



Estudo de caso de implementação de usina fotovoltaica

Luiz Gustavo Peixoto Guimarães, João Paulo Araújo Godói
(lgpeixotoguimaraes@gmail.com, joaopaulogodoii123@gmail.com)

Professor orientador: Ruvier Rodrigues Pereira

Coordenação de curso de Engenharia Elétrica

Resumo

Uma das tecnologias mais aceitas para geração de energia é a energia solar fotovoltaica, por ser uma fonte de energia ecológica, duradoura e econômica. Conhecer o *layout* do sistema de geração de energia fotovoltaica é essencial para controlar e avaliar a qualidade do processo, além de garantir a geração de energia com custo-benefício. A análise do potencial, eficácia e viabilidade econômica do uso da energia solar fotovoltaica em substituição à energia elétrica foi o objetivo deste estudo. Onde visa implementar energia solar em uma pequena empresa onde o alto custo de energia provenientes do uso de ar condicionado eleva o custo da empresa, sendo assim o uso da energia solar viria como uma alternativa para diminuir os custos com energia.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Viabilidade econômica. energia elétrica.

1. INTRODUÇÃO

Numerosos estudos têm focado no uso de fontes renováveis de energia como resultado da crescente preocupação com o futuro ambiental do planeta. No contexto nacional e internacional, na tentativa de minimizar esses problemas, foram desenvolvidas fontes de energéticas renováveis, com o intuito de limitar, reduzir os danos ao meio ambiente e principalmente diminuir os custos de produção, comparado com a energia convencional (CARSTENS & CUNHA, 2019).

Conforme Silva (2015) entre os diversos benefícios obtidos com a geração de energia elétrica proveniente de fonte solar, destacam-se: sistema de compensação de energia elétrica para a microgeração e minigeração distribuída; redução no imposto de renda (para alguns projetos); condições diferenciadas de financiamento; apoio a projetos de eficiência energética (PROESCO); entre outros. No Brasil, apesar de possuir uma localização privilegiada para a incidência de radiação solar, por estar próximo à linha do Equador, possui poucos projetos para a utilização desse recurso natural quando comparado a países como Alemanha, China e Austrália (KELMAN, 2008). Este fato se deve à falta de recursos e financiamentos do governo nessa área.

A energia solar fotovoltaica é uma fonte adquirida a partir da transformação direta da luz do sol em eletricidade, através de células fotovoltaicas e constitui numa inesgotável fonte energética com enorme potencial para geração de energia térmica e elétrica (RUTHER, 2004).

Na atual conjuntura econômica do nosso país, com os elevados níveis de radiação solar, a energia fotovoltaica ganha espaço na matriz energética nacional e tem adquirido um potencial significativo para substituir tanto as fontes hidroelétricas como as termoeletricas. Nesse contexto, no que diz respeito à energia solar fotovoltaica, pretende-se analisar a viabilidade econômica de implantação, eficiência na substituição da energia elétrica convencional, bem como questões técnicas e um panorama geral dessa tecnologia instalada em uma empresa de porte.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial Teórico

2.1.1 Energia solar fotovoltaica

Com base na luz do sol, a energia fotovoltaica é uma fonte limpa e renovável que gera eletricidade.

“Essa produção de energia é obtida através da transformação direta da radiação solar em energia elétrica através de materiais semicondutores, que também são conhecidos como células fotovoltaicas, e que utilizam o efeito fotoelétrico ou fotovoltaico” (IMHOFF, 2007, p, 121).

As células solares convertem a energia solar diretamente em fonte de energia elétrica renovável, sendo que, atualmente, esse tipo de energia é considerado uma tecnologia energética eficiente e promissora (CRESESB, 2006). De acordo com Braga (2008), o processo de geração, que é executado por dispositivo semicondutores, não produz resíduos, não libera calor residual e não altera o equilíbrio do meio ambiente, sendo considerada sustentável.

Dado que os sistemas são modulares, um aumento na produção de energia pode ser obtido simplesmente adicionando mais módulos. Nos países em desenvolvimento, esse tipo de energia é usado em sistemas de resfriamento, processamento de alimentos e bombeamento de água, entre outros. Já em países desenvolvidos, a aplicação é feita em sistemas de telecomunicações (BRAGA, 2008; TOMALSQUIM, 2003).

2.1.2 Efeito fotovoltaico

Um efeito fotovoltaico é o desenvolvimento de uma tensão elétrica em materiais semicondutores quando expostos à luz visível.

“O efeito fotovoltaico ocorre em materiais que conduzem eletricidade de forma mais efetiva que os isolantes e menos efetiva que os materiais condutores, gerado através de uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor que é ocasionado através da absorção da luz solar” (SEVERINO & OLIVEIRA, 2010).

Três níveis de energia estão presentes em um efeito fotovoltaico, sendo que a presença do terceiro determina se o material é um semicondutor: o nível de valor, onde a presença de elétrons é permitida; o nível de conduta, onde não há nenhuma energia presente. Quando os elétrons na faixa de valor recebem energia do fóton suficiente para empurrar para fora da faixa proibida e passar para a faixa condutora, há um aumento da tensão elétrica. Para que isso aconteça, a energia recebida da luz incidente deve ser maior ou igual à energia proibida, que é a diferença entre a condutividade mínima e o valor máximo, ou então os elétrons precisam de energia para ultrapassar a faixa proibida. Com isso, ocorre a termalização, na qual a sobra se transforma em calor que aquece o material. Ou seja, se os elétrons forem capturados antes de retornarem às suas órbitas atômicas, eles poderão ser usados para criar uma corrente elétrica.

Atualmente existem diversos materiais semicondutores no mercado, sendo o silício o mais popular por possuir quatro elétrons em sua camada de valência que são conectados aos elétrons externos.

Elétrons de átomos vizinhos se combinam para formar a chamada rede cristalina, à qual são adicionados elementos com cinco ou três elementos de ligação. Os elementos com cinco elétrons de ligação possuem um elétron que está ligado fracamente ao seu átomo de origem, facilitando que ele se desligue do átomo ao utilizar pouca energia térmica. Já os elementos com três elétrons na camada de valência necessitam de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício e um elétron passa a ocupar essa posição com pouca energia térmica.

Esse movimento de elétrons gera uma diferença de potencial, onde o acúmulo de elétrons de um lado se torna negativo e do outro lado positivo e também, gera um campo elétrico que mantém os elétrons afastados. (CRESESB, 2006, p, 18).

2.1.3 Energia solar no Brasil

Segundo a Resolução Normativa nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012, que regulamenta a geração de energia por meio de painéis solares fotovoltaicos, o Brasil possui inúmeras oportunidades para diversificar suas tecnologias de produção de energia, além de possuir alta incidência de radiação solar que incentiva a instalação de sistemas fotovoltaicos. No Brasil, somando a produção de energia elétrica de todos os tipos de usinas chegam a ser 135 GigaWatts (GW), e dessa quantidade, apenas 0.00105% dessa energia é proveniente do sistema solar fotovoltaico (ANEEL,2015).

Ressalta-se que o Brasil, devido à sua alta incidência de radiação solar e uso eficiente de seu potencial de produção de energia solar, é o único país do mundo a receber mais de 3.000 horas de luz solar anualmente, principalmente em sua região nordeste.

Devido à sua média diária entre 4,5 e 6 kWh, é considerada uma região com vantagens acima das encontradas na média nacional. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2015), se todo o potencial solar do nosso país fosse utilizado, produziria 283,5 milhões de MW de energia fotovoltaica anualmente, o que seria mais do que suficiente para atender a demanda doméstica. Como resultado, pode-se concluir que o potencial da economia brasileira em relação a outras nações é maior do que, digamos, a Alemanha, que é considerada o país europeu que mais produz energia solar no mundo (EPE, 2012; PEREIRA, 2006).

Existem obstáculos e oportunidades para o crescimento da energia solar no Brasil, mas um dos maiores obstáculos é a necessidade de estabelecer políticas específicas para tecnologias de energia solar, com objetivos de longo prazo e incentivos financeiros e fiscais. Para maior exploração do potencial fotovoltaico no Brasil, deveriam ser realizados incentivos de natureza fiscal, através de disponibilidade de verbas, redução de custos fiscais e taxas mais baixas (SILVA, 2015).

2.2 Sistema Fotovoltaico

2.2.1 Células Fotovoltaica, módulo e painéis

Segundo (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011, p, 78), a célula fotovoltaica é um dispositivo básico, que aciona todo o sistema, para realizar a transformação 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 (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011, p, 78).

Os painéis são os principais componentes do sistema fotovoltaico para geração de energia. São formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011, p, 78). A figura 4 mostra a célula, módulo e o painel.

O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua posterior transformação em energia elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011, p, 78). A figura 1 representa um diagrama elétrico de um sistema fotovoltaico.

Figura 1 - Diagrama elétrico fotovoltaico.



Fonte: (KEMERICH et al., 2016)

Um método comum de limpeza de painéis solares é com chuva, embora esse método seja ineficaz, principalmente quando os painéis solares têm inclinação inferior a 15%, o que é insuficiente para movimentar os resíduos, o que reduz a produção de energia (ANEEL, 2012). Por isso, recomenda-se a limpeza periódica com água morna e detergente neutro, bem como a revisão da ligação elétrica para garantir que não haja fios expostos ou oxidados.

2.2.2 Sistemas autônomos ou isolados (*OFF GRID*)

Esses sistemas não dependem da rede elétrica convencional para o seu funcionamento, sendo altamente vantajosos tecnicamente e financeiramente em áreas afastadas do sistema elétrico tradicional, como é o caso de zonas rurais (VILLALVA & GAZOLI, 2012). Podem ou não ter sistema de armazenamento de energia e, caso seja necessária uma corrente diferente, deve-se utilizar um inversor. Se houver um sistema de armazenamento de energia, pode ser usado para carregar baterias de carros e até mesmo alimentar a iluminação pública, mas se não houver, pode ser usado para bombear água, o que representa um benefício econômico significativo, pois não requer instrumentos de armazenamento de energia. Para que a instalação do sistema seja bem-sucedida, a área deve ter condições climáticas favoráveis, como alta incidência de radiação solar e poucas nuvens. Os usos mais populares são equipamentos de bombeamento de água, rádios de observação do tempo, sistemas de iluminação em estradas, portos e aeroportos, bem como aeração de locais de grande altitude. Conforme figura 2

Figura 2 – Sistema (*OFF GRID*)



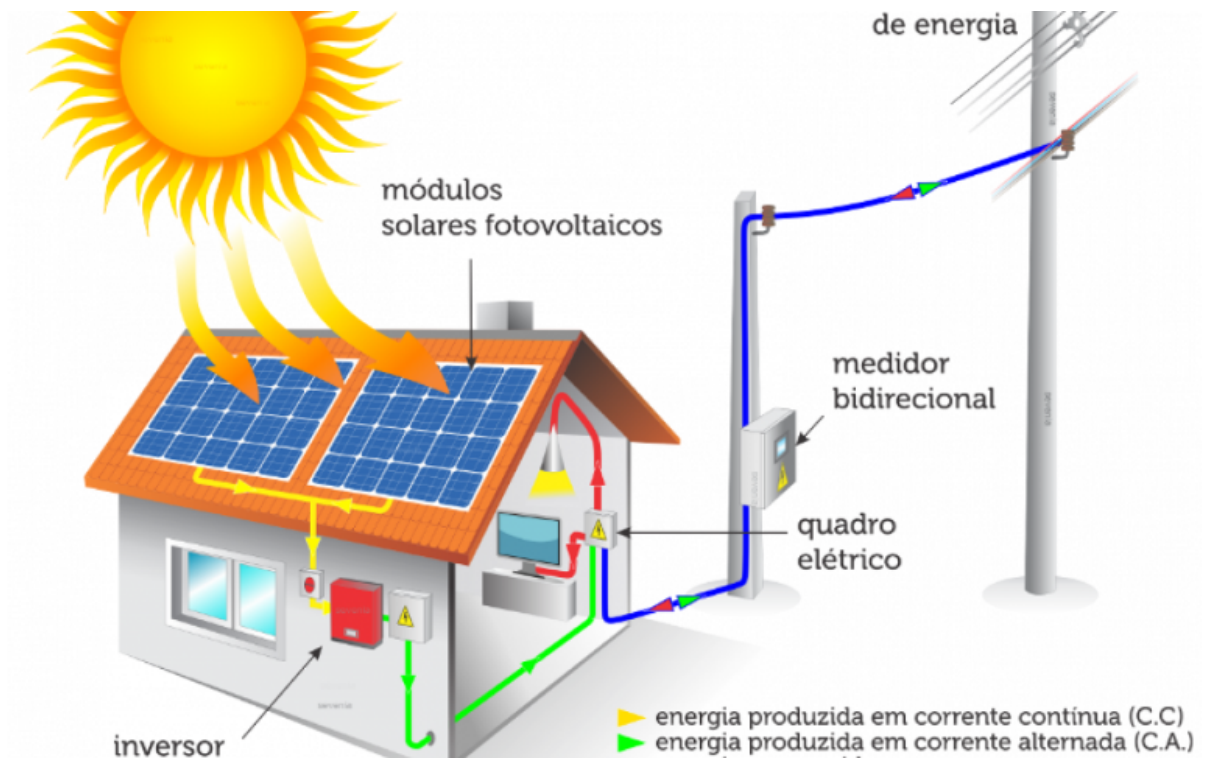
Fonte: (<https://respostas.sebrae.com.br/>)

2.2.3 Sistemas ligados a rede (*ON GRID*)

Esses sistemas são conectados diretamente à rede elétrica, sendo que o sistema fotovoltaico funciona em conjunto com a rede convencional para atender a demanda quando o gerador fotovoltaico não consegue produzir energia suficiente. Por outro lado, se o inverso for verdadeiro e o sistema fotovoltaico produzir excesso de energia, esse excesso de energia é injetado na rede. Essa conversão se dá pela utilização do inversor, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica. (PEREIRA & OLIVEIRA, 2013).

Uma vantagem é a redução do custo de instalação em até 30%, devido a esse sistema não precisar de bateria (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011). Esse sistema teve sua definição 2015 pela ANEEL, conforme publicação da Resolução Normativa N° 482/2012, que trata do micro minigeração geração de energia. Na figura 3 podemos observar esse sistema de geração.

Figura 3 – Sistema (ON GRID)



Fonte: (<https://respostas.sebrae.com.br/>)

2.2.4 O Inversor

Os inversores são equipamentos eletrônicos que transformam a corrente contínua em corrente alternada, além de controlar a qualidade da potência de saída, possibilitando a conexão do sistema com a rede elétrica pública (PINHO & GALDINO, 2014, p. 34).

Segundo norma vigente no Brasil o inversor para conexão à rede elétrica convencional deve atender à norma ABNTNBR 16.149/ 2013 (ABNT, 2013b) que estabelece parâmetro como: faixa de variações de tensão e frequência, THD, proteção contra ilhamento, fator de potência, etc.

Os inversores são formados por capacitores, indutores e um transistor que controla a abertura e o fechamento de cada sinal. Ao converter a corrente contínua em pulsos, eles produzem uma forma de onda quadrática na onda senoidal através do uso da tecnologia PWM (modulação por largura de pulso), que permite estabilizar a frequência e o valor eficaz da onda senoidal.

- Características presentes em um inversor de sistema fotovoltaico:
- Alta eficiência de conversão, tanto para cargas plenas quanto parciais;
- Alta confiabilidade e baixa manutenção;
- Operação com alta taxa de tensão de entrada e bom controle sobre a taxa de tensão de queda;
- Forma de onda senoidal com baixo conteúdo harmônico;
- Baixa emissão de conteúdo audível;
- Baixa emissão de interferência eletromagnética;
- Tolerância aos sustos de partida de carga a ser alimentados;
- Segurança para as pessoas como para uma instalação;

- Grau de proteção IP.

2.2.3 Sistemas híbridos (*ON GRID*)

Eles combinam um sistema de geração de energia fotovoltaica com outro sistema de geração de energia, como um gerador elétrico ou a diesel. Tem a vantagem de continuar gerando energia mesmo na ausência do sol, mas, apesar disso, é considerado um sistema altamente complexo porque precisa conectar muitas fontes de energia.

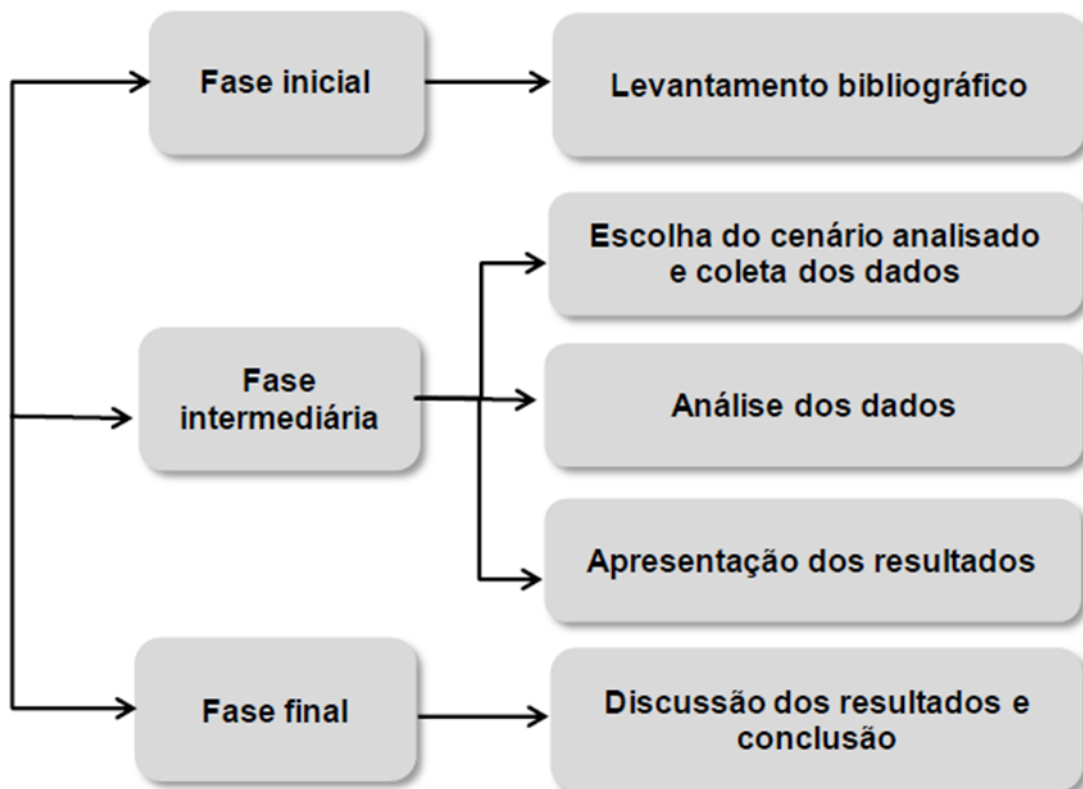
Em geral, esse tipo de sistema é utilizado para sistemas de médio a grande porte com o objetivo de atender um maior número de usuários.

“O sistema híbrido também apresenta um inversor por trabalhar com cargas de corrente contínua e devido a grande complexidade de arranjos e opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular para cada caso” (BRAGA, 2008, p, 13).

3. METODOLOGIA

Este estudo empregou uma metodologia baseada em estudos de caso. Três fatores devem ser levados em consideração ao se discutir o Método de Estudo de Caso: a natureza da experiência, a fenomenologia que está sendo estudada, o nível de compreensão buscado e o potencial para generalizar estudos usando o Método. A pesquisa foi dividida em três fases, conforme o fluxograma da Figura 2.

Figura 4 – Fluxograma da estruturação da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1 Estudo de caso

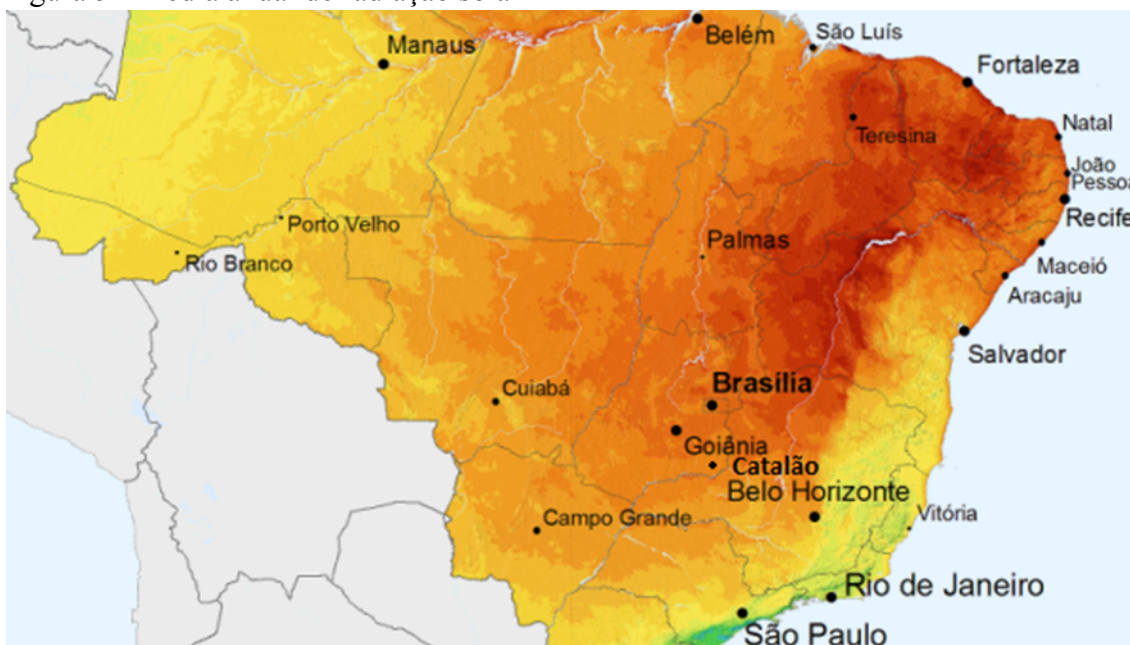
O Mendes Engenharia & Manutenção Ltda foi escolhido como local do estudo. Está situado em Rua São Joao da Aliança, 151, Bairro: Santo Antônio, Município: Catalão, Estado: Goiás. Catalão é um município brasileiro do estado de Goiás. Localiza-se à latitude 18° 9' 57" sul e à longitude 47° 56' 47" oeste e à altitude de 835 metros. Sua população segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2021, é de 113 091 habitantes e seu PIB recenseado em 2008 é de mais de 4,348 bilhões de reais e o coloca como a terceira maior economia de Goiás naquele ano. Possui área de aproximadamente 3778 km². Também dá nome ao distrito sede do município (os outros dois são Pires Belo e Santo Antônio do Rio Verde) e a uma microrregião do Estado de Goiás, formada pelos municípios de Catalão, Ipameri, Ouvidor, Três Ranchos, Davinópolis, Goiandira, Cumari, Nova Aurora, Anhanguera e Corumbaíba.

No ambiente da empresa consta duas salas de treinamentos, um laboratório de eletroeletrônico, uma sala de reunião, e escritório de atendimento, todas as salas possuem Ar Condicionado *Split* LG 12000 BTUs *Dual Inverter Voice* Frio 220V, elevando o custo da operacional da empresa, empresa está que presta serviços de manutenção elétrica terceirizados em empresas de grande porte, além de treinamentos na área de elétrica e segurança do trabalho. Será detalhado o consumo de energia no tópico seguinte.

Sua distribuidora exclusiva e primária de energia elétrica é a Companhia Equatorial Energia Goiás, conhecida anteriormente como Companhia Energética de Goiás (CELG), é uma empresa de distribuição de energia elétrica com atuação no estado de Goiás, com sede em Goiânia.

A média anual de radiação solar é em torno de 375,6 Wh/m², segundo (<https://www.inpe.br>) conforme figura 3:

Figura 5 - Média anual de radiação solar



Fonte: (<https://www.inpe.br>, acessado 15 de abril de 2023)

A empresa, Eletreco Energia Solar foi a empresa responsável pela instalação da usina solar.

3.3 Dimensionamento

Segundo Almonacid (2004), existem três formas de definir a potência nominal (em kWp) de um gerador fotovoltaico:

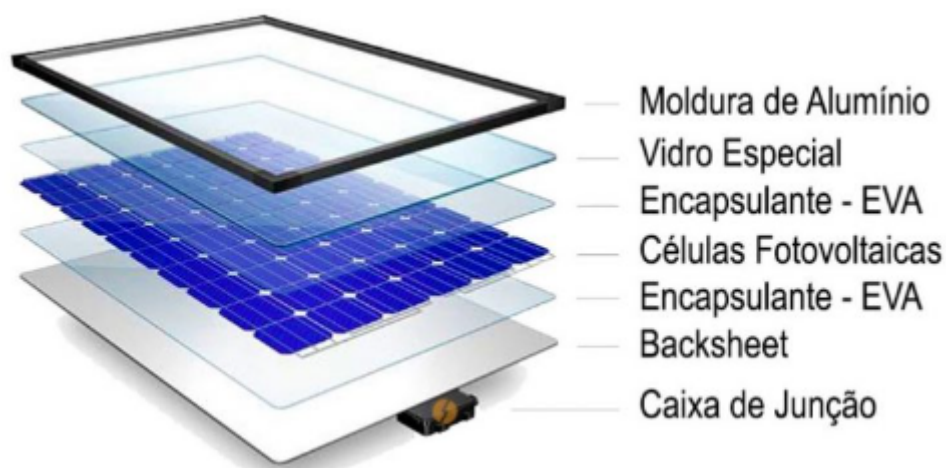
1. Geração máxima de energia fotovoltaica é a opção A.
2. Geração de energia na mesma proporção do espaço da instalação à qual o gerador será conectado.
3. A geração de energia fotovoltaica para um uso específico.

No estudo de caso, o espaço físico disponível para a instalação dos módulos teve papel importante na implantação do sistema e na determinação da potência nominal.

O módulo monocristalino Marca Kript com potência de 360 Wp e área útil de 1,94 m² foi o escolhido para a instalação do sistema. Este tipo de material possui classificação "A" do INMETRO e apresenta alta eficiência com baixo custo. Eles podem suportar mudanças bruscas de temperatura, bem como a corrosão provocada pela chuva e pela poluição atmosférica.

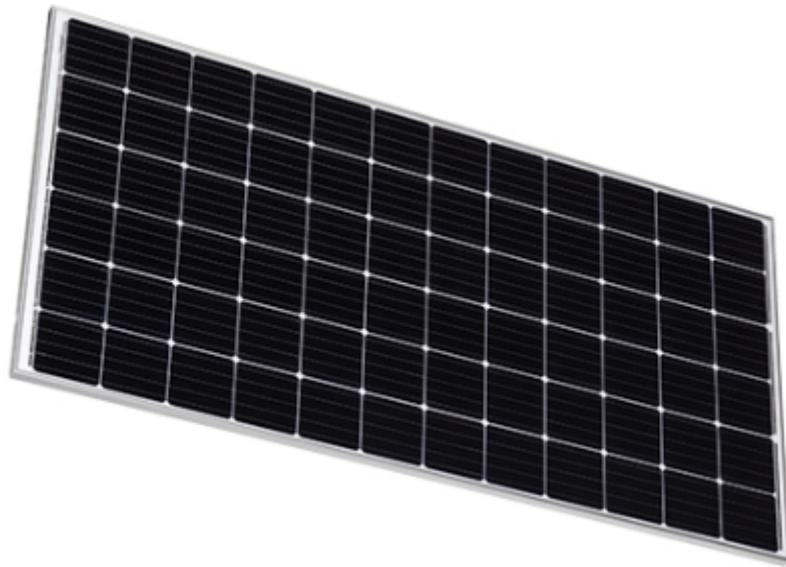
Para a instalação da usina foram disponibilizados 150 m² de cobertura. Como resultado, foram construídos 80 módulos de 1,94 m², perfazendo uma área total de 145 m². O consumo de energia da empresa foram fatores determinantes para a escolha deste tipo de módulos. Os módulos de 80 360 Wp devem produzir 28,52 kWp quando combinados. Na figura 6 temos o modelo dos módulos a ser utilizado.

Figura 6: Módulo Monocristalino



Fonte: ECOA Energias Renováveis (site: <https://ecoaenergias.com.br/paineis-solares-fotovoltaicos-bifaciais-origem-o-que-e-aplicabilidade-tecnologia/> acessado em 25 de maio. 2023)

Figura 7: Módulo



Fonte:
(<https://www.intelbras.com/pt-br/modulo-fotovoltaico-monocristalino-de-380-w-emst-380m>, acessado 25 de maio de 2023).

3.4 Instalação

Para a montagem da estrutura onde será instalada os módulos, a utilização de materiais estruturais e elétricos garantira ao produto final um perfeito acabamento estético e técnico. Os módulos foram conectados em quatro fileiras, cada uma com duas fileiras de vinte e um módulos, todas conectadas em paralelo.

Os arranjos paralelos foram conectados das seguintes formas: conectando o polo positivo de um módulo ao polo positivo de outro, e realizando a saída utilizando os polos positivo e negativo do último módulo na montagem paralela. Neste tipo de associação modular, a corrente combinada é igual à soma das correntes em cada um dos módulos individuais.

$$I_{total} = I_a + I_b + I_n \quad (1)$$

$$V_{total} = V_a + V_b + V_n \quad (2)$$

O número de módulos conectados em paralelo determina a potência do sistema, portanto, quanto mais módulos conectados em paralelo, mais potente será o sistema.

3.5 Suporte

O material escolhido para a colocação dos painéis foi o alumínio, pois a instalação ficaria em um local de difícil acesso e exposto diretamente às condições meteorológicas, sendo necessário o uso de um material que não se danificasse com a ação do sol e da chuva.

Como resultado, todas as estruturas longitudinais foram feitas de perfurações de alumínio medindo 1 14" x 1 12" x 1/8" e foram fixadas a um suporte em forma de "L" de 5" x 4".

3.6 Inversores

Dado que a instalação possui 80 módulos de 360 Wp e uma potência nominal instalada de 29,52 kWp, dois inversores GROWATT BR de 15,00 kWp cada, tensão máxima de entrada de 550 VCC, corrente máxima de entrada de 13 A/CC, dois conexões, corrente de saída máxima de 7,8 A/CA e fator de potência nominal de 0,99.

A eficiência máxima do investidor é de 97,8%, possui isolamento galvânica, construção durável, grau de proteção IP65, que permite instalação externa, e design térmico inteligente. É adequado para módulos de todas as tecnologias.

A instalação dos investidores será feita em estrutura de aço, possibilitando que o sistema de corrente contínua (cc) seja reduzido ao seu próprio sistema fotovoltaico, diminuindo os riscos de acidentes associados a este tipo de corrente elétrica, que são mais difíceis de controlar. Na figura 6 podemos observar o modelo de inverso a ser utilizado no sistema.

Figura 8: Inversor



Fonte: Autor

3.7 Condutores

Os conectores utilizados para conectar os módulos em série, fornecendo corrente contínua, e conectar os arranjos em paralelo foram do tipo conector flexível PP (Policloreto de

Polivinila) 2 x 6mm e classe de tensão 600 V. Esses cabos foram fixados com adesivo de PVC para os módulos originais e pontos de apoio do sistema.

As conexões entre os inversores, as fontes de corrente alternada e os condutores foram do tipo PP flexível (Policloreto de polivinila) tripolar (fase, neutro e terra) e classe de tensão 600 V, com seção nominal 6,0 mm. Os cabos escolhidos não proporcionam um declínio na resistência à tração de mais de 1% para os investidores de 15 A e a distância entre os módulos é de cerca de 10 metros.

3.8 Custo

Para a instalação da usina fotovoltaica, ou seja, a instalação de:

1. 80 Módulo Solar Fotovoltaica 32 Wp – KRIPT;
2. 02 Inversores Solax 15,00 kWp;
3. 02 String Box (BS-2/1 CC 32A);
4. 160 mt de Cabo Flex Preto e Vermelho 6mm²;
5. 82 Estrutura Fixação P/ Telha;
6. 10 conjunto de conector macho e fêmea mc4.

O Valor investimento foi de R\$ 150.428,00 (cento, sessenta, três mil, quatrocentos, vinte e oito reais) a vista ou financiado em 55 parcelas de R\$ 3.154.87(Três mil, centos, cinquenta, quatro reais e oitenta e sete centavos), total pagamento parcelado R\$ 173.517,85.

3.9 Analise dos dados do sistema fotovoltaico

O consumo de energia elétrica será analisado mensalmente por um tempo após a instalação da unidade fotovoltaica, juntamente com a quantidade de energia produzida pelo sistema.

Assim, a partir dos dados coletados, podemos determinar a quantidade estimada de energia que o sistema produzirá a cada mês, a quantidade de energia que será produzida anualmente e o tempo que levará para o retorno do investimento. Usaremos a seguinte equação para calcular a energia gerada:

$$Eg = P \times HSP \times \frac{Ncc}{ca} \quad (3)$$

Onde:

- Eg = energia gerada pelo gerador fotovoltaica em kWh
- P = potência nominal do gerador fotovoltaica em kWh
- HSP= irradiação média diária, intensidade total diário incidente sobre a superfície gerado em kWh/m².
- Ncc/ca = rendimento do inversor de corrente contínua para corrente alternada. 80 %

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A potência nominal total (Wp) estimada do sistema fotovoltaico instalado foi calculada a partir do número de módulos e da potência nominal de cada módulo, expressa em Wp.

$$Pt = Pp \times N \quad (4)$$

$$Pt = 360 \times 80 \quad (5)$$

$$Pt = 28.800,00 \text{ Wp} \quad (6)$$

$$Pt = 28,80 \text{ kWp} \quad (7)$$

Onde:

- Pt = Potência nominal total estimada da instalação em Wp
- Pp = Potência nominal estimada de cada tinta selecionada em Wp
- N = número de módulos necessários.

4.1 Cálculo médio estimado da energia gerado pelos painéis

A quantidade de radiação solar fornecida pela unidade de área determina a quantidade de irradiação solar, podemos estimar a radiação média diária (wH/m2.dia), conforme Tabela II.

Podemos agora usar os dados da Tabela I para calcular a quantidade estimada de energia que o sistema será capaz de produzir a cada mês e a quantidade de energia que será produzida anualmente usando a seguinte equação:

$$Eg = Pt \times HSP \times \frac{Ncc}{ca} \quad (8)$$

Exemplo para mês janeiro:

$$Eg = 28,80 \times 3,94 \times 0,8 \quad (9)$$

$$Eg = 90,777 \times 31 \text{ dias} \quad (10)$$

$$Eg = 2.814,10 \text{ kWh} \quad (11)$$

Onde:

- Eg = energia gerada pelo gerador fotovoltaica em kWh
- Pt = potência nominal total do gerador fotovoltaica em kWh
- HSP= irradiação média diária, intensidade total diário incidente sobre a superfície gerado em kWh/m².
- Ncc/ca = rendimento do inversor de corrente contínua para corrente alternada. 80 %

Tabela 1 – Calculo médio de energia gerada pela usina

Dias	Mês	Irradiação média diária	Irradiação média mensal	Dados do Gerador		Energia média gerada (kWh)
31	Janeiro	3,94	122,14	P. módulos (Wp)	360	2.814,10
28	Fevereiro	5,28	148,12	Total de módulos	80	3.427,64

31	Março	4,11	127,41	Área gerador m²	150	2.938,55
30	Abril	4,73	141,90	Pot. Gerador(kwp)	29,50	3.280,75
31	Maio	4,40	136,40	Total de inversores	2	3.150,86
30	Junho	4,67	140,10	P inversores(kW)	15,00	3.150,86
31	Julho	4,91	152,21	String/inversor	2	3.527,23
31	Agosto	5,01	155,31	Total de String	4	3.597,44
30	Setembro	4,93	147,90	Módulos/string	20	3.442,45
31	Outubro	4,32	133,02			3.092,29
30	Novembro	4,44	133,20			3.075,29
31	Dezembro	3,94	122,14			2.814,10
Total		4,56	1.660,75	Energia média gerada mensal (kWh)	3.268,36	38.375,95

Fonte: Autor

4.2 Análise Estimada anual de Economia de Energia

Analisando as últimas faturas geradas pela distribuidora local, constatou que o custo de cada Kwh de energia consumida, incluindo todos os encargos que incide sobre o produto, ICMS (imposto sobre circulação de mercadoria), PIS/COFINS (Programa de integração social/ contribuição para o financiamento de seguridade social) e ECE (encargos sobre comercialização de energia), foi no valor R\$ 0.86 kwh (oitenta e dois centavos).

Foi possível calcular o período de *payback* simples estimado (PRS), que nos dá o prazo necessário para recuperar o investimento inicial, utilizando a geração de energia estimada, conforme Tabela 2.

$$PRS = \frac{\text{Custo de investimento inicial(R\$)}}{\text{Economia anual}} \quad (12)$$

$$PRS = \frac{173.517,85}{33.813,63} = 5.13 \quad (13)$$

Onde:

- PRS = Tempo estimado de retorno do investimento dado em anos

Tabela 2 – Produção estimada de energia gerada.

Mês	Energia média gerada mensal (kWh) Estimada- Calculado Tabela 1	Custo kWh R\$	Total R\$
Janeiro	2.884,46	R\$ 0,86	2.480,63
Fevereiro	3.498,00	R\$ 0,86	3.008,28
Março	3.008,91	R\$ 0,86	2.587,66
Abril	3.351,11	R\$ 0,86	2.881,95

Maio	3.221,22	R\$ 0,86	2.770,24
Junho	3.306,60	R\$ 0,86	2.843,67
Julho	3.694,59	R\$ 0,86	3.177,34
Agosto	3.667,80	R\$ 0,86	3.154,30
Setembro	3.492,81	R\$ 0,86	3.003,81
Outubro	3.162,65	R\$ 0,86	2.719,87
Novembro	3.145,65	R\$ 0,86	2.705,25
Dezembro	2.884,46	R\$ 0,86	2.480,63
Total	39.220,27		33.813,63

Fonte: Autor

5 CONCLUSÕES

A implementação de fontes alternativas de energia está se tornando cada vez mais importante à medida que o mundo se encontra em meio a uma crise ambiental.

Os resultados a serem obtidos com a instalação da usina fotovoltaica, demonstram que o sistema fotovoltaico é competitivo com a tecnologia que hoje rege o mercado de energização. Para ser mais preciso, você deve realizar um estudo mais aprofundado do projeto e da estimativa de produção.

O estudo mostrou a viabilidade técnica e a facilidade de instalação de um sistema fotovoltaico conectado a uma rede de distribuição de baixa tensão, deixando claro que não existem barreiras técnicas para a consolidação dessa forma limpa de produção de energia elétrica.

6 AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por nossa determinação saudável e infalível; por nossos pais, irmãos, cônjuges e amigos que nos encorajam em tempos difíceis e compreendem nossa ausência quando nos doamos.

Agradeço aos professores pelas correções e ensinamentos, para que possamos ter um melhor desempenho ao longo do processo de formação profissional do curso. E a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a conclusão deste trabalho.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução N° 482, de 17 de abril de 2012**. Biblioteca virtual. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 18 de abril de 2019.

ALVES, J. **Estudos fotofísicos e fotovoltaicos de sistemas polímero-fulereno e nano partículas de CdSe**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011.

BRAGA, R. P. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Elétrica, novembro, 2008.

COMETTA, Emilio. **Energia Solar: utilização e empregos práticos**. Tradução: Norberto de Paula Lima. São Paulo: Hemus Livraria Editora Limitada, 1978.

COPETTI, J.; MACAGNAN, M. **Baterias em sistemas solares fotovoltaicos**. Abens –Associação Brasileira de Energia Solar. Fortaleza, 11, abr. 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário interativo**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt>>. Acesso em: 13 de abr. 2019.

FERREIRA, D. F. **SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística**. Revista Científica *Symposium*, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

FIRMINO, M; SOUZA, A. **Projeto FEUP**. Faculdade de engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2015. GEI, Global *Electricity Initiative*. Disponível em: <<https://www.worldenergy.org/>>. Acesso em 14 de abr. 2019.

GORE, A. **Nossa escolha: um plano para solucionar a crise climática**. Ourchoice: a planto solve the climate crisis. Barueri, SP: Manole, 2010.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. **Censo Demográfico. 2016**. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/1OM>>. Acesso em: 13 abril. 2019.

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. Instituto Nacional de Pesquisas Meteorológicas, INMET, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 03 de mai. 2019.

JANUZZI, G. M . **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil: panorama da atual legislação**. International energy initiative. Campinas, SP, 2009.

KONZEN, G . **Difusão de sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede no Brasil: uma simulação via modelo de Bass**. Tese de dissertação de mestrado. PPGE- USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MESSENGER, R.; VENTRE, J . **Photovoltaic Systems Engineering**. Boca Raton: CRC Press, 2010.

MIRANDA, F. **Energia Solar Fotovoltaica: Uma breve revisão**. Revista virtual de química. Niterói, RJ, vol. 7, n. 1, p. 126-143, 14, out. 2015.

NASCIMENTO, C . **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2014.

PEREIRA, E. B; MARTINS, F.R.; ABREU, S. L. de; RÜTHER, R . **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PINHO, J.; GALDINO, M . **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. LABSOLAR. Florianópolis, 114p, 2004.

SALAMONI, I.; RÜTHER, R . **Potencial Brasileiro da Geração Solar FV conectada à Rede Elétrica: Análise de Paridade de Rede**. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 2007.

SEVERINO, M.& OLIVEIRA, M. **Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas**. Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados, Palmas, ano 2014.