalino (m-Si) e o policristalino (p-Si). Atualmente o p-Si é a tecnologia com maior representatividade no mercado mundial. Isto se deve a vários fatores, mas principalmente ao baixo custo de produção e eficiência comparável ao m-Si (Grupo de Pesquisa Aplicada em Energias Renováveis-IFRS, 2018).

Na Figura 7 se observar a comparação entre as células de p-Si e m-Si e sua disposição em módulos fotovoltaicos e identifica-se que quanto maior a quadratura da célula, maior a eficiência do módulo.

Figura 7 – Comparação entre células de p-Si e m-Si e sua disposição em módulos fotovoltaicos



Fonte: Grupo de Pesquisa Aplicada em Energias Renováveis – IFRS (2018)

▪ **Segunda geração** - Corresponde aos filmes finos. Filme fino é uma denominação dada a tecnologia fotovoltaicas que empregam materiais com espessuras 100 vezes menor que as lâminas de silício cristalino. Uma vez que módulos de filmes finos empregam muito menos material na fabricação, essa tecnologia apresenta alto potencial de redução de custos. (Grupo de Pesquisa Aplicada em Energias Renováveis - IFRS, 2018).

Basicamente os filmes finos se dividem nos materiais a seguir descritos:

- Silício amorfo (A-Si);
- Arseneto de Gálio (GaAs) ;
- Disseleneto de cobre-índio e cobre-índio-gálio (CIS E CIGS);
- Teruleto de Cádmio (CdTe).

▪ **Terceira geração:** As células solares de terceira geração usam materiais orgânicos, como pequenas moléculas ou polímeros, são representantes de terceira geração as solares orgânicas (OSC) e as células solares sensibilizadas por corante (CSCC), também conhecidas como células de Gratzel. Possuem como principal objetivo o aumento da eficiência de conversão, redução no custo de fabricação e adesão de características diferenciais nas células e módulos para usos específicos.

Tecnologias Híbridas. Essas tecnologias correspondem a materiais que se obtém unindo silício em diferentes formas cristalinas com filmes finos. Como representantes desse grupo estão as células produzidas pela Empresa Panasonic de tecnologia HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer)(hetero uniãocom camada fina intrínseca) que correspondem a uma célula de silício monocristalino envolta por duas camadas ultrafinas de silício amorfo (Grupo de Pesquisa Aplicada em Energias Renováveis – IFRS, 2018).

2.7 Procedimentos junto à concessionária de energia

A Enel é a concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica no Estado de Goiás, a seguir serão repassados os procedimentos para a implantação do sistema fotovoltaico.

O Sistema de Compensação de Energia Elétrica é um processo que permite ao cliente instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. A regra é válida somente para as unidades consumidoras que utilizem geradores de fontes incentivadas de energia (hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada) previamente cadastradas na concessionária local. Esta energia é cedida por meio de empréstimo gratuito à concessionária local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora. (ANEEL, 2015).

A concessionária de energia local informa que quando a geração for maior que o consumo, o saldo positivo de energia poderá ser utilizado para abater o consumo na fatura do mês subsequente ou em outras unidades da escolha do cliente, desde que elas estejam na mesma área de concessão e sejam do mesmo titular. Os créditos de energia ativa, gerados e não compensados no consumo de energia elétrica expirarão em 60 (sessenta) meses após a data do faturamento, não fazendo jus o cliente a qualquer forma de compensação após o seu vencimento.

De acordo com a concessionária de energia local o sistema de Geração distribuída é dividido em:

- **Microgeração distribuída:** Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75kW.

- **Minigeração distribuída:** Central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica.

A aprovação de projetos na distribuidora de energia elétrica local exige a apresentação dos seguintes documentos:

1 - Auto certificação ou certificação de laboratórios acreditados pelo INMETRO, com o relatório de testes dos inversores até 10 kW, referente aos 3 itens abaixo, na tensão e frequência da rede a qual o inversor será conectado:

- Anti-ilhamento (Segurança);
- Sobre/sub tensão (Ajustes);
- Fator de potência com curva do FP (Ajuste dos pontos de ativação e desativação da curva, quando aplicável), ou;

2 - Certificação ou recertificação do inversor junto ao INMETRO na tensão de 220 V (conforme Portaria Inmetro nº 004/2011) e na tensão suplementar de 240 V (teste dos 3 itens acima descritos) a partir de 180 dias desta comunicação.

A Concessionária local informa que a aceitação da apresentação do auto certificação em substituição à certificação junto ao INMETRO terá validade até a data da manutenção ou recertificação do inversor.

O ingresso de solicitações de acesso para unidades consumidoras que desejam instalar Geração Distribuída deve ser realizado na área logada da unidade consumidora (aba serviços – Geração Distribuída) disponível no site www.eneldistribuicao.com.br, conforme requisitos contidos na Norma Técnica – NT 6.012 (ENEL, 2020).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo de caso ocorreram seis visitas técnicas na residência situada no Setor Santos Dumont em Goiânia, com área construída de 74,00 m², como demonstrado na Figura 8.

O telhado da residência não havia sido projetado para receber sistema fotovoltaico e a tecnologia adotada foi o sistema *On grid*, chamado de sistema ligado à rede, o qual foi orçado e implantado pela Empresa Sunna Energia, que atua nesta área a 3 anos. A empresa citada forneceu os dados para a realização do estudo de caso e assinou o termo de concordância da divulgação das informações.

Figura 8 – Vista aérea da residência estudada antes da instalação do sistema fotovoltaico



Fonte: Google Maps (2021).

Para a implantação do sistema fotovoltaico a empresa Sunna Energia, primeiramente apresentou uma proposta de execução do serviço ao cliente com os dados referentes à eficiência do sistema e suas vantagens em longo prazo.

De acordo com a Sunna Energia, não houve dificuldade no dimensionamento desse projeto. Pelo mapeamento do telhado não houve incidência de sombreamento, o espaço do telhado era suficiente, inclusive com orientação (direcionamento) para Norte, posição geográfica de melhor eficiência de geração em se tratando de irradiação; a altura do telhado e o espaço para equipe também foram satisfatórios.

A empresa responsável pela implantação do sistema fotovoltaico, informou que dimensionamento foi realizado a partir de uma planilha de cálculo, elaborada pela própria equipe técnica de engenharia da Sunna Energia. Parte-se dos detalhes contidos na conta de energia, primordialmente da média mensal de consumo do último ano. Também é necessário saber o tipo de ligação: mono, bi ou trifásica, a modalidade da ligação: se residencial, comercial, industrial e, também, o tipo de cliente: se grupo A ou grupo B, como é o caso. Todas essas informações estão contidas na conta de energia. Além disso, para o dimensionamento é necessário saber a orientação do telhado, se com caimento pra Norte, Sul, Leste ou Oeste, ou se dividido em várias águas.

A partir do dimensionamento da média de consumo e dos demais detalhes da ligação, obtém-se a potência do sistema (unidade de medida kWp - quilowatt pico). Pela potência do sistema, dimensiona-se a quantidade de módulos (placas), a potência do inversor, o cabeamento e a estrutura de fixação, podendo assim

orçar o kit fotovoltaico. Sabendo a quantidade de módulos, calcula-se a média base de área necessária para a instalação. (Sunna Energia, 2021)

Conforme citado anteriormente o sistema utilizado foi *On Grid* (ligado a rede), apresentado na Figura 6, ou seja, é associado a concessionária local. O sistema funciona apenas em horários diurnos, especificamente enquanto há irradiação solar. Quando o sol se põe o sistema automaticamente desliga, pelo sistema de inteligência do inversor. E volta a ser acionado automaticamente a medida em que o sol nasce e os raios solares começam a incidirem nos módulos. De dia o sistema gera energia a partir da captação solar das placas que transferem em corrente contínua (CC) para o inversor, que converte a CC em (CA) corrente alternada (Sunna Energia, 2021).

Na Figura 9 pode-se observar o inversor utilizado no sistema.

Figura 9 – Inversor On gride



Fonte: Autores 2021

Segundo a Sunna Energia (2020), a energia no momento da geração pode ser consumida naquele momento, instantaneamente, e o excedente, ou seja, "o que sobra", é transmitido à rede da concessionária, por meio do medidor bidirecional, transportado e armazenado na rede da concessionária local, para que em horários sem sol, noturnos, quando o cliente usa a energia da casa (tomadas, aparelhos, etc.) ele "possa utilizar os créditos" que estão armazenados na rede. Esse excedente fica armazenado na rede em até 60 meses da geração (garantido por normativa), podendo assim o cliente usufruir desse excedente nesse período.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de implantação do sistema fotovoltaico, conforme citado anteriormente, se inicia com uma proposta fornecida por uma empresa especializada na área, direciona ao cliente para análise e aprovação do custo, depois autorização junto à concessionária local e implantação. Na Figura 10 é possível observar a vista superior da residência com as placas solares já instaladas.

Figura 10 – Vista superior da residência



Fonte: Autores 2021

Neste estudo de caso foram analisados os seguintes fatores:

- De acordo com a Sunna Energia (2021), para a implantação dos módulos fotovoltaicos a princípio foi calculada a potência do sistema (kWp), adquirido a partir da média de consumo do cliente em kWh. Analisando as faturas obteve-se uma média de 963,27 kWh e dividiu-se essa média de consumo por 119,8 (fator base) da seguinte maneira:

$$\text{Potência do sistema} = \frac{\text{Média do consumo}}{119,8}$$

$$\text{Potência do sistema} = \frac{963,27}{119,89}$$

$$\text{Potência do sistema} = 8,04 \text{ kWp}$$

- Feito isto é orçado com distribuidoras ou pesquisas em plataformas de orçamento kits fotovoltaicos de potência, as possibilidades. O kit que contém módulos, inversores, cabos e estrutura. Sendo assim a distribuidora ou plataforma disponibiliza os kits e as potências de placas propícias. Atualmente a potência dos módulos mais empregados no mercado (325 w, 335 w, 345w,390W, 400 w, 405W, 430W).

Dessa forma a calculou-se a quantidade de módulos, obtida a partir da potência do sistema em kWp (quilowatt pico)

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{\text{Potência do Sistema} \times 1000}{\text{potência de módulos}}$$

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{8,04 \times 1000}{335 \text{ W}} = 24$$

Logo a quantidade de módulos adotada foram 24.

- O valor de investimento foi de R\$ 35.800,00.
- A implantação do sistema fotovoltaico foi realizada em março de 2020 e não foi necessária nenhuma reforma reforço ou adaptação para instalação dos módulos no telhado. O telhado estava em bom estado e a estrutura de fixação dos módulos foi realizada, por meio de trilhos e parafusos estruturais, na própria estrutura do telhado existente. A área do telhado foi escolhida devido a melhor orientação disponível (orientado para Norte). O espaço do telhado foi suficiente e não houve nenhum problema em relação à quantidade de módulos a instalar.
- Foram observadas as contas de energia elétrica da residência conforme a Tabela 1, analisando o consumo médio mensal do cliente, antes da implantação do sistema fotovoltaico no ano de 2019. Constatou-se também que o cliente faz parte da modalidade tarifária convencional, sendo a unidade consumidora pertencente ao grupo B (classe residencial), cujo perfil do cliente e discriminação nas faturas pertencentes a bandeira amarela. Considerando que na casa residem 6 pessoas, sendo 4 adultos e 2 crianças. Vale ressaltar também a quantidade aparelhos eletrodomésticos/ eletrônicos, com o total de 17, sendo: 2 ares-condicionados, 3 televisões, 1 geladeira, 1 máquina de lavar, 1 micro-ondas, 2 notebooks, 1 tanquinho, 1 liquidificador, 1 som, 1 batedeira, 1 *Airfryer* e 3 chuveiros elétricos.

Tabela 1 – Consumo médio mensal, antes da implantação do sistema fotovoltaico.

Mês/ano	Média (Kwh)	Valor (R\$)
03/2019	889	R\$ 728,98
04/2019	940	R\$ 770,80
05/2019	921	R\$ 755,22
06/2019	876	R\$ 718,32
07/2019	775	R\$ 635,50
08/2019	800	R\$ 656,00
09/2019	1067	R\$ 874,94
10/2019	1308	R\$ 1.072,56
11/2019	935	R\$ 766,70
12/2019	1063	R\$ 871,66
02/2020	1022	R\$ 838,04
Total	963,27	R\$ 8.688,72

Fonte: Autores 2021

Na Tabela 1 nota-se a média de consumo em 2019, usada para calcular a potência do sistema, conforme citado anteriormente, sendo 963,27 kWh/mês e o valor anual gasto antes da instalação do sistema fotovoltaico, somando o valor de R\$ 8.688,72. A seguir na Tabela 2, será mostrado o consumo médio mensal em kWh do cliente e o valor pago, após a instalação das placas solares.

Tabela 2 – Consumo médio mensal, após a implantação do sistema fotovoltaico.

Mês/ano	Média (kWh)	Valor (R\$)
03/2020	167	R\$ 119,32
04/2020	19	R\$ 131,36
05/2020	113	R\$ 110,56
06/2020	124	R\$ 108,74
07/2020	96	R\$ 91,95
08/2020	116	R\$ 94,87
09/2020	163	R\$ 141,95
10/2020	237	R\$ 196,13
11/2020	136	R\$ 116,77
12/2020	164	R\$ 140,12
01/2021	131	R\$ 127,90
02/2021	133,00	R\$ 141,22
03/2021	137	R\$ 131,55
Total	696,69	R\$ 1.652,45

Fonte: Autores 2021

É notório observar, que após a implantação desta tecnologia, em março de 2020, a média do consumo do cliente em kWh reduziu em 72% comparando com o consumo médio de 2019 e houve uma queda significativa no valor pago anualmente.

Conforme a concessionária local, todo esse processo ocorre da seguinte forma, o sistema permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora seja injetada na rede da distribuidora. O consumidor recebe então créditos em energia, (kWh) que podem ser utilizados para abater o consumo. Os créditos de energia gerados são válidos por 60 meses. De dia, o cliente está gerando energia solar e consumindo instantaneamente. Mas o que excede isso, o que ele não consome instantaneamente vai pra rede da concessionária local e fica "armazenado" na rede, e aí, em momentos que não tem sol o cliente pode "retirar" da rede, a rede fornece essa energia que na verdade foi o próprio cliente que gerou e "está pegando de volta".

Tudo isso acontece de forma automática, por meio do medidor (relógio) bidirecional que é instalado pela concessionária local quando fazem a vistoria. Assim, existe a compensação. Então a conta de energia mostra a energia gerada e consumida pelo cliente, além da energia que ele consome instantaneamente. Em momentos que não tem geração solar, provavelmente

no período noturno, onde o cliente retira a energia da rede da concessionária.

▪ O tempo de retorno do investimento ou *payback* foi previsto para 5 anos e 3 meses. Conforme G1 (2021), basicamente para fazer esse cálculo é preciso analisar o valor do kWh praticado em cada região, em Goiás e de acordo com o perfil do cliente é 0,82 kWh, tarifa referente à bandeira amarela. Feito isso, é preciso dividir o valor do investimento pelo produto de energia gerada e o ano pela tarifa. Da seguinte forma:

$$\text{Payback} = \frac{\text{R\$ } 35.800}{696,69 \text{ kWh} \times 0,82 \text{ R\$/kWh}}$$

$$\text{Payback} = 62,66 \cong 63 \text{ meses}$$

Logo : 5 anos e 3 meses

Nota-se que para obter o retorno do investimento é necessário um pouco mais que 5 anos, e segundo a ANEEL (2019) os painéis solares possuem uma vida útil de 25 anos. Dessa forma percebe-se que o lucro desta tecnologia é de quase 20 anos.

▪ Outro fator importante a ser analisado é o ROI (*Return On Investment*), realizado com base no custo do investimento e o retorno previsto não apenas no momento da contratação do serviço, mas durante todo o período de operação. Outros critérios são verificados para obtenção do ROI, como incidência solar, valor gasto mensalmente com energia e potência do sistema instalado, essenciais para um cálculo mais preciso. (G1 - Topsun Energia Solar, 2021).

Segundo a Solar Prime Energia Solar (2019), o cálculo do ROI é realizado multiplicando-se o custo do investimento (R\$ 35.800,00), o consumo médio anual do cliente (696,69 kWh), conforme visto na Tabela 2, e a tarifa energética de 0,82 R\$/kWh por mês, descrita na fatura do cliente, têm-se:

$$\text{ROI} = (696,69 \times 0,82 \times 12)$$

$$\text{ROI} = \text{R\$ } 6.858,48 \text{ Ano}$$

Assim o sistema teve uma média anual de economia de R\$ 6.858,48. Agora para encontrar rentabilidade basta dividir o valor economizado pelo total investido e multiplicar o resultado por 100:

$$\text{ROI} = \frac{\text{R\$ } 6.858,48}{\text{R\$ } 35.800} \times 100$$

$$\text{ROI} = 19,20\%$$

Figura 11, será apresentando a taxa de retorno de alguns investimentos comparados com a Energia Solar.

Figura 11 – Outros investimentos comparados com a Energia Solar

Investimento	Rentabilidade
Selic	2% ao ano
Ibov	0,62% ao ano
Ifix	2,67% ao ano
Poupança	1,40% ao ano
Energia solar	De 10% a 50% ao ano

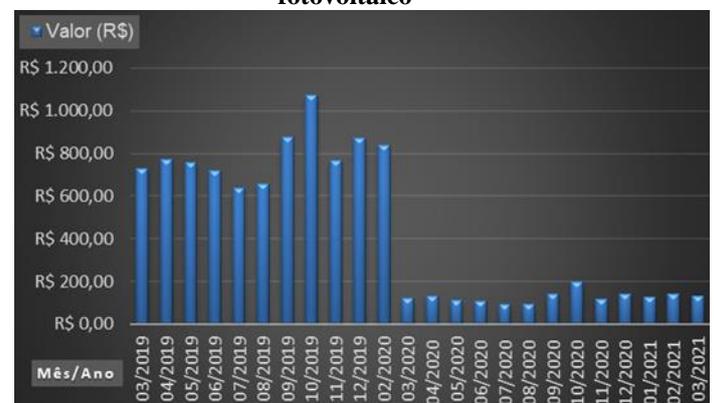
Fonte: Elysia Energia Solar (2021)

Na situação atual, a relevância do retorno do investimento em energia solar é muito significativa em comparação com outras aplicações. Comprovando que o sistema tem benefícios econômicos, viabilização técnica e é um empreendimento sustentável.

5 CONCLUSÕES

Diante de toda a análise de dados, é possível afirmar que a implantação do sistema fotovoltaico foi bastante vantajosa, reduziu o valor da conta de energia elétrica, gerou menor dependência da concessionária, além de agregar valorização ao imóvel e contribuição com o meio ambiente. No Gráfico 1 pode-se confirmar a significativa redução no valor da conta de energia do cliente antes (2019) e após (2020) a instalação do sistema.

Gráfico 1 – Antes e após a implantação do sistema fotovoltaico



Fonte: Autores (2021)

A partir dos cálculos apresentados obteve-se uma resposta **econômica**, com um retorno financeiro rápido,

social, promovendo um desenvolvimento pessoal/coletivo e **ambiental**, utilizando uma fonte de energia renovável e de qualidade, convertendo em economia a logo prazo. Sendo estes os pilares da sustentabilidade.

Conforme informação da CNN Brasil (2021), a falta de chuvas registrada nos últimos meses tem preocupado especialistas sobre a possibilidade de uma crise energética no Brasil. Com a escassez de água, os reservatórios das usinas hidrelétricas não enchem e o governo aciona as termelétricas, que produzem energia mais cara, além de serem empreendimentos insustentáveis, contribuindo para problemas sociais e ambientais.

Diante disto, este estudo de caso vai de encontro com cenário atual, divulgando e incentivando a implantação da energia solar fotovoltaica, considerada uma das alternativas promissoras nos próximos anos, uma fonte de energia limpa, abundante e com alta durabilidade. Além de contar com uma baixa necessidade de manutenção, não emite poluentes, e ocupa pouco espaço.

No ano de 2020 os projetos de infraestrutura que proporcionam benefícios ambientais ou sociais relevantes contaram com estímulos econômicos, conforme o decreto presidencial Nº 10.387, de 5 de junho de 2020. O decreto expande os incentivos financeiros para projetos de infraestrutura sustentáveis, com o objetivo de incentivar o investimento privado nesta área. Entre outras vantagens, o decreto facilita a importação de equipamentos fotovoltaicos, o que tem gerado forte demanda no Brasil.

O Governo Federal estuda um novo programa para o setor de energia solar, o “Pró-Sol”. A expectativa é que o projeto seja lançado, mas ainda não existem muitos detalhes, a ideia é que o novo programa vá além da simples renovação dos incentivos para a instalação de placas solares (OPUS Solar, 2021).

Vale ressaltar que o estudo de caso tinha como objetivo propor uma solução para implantação do sistema fotovoltaico em uma edificação residencial que não teve a sua cobertura projetada para receber os painéis solares e avaliar seu custo benefício. Isto posto, foi comprovado que não foram encontradas dificuldades no decorrer do processo de inserção de todo o sistema, conclui-se que é possível e vantajosa Tal investimento promove uma conscientização frente aos problemas ambientais e encoraja a sociedade a aderir esta tecnologia.

6 AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer as seguintes pessoas:

A nossa família e amigos, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

A Empresa Sunna Energia, representada pela Engenharia Civil Gabriela, que nos deu todo suporte e auxílio na interpretação de coleta dos dados.

A professora Luri, nossa orientadora de TCC1 que nos incentivou a abranger esta área sustentável.

A professora Silvia, por ter aceitado ser nossa orientadora de TCC 2 e ter desempenhado tal função com bastante conhecimento, dedicação e carinho.

A esta instituição de ensino, essencial em nosso processo de formação profissional e por tudo o que aprendemos ao longo dos anos do curso.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, T.C.; MALDONADO; M. U ;VAZ, C.V.. Um levantamento da produção intelectual sobre energia solar fotovoltaica. Revista Brasileira de Energias Renováveis, UFPR, v.6, n.5, p. 915-939, 4º Trimestre de 2017.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2010. Redes e linhas de distribuição, 2010 Disponível em: < <https://bit.ly/2JnSvUb>>. Acesso em 23 de fev. de 2021.
- ANEEL, 2013. Variação da radiação solar no Brasil. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/>>. Acesso 3 de mar. de 2021.
- ANEEL, 2015. ANEEL aprova regras para facilitar a geração de energia nas unidades consumidoras. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/home>>. Acesso em 17 de mar. de 2021.
- ANEEL, 2019. Revisão das regras de geração distribuída entra em consulta pública. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/revisao-das-regras-de-geracao-distribuida-entra-em-consulta-publica/656877>. Acesso em 25 de maio de 2021
- ASOLAR, 2021. Tipos de módulos. Disponível em: <<http://www.asolar.com.br/acessorios/modulo.php>>. Acesso em 7 de mar. de 2021.
- CAVALCANTI, Clóvis. (org.). (2003) Desenvolvimento e Natureza: estudos para uma sociedade sustentável. São Paulo: Cortez.
- CNN Brasil, 2021. Falta de chuvas pode levar à crise energética no Brasil, alertam especialistas .Disponível em:<<https://www.cnnbrasil.com.br/business/2021/05/13/falta-de-chuvas-pode-levar-a-crise-energetica-no-brasil-alertam-especialistas>>. Acesso em 10 de abril de 2021>.
- ECO AQUECEDORES. Energia solar fotovoltaica of gride. Disponível em: <<https://www.ecoaquecedores.com.br/energia-solar-fotovoltaica-off-grid/>>. Acesso em 15 de mar. de 2021.
- EOA ENERGIA RENOVÁVEIS. A ANEEL vai realmente taxar o sol, 2019 Disponível em: < <https://www.ecoenergias.com.br/2019/01/15/quais-sao-os-componentes-de-um-sistema-solar-fotovoltaico/a>>. Acesso em 26 de fev. de 2021.

- ELKINGTON, J. Towards the sustainable corporation: Win-win business strategies for sustainable development. *California Management Review*, v.36, n.2, p.90-100, 1994.
- ELYSIA ENERGIA SOLAR, 2021. Com juros no patamar mais baixo da história, investimento em energia solar se torna inadiável. Disponível em: <<https://elysia.com.br/taxa-juros-baixa-investimento-energia-solar/#:~:text=A%20rentabilidade%20de%20um%20sistema,16%2C9%25%20ao%20ano>>. Acesso em 26 de maio de 2021.
- ENEL. Geração Distribuída. Disponível em: <https://www.enel.com.br/ptgoias/Corporativo_e_Governo/Geracao_Distribuida.html>. Acesso em 20 de maio de 2021.
- ENTEC SOLAR. O que é um medidor de energia bidirecional, 2019 Disponível em: <<https://bit.ly/3qgOjWT>>. Acesso em 5 de mar. de 2021.
- EPE, 2018. Matriz Energética elétrica. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcedenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso 27 de fev. de 2021.
- G1 - TopSun Energia Solar, 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/especial-publicitario/top-sun/top-sun-energia-solar/noticia/2019/06/03/com-retorno-garantido-energia-solar-atrair-investidores.ghtml>>. Acesso em 25 de maio de 2021
- GOLDEMBERG, JOSÉ ; LUCON, OSWALDO. Energias renováveis: um futuro sustentável. *Revista USP*, São Paulo, p. 2-10, 24 maio 2007.
- GRUPO DE PESQUISA APLICADA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), 2018. Uma Revisão sobre as Energias Fotovoltaicas. Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:AFcW4ANCzgj:anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/download/267/267+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em 15 de abril de 2021
- IMHOFF, J. Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007. 146 f.
- MINAS ENERGY SOLUÇÕES ENERGÉTICAS, 2017. Sistema fotovoltaico: o que é, como funciona e quais são as vantagens. Disponível em: <<https://www.minasenergy.com.br/post/2017/11/16/sistema-fotovoltaico-o-que-%C3%A9-como-funciona-e-quais-s%C3%A3o-as-vantagens#:~:text=Um%20sistema%20fotovoltaico%20%C3%A9%20um,de%20corrente%20e%20tens%C3%A3o%20desejadas.>>
- MINAS ENERGY SOLUÇÕES ENERGÉTICAS. Sistemas conectados à rede, 2015 Disponível em: <<https://www.minasenergy.com.br/sistemas-on-grid>>. Acesso em 5 de mar. de 2021.
- Nota Técnica DEA 19/14 da Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20\(Revisada\)\[1\].pdf#search=nota%20tecnica%2019%20F14](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20(Revisada)[1].pdf#search=nota%20tecnica%2019%20F14)>. Acesso 28 de fev. de 2021.
- OPUS SOLAR, 2021. Governo Federal irá lançar programa “Pró-Sol”. Disponível em: <<https://opusolar.com.br/governo-federal-ira-lancar-programa-pro-sol/>>. Acesso em 15 de abril de 2021
- PEREIRA, E. M.; F. ABREU; S. RÜTHER, R. . *Altas Brasileiro de Energia Solar*. INPE. São José dos Campos 2006.
- PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. Porto: Publindústria, 2011.
- PLANALTO. Decreto, 2020 Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10387.htm>. Acesso em 5 de mar. de 2021.
- PROINFA, 2002 - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/lei200210438.pdf/112a82ee-a44e-4198-8cf4-8e157538fff2?version=1.0>>. Acesso em 25 de fev. de 2021.
- RUTHER E LIVINGSTONE. Tecnologia de Silício Amorfo Hidrogenado (a-Si). FILMES FINOS,1993
- SOLAR PRIME ENERGIA SOLAR, 2019. Aprenda aqui como calcular o roi de energia solar. Disponível em: <<https://blog.solarprime.com.br/aprenda-calculer-o-roi-de-energia-solar/>>. Acesso em 26 de maio de 2021
- SUNNA ENERGIA. Energia inteligente, 2020. Disponível em: <<http://sunnaenergia.com.br/>>. Acesso em 10 de mar. de 2021.
- VILLALVA, M.; GAZOLI, J. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo: Erica, 2012.
- WEC² ENERGIA SOLAR. Como funciona o sistema fotovoltaico, 2019 Disponível em: <<https://wec2.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico-energia-solar/>>. Acesso em 15 de mar. de 2021.