

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS, ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO E SERVIÇO SOCIAL

ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DE ESTRUTURAS INDEPENDENTES
DE POSICIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

FILIPPE AGUIAR ALMEIDA

Ituiutaba - MG

2023

FILIPPE AGUIAR ALMEIDA

ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DE ESTRUTURAS INDEPENDENTES
DE POSICIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação da Faculdade
De Administração, Ciências Contábeis,
Engenharia De Produção E Serviço Social da
Universidade Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Produção.

Orientador: Profº. Gleyzer Martins

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Gleyzer Martins
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Mara Rúbia da Silva Miranda
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Marcus Vinícius Ribeiro Machado
Universidade Federal de Uberlândia

Ituiutaba – MG
Novembro de 2023

Dedico este trabalho ao meu dedicado orientador, que guiou minha trajetória acadêmica. Aos amigos, pelo apoio constante, e à minha amada família, pela inspiração e incentivo incansável.

[AGRADECIMENTOS]

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por guiar meus passos e iluminar meu caminho ao longo desta jornada acadêmica. À minha família, pelo amor incondicional e apoio constante que foram minha fonte de inspiração. Aos amigos que compartilham desafios e momentos inesquecíveis. Aos professores, por compartilharem conhecimento e sabedoria. E ao meu dedicado orientador, pelo comprometimento, direcionamento e incentivo que foram fundamentais para a realização deste trabalho. Muito obrigado.

"O sol é o maior ativo econômico inexplorado do mundo."

David Morris

RESUMO

O Brasil se destaca no cenário global de energia solar fotovoltaica, ocupando o 4º lugar em adições de capacidade em 2021. Diante disso, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFVCR), conhecidos como “on grid”, são fundamentais para este cenário. Nesse contexto verifica-se nas instalações residenciais o aproveitamento da inclinação e do posicionamento dos telhados residenciais, mesmo em posições não recomendadas. Logo, neste trabalho realizou a análise econômica e experimental de um arranjo composto por módulos fotovoltaicos submetidos a diferentes ângulos de altura solares e azimutais, em busca de avaliar a geração elétrica produzida em diferentes condições. Enfim, os resultados evidenciam a robustez dos módulos solares que apresentam geração elétrica satisfatória, desde que posicionados na altura solar correta.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica. Geração Distribuída. Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

Brazil stands out in the global photovoltaic solar energy scenario, occupying 4th place in capacity additions in 2021. Therefore, photovoltaic systems connected to the electrical grid (SFVCR), known as "on grid", are fundamental to this scenario. In this context, residential installations take advantage of the slope and positioning of residential roofs, even in non-recommended positions. Therefore, in this work, an economic and experimental analysis was carried out on an arrangement composed of photovoltaic modules subjected to different solar and azimuthal height angles, in order to evaluate the electrical generation produced under different conditions. Finally, the results demonstrate the robustness of the solar modules that present satisfactory electrical generation, as long as they are positioned at the correct solar height.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy. Distributed generation. Economic viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Derivada de satélite, radiação solar direta para o Brasil em kWh/m ² /dia	13
Figura 2 - Representação de um sistema isolado	15
Figura 3 - Representação de um Sistema conectado à rede	15
Figura 4 – Etapas do aproveitamento da energia solar	16
Figura 5 - Sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição	16
Figura 6 - Trajetória aparente do Sol no céu, durante o dia (nascente e poente)	17
Figura 7 – Ângulo de inclinação do painel e ângulo de incidência da radiação solar	18
Figura 8 – Estruturas de posicionamento solar idealizadas em <i>SolidWorks</i>	21
Figura 9 – Estruturas de posicionamento solar construída	24
Figura 10- Taxa de geração fotovoltaica	27
Figura 11- Gráfico de porcentagem de geração	28
Figura 12- Gráfico de geração de energia	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Fraquezas e vantagens <i>Payback</i> Simples	20
Tabela 2- Componentes utilizados e suas especificações	22
Tabela 3- Posições e ângulos azimutais	25
Tabela 4 – Custo do Sistema de Posicionamento Solar misto PVC e Impressão 3D	26
Tabela 5 – Custo do Sistema de Posicionamento Solar todo em PVC	26
Tabela 6- Resultados análises	29
Tabela 7- Relação quantidade de placas, investimento, VPL, TIR, e <i>Payback</i> Descontado	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	12
2.2	HISTÓRIA DA ENERGIA FOTOVOLTAICA	12
2.3	POTENCIAL DE GERAÇÃO	13
2.4	TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	14
2.4.1	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS (SFVI)	14
2.4.2	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA (SFVCR)	15
2.5	COMPONENTES DE INSTALAÇÃO E TIPOS	15
2.6	POSICIONAMENTO ANGULAR E ORIENTAÇÃO DOS MÓDULOS	17
2.6.1	ORIENTAÇÃO MÓDULOS	18
2.7	ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DE PROJETOS	19
2.7.1	TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)	19
2.7.2	VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	19
2.7.3	TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)	20
2.7.4	PAYBACK	20
	PAYBACK SIMPLES	20
	PAYBACK DESCONTADO	20
3	MÉTODOLOGIA	21
4	RESULTADOS	25
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
	REFERÊNCIAS	33
	APÊNDICE A – ANÁLISE DE INVESTIMENTO	35

INTRODUÇÃO

O ano de 2023 registrou o maior aumento de capacidade instalada de geração solar centralizada no Brasil, mostram dados do Ministério de Minas e Energia (MME). Conforme o levantamento, a expansão da capacidade instalada da matriz elétrica foi de 7 GW entre janeiro e agosto de 2023. Esse total, 6,2 GW têm origem nas fontes solar e eólica. As fontes renováveis compreendem 83,79% de toda a matriz elétrica do Brasil (ABSOLAR, 2023).

Atualmente, a fonte solar já está em 32 GW no Brasil, com mais de R\$ 78,5 bilhões de investimentos acumulados e mais de 450 mil empregos criados desde 2012. Com isso, também evitou-se a emissão de 20,8 milhões de toneladas de CO₂ na geração de eletricidade.

De acordo com a ANEEL, até 2017, as usinas solares fotovoltaicas não participavam da matriz elétrica do Brasil. A rápida ascensão observada nos últimos cinco anos deve se manter em ritmo acelerado. Neste momento, estão em construção empreendimentos com aproximadamente 4,7 GW de capacidade, com previsão de entrada em operação entre 2022 e 2023. Outras usinas solares outorgadas pela ANEEL e em vias de serem construídas possuem quase 51 GW de potência outorgada (ANEEL, 2022).

Diante disso, os sistemas fotovoltaicos permite que os consumidores domésticos gerem sua própria energia elétrica a partir da energia solar e, inclusive, podem fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (Resolução Normativa 482/2016), a geração distribuída em micro e mini centrais são inovações para o setor energético do país, aliando economia financeira, consciência socioambiental e sustentabilidade.

Para a instalação adequada dos painéis fotovoltaicos, a qual aproveita melhor a radiação solar incidente, a posição ideal para os painéis fotovoltaicos implantados em telhados de casas ou centros comerciais no hemisfério sul é voltada para o Norte geográfico. Visto que o Sol nasce no Leste e em sua trajetória inclina-se em direção ao norte até se pôr no Oeste (Dantas Neto, 2018). No entanto, o que se observa é que raramente tem-se essa condição favorável para a instalação dos arranjos fotovoltaicos. Via de regra, os micros e minis sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica são instalados em telhados cuja orientação e inclinação não atendem à situação ideal, resultando em uma geração de energia abaixo do potencial de pico do painel (Oliveira et al., 2020).

Nos últimos anos, tem-se observado um aumento da instalação de geradores fotovoltaicos na cidade de Ituiutaba, interior de Minas Gerais, fato que motivou a realização desse trabalho com o objetivo realizar avaliação econômica e experimental da geração de energia elétrica para diferentes orientações dos arranjos fotovoltaicos para aprimorar a efetividade do uso da energia solar. Para tanto, os objetivos

específicos são: i) montar uma bancada experimental de fixação dos painéis fotovoltaicos; ii) coletar os dados de geração elétrica fotovoltaica dos módulos solares em diferentes posições; iii) realizar o tratamento estatístico dos dados e avaliar a análise econômica para as diferentes posições dos módulos solares.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Fundamentos Teóricos

Os fundamentos teóricos inicialmente apresentam um breve histórico da energia fotovoltaica, passando pela potencial de geração do Brasil e os tipos de tecnologias de geração fotovoltaicas, além de uma revisão do posicionamento solar e dos módulos solares. Finalmente, foi realizada a revisão dos métodos de análise de investimento

2.2. História da Energia Fotovoltaica

A história da energia fotovoltaica remonta a 1839, quando o físico francês Edmund Becquerel observou pela primeira vez o efeito fotovoltaico. Ele notou o surgimento de uma tensão entre os eletrodos de uma solução condutora quando essa solução era iluminada pela luz solar (Fadigas, 2012). Esse fenômeno abriu caminho para o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica.

Desde então, muitos avanços foram feitos na produção de células fotovoltaicas. De acordo com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB, 2006), a maioria das células fotovoltaicas fabricadas atualmente é feita de silício (Si) e pode ser constituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou silício amorfo.

A tecnologia fotovoltaica passou por várias fases de desenvolvimento ao longo dos anos. Inicialmente, era utilizada principalmente em aplicações espaciais e de satélites, onde a energia solar era uma fonte confiável e renovável para alimentar as missões espaciais. Com o tempo, os avanços tecnológicos e a redução dos custos de produção permitiram a adoção mais ampla da energia fotovoltaica em outros setores, como residências, empresas e usinas de energia.

No Brasil e no mundo, a energia solar fotovoltaica tem ganhado destaque como uma alternativa viável e sustentável para a geração de eletricidade. Seu crescimento está diretamente ligado aos esforços para mitigar as emissões de gases de efeito estufa e reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis. A energia fotovoltaica oferece uma solução limpa e abundante, aproveitando a luz do sol para gerar eletricidade de forma eficiente e sustentável (Da Cunha Kemerich et al., 2016).

Essa evolução histórica da energia fotovoltaica é fundamental para entender o contexto atual e a importância dessa fonte de energia renovável no cenário energético global e no Brasil. O avanço tecnológico e a crescente conscientização sobre a necessidade de uma transição energética sustentável têm impulsionado a adoção da energia solar fotovoltaica como uma solução econômica e ambientalmente benéfica.

2.3. Potencial de geração

Com o aumento da preocupação a respeito do futuro do planeta, aumentaram-se também os estudos e investimentos em fontes renováveis de energia. Mesmo após esse aumento, o setor de geração de energia ainda é mal distribuído no Brasil, concentrando a maior parte da sua geração de energia nas fontes hídricas. Por outro lado, o país possui um grande potencial para geração de energia solar. Em termos de comparação, a radiação solar na região mais ensolarada da Alemanha, por exemplo, que é um dos líderes no uso da energia fotovoltaica, é 40% menor do que na região menos ensolarada do Brasil (Salamoni; Ruther, 2007). Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, diariamente incide entre 4.500 Wh/m² a 6.300 Wh/m² no país (Martins et al., 2017).

Figura 1- Derivada de satélite, radiação solar direta para o Brasil em kWh/m²/dia.



Fonte: (Pereira 2017)

A microgeração e a minigeração foi regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), pela Resolução Normativa no 482, de 17 de abril de 2012. Segundo o documento, qualquer cidadão pode gerar a energia que consome, além de injetar o excedente na rede elétrica, recebendo créditos pelo insumo disponibilizado. Essa forma de geração vem ganhando cada vez mais destaque e incentivo por

possibilitar a diversificação da matriz energética, diminuir as perdas do sistema e postergar a necessidade de investimento na ampliação das redes de transmissão e de distribuição de energia.

Somente na presente década, o país começou a adotar políticas assertivas e ferramentas reguladoras para estimular a utilização de sistemas de geração fotovoltaica (Dias et al., 2017). A partir de 2014, a ANEEL iniciou leilões com o objetivo de desenvolver cerca de 12GW de energia solar fotovoltaica, entretanto barreiras como infraestrutura e planejamento ainda dificultam a expansão desta tecnologia (Frate, Brannstrom, 2017). No entanto, as políticas atuais do governo brasileiro foram responsáveis por uma crescente implantação de sistemas fotovoltaicos e, portanto, estão proporcionando condições mais favoráveis para o surgimento de uma indústria fotovoltaica nacional (Souza; Cavalcante, 2016).

2.4. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

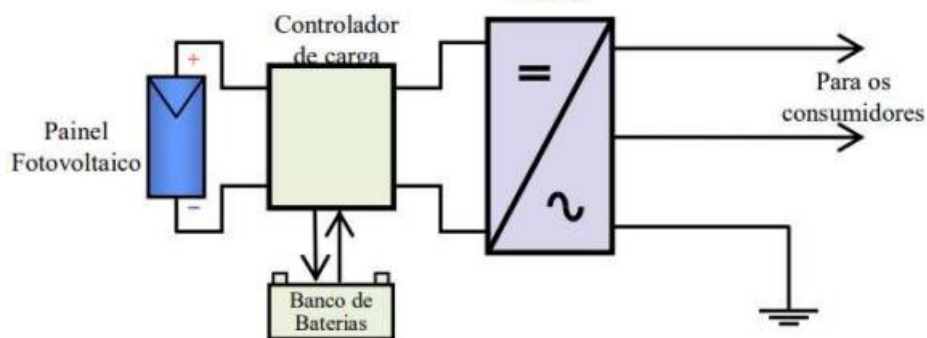
Segundo a norma ABNT NBR 11704 (ABNT, 2008), os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos quanto à interligação com o sistema público de fornecimento de energia elétrica (isolados ou conectados à rede elétrica), e quanto à configuração (puros ou híbridos). Os sistemas isolados não são conectados ao sistema público de fornecimento de energia, e os sistemas conectados à rede são conectados ao sistema público de fornecimento de energia. No quesito configuração, os sistemas puros são os que têm apenas o sistema fotovoltaico como gerador de energia. Já os sistemas híbridos, além do sistema fotovoltaico, também utilizam algum outro tipo de gerador de energia elétrica (ABNT, 2008).

2.4.1. Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFVI)

Os sistemas autônomos precisam armazenar energia para compensar as diferenças existentes no tempo entre a produção de energia e o seu consumo. As baterias recarregáveis são utilizadas como acumuladores de energia. Em geral, a utilização de baterias obriga que se torne indispensável a utilização de um regulador de carga adequado que faça a gestão do processo de carga, de forma a proteger e garantir uma elevada confiabilidade e um maior tempo de vida útil das baterias. O controlador de carga é um aparelho eletrônico destinado a controlar e monitorar a carga e/ou a descarga do banco de baterias e o inversor é o aparelho que converte a tensão contínua (CC), proveniente do painel fotovoltaico ou do banco de baterias, em tensão alternada (CA) com características adequadas para alimentação de aparelhos elétricos e eletrônicos (Viana, 2010). A energia armazenada pode ser fornecida tanto em corrente contínua quanto em corrente alternada com a utilização de um inversor (PORTAL DA ENERGIA, 2004).

Os sistemas fotovoltaicos isolados são geralmente instalados em localidades afastadas dos grandes centros, que não possuem o serviço público de distribuição de energia elétrica. O banco de baterias armazena a energia gerada durante as horas de sol para que seja utilizada nos períodos nos quais não há radiação solar. A Figura 2 apresenta o diagrama com os componentes básicos deste tipo de sistema, para fornecimento em corrente alternada (CA) (Viana, 2010).

Figura 2 - Representação de um sistema isolado

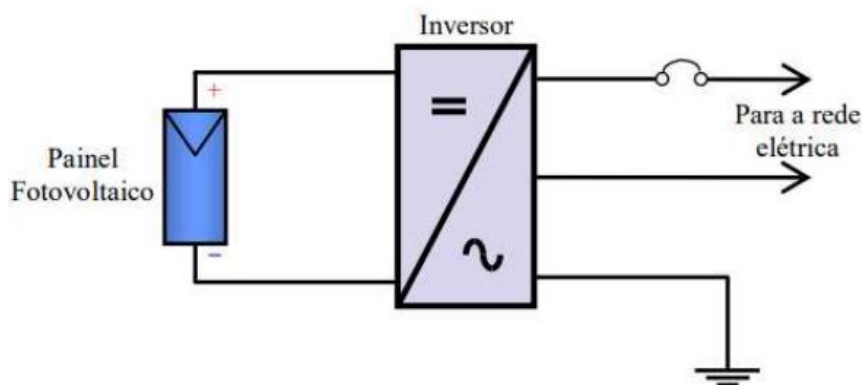


Fonte: Viana (2010).

2.4.2. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFVCR)

Sistemas ligados à rede (*on grid*) são aqueles que são conectados à rede elétrica de distribuidoras de energia. O painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. A conversão da energia também é feita utilizando inversores de frequência, que realizam a interface entre o painel e a rede elétrica. (Pereira; Oliveira, 2011). A Figura 3 apresenta o diagrama e os componentes básicos de um sistema conectado à rede:

Figura 3 - Representação de um Sistema conectado à rede.



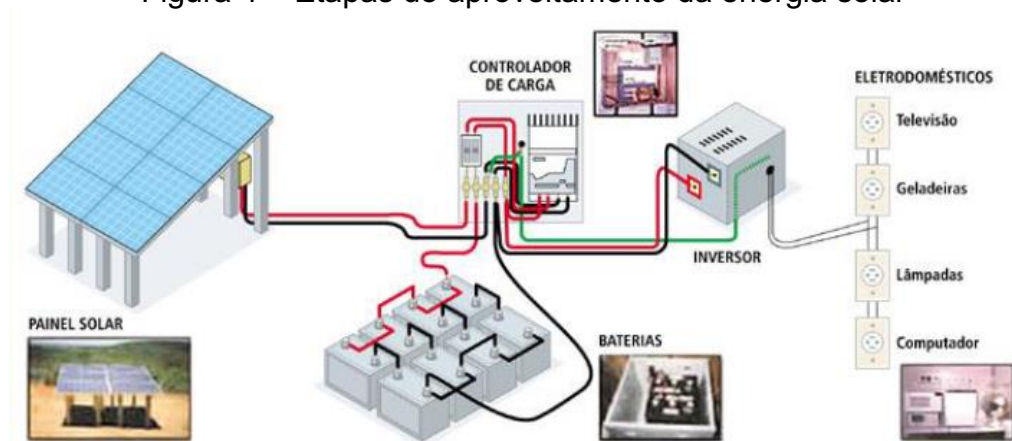
Fonte: Viana (2010).

O SFVCR apresenta como principais vantagens em relação ao SFVI a sua elevada capacidade de produção e o não requerimento de um conjunto de baterias (pois utiliza toda a energia que os módulos fornecem), que apresentam uma vida útil reduzida e um custo de manutenção e reposição alto (Tonin, 2017).

2.5. Componentes de Instalação e tipos

Quando a luz solar atinge uma célula fotovoltaica, ela produz uma pequena corrente elétrica. Essa corrente é recolhida por fios ligados à célula, e transferida para os demais componentes do sistema, sendo assim, quanto mais células fotovoltaicas são ligadas em série ou em paralelo, maior a corrente e tensão produzidas (Pereira et al., 2006). A Figura 4 ilustra de forma simples o aproveitamento da radiação solar para fins de aproveitamentos energéticos.

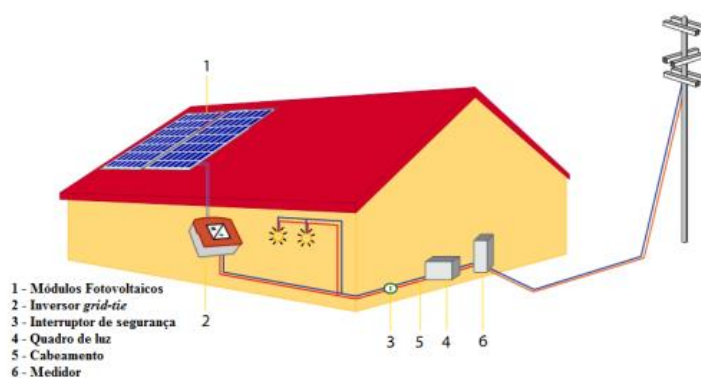
Figura 4 – Etapas do aproveitamento da energia solar



Fonte: Cresesb (2006).

Uma instalação solar fotovoltaica integrada a uma edificação e conectada à rede elétrica é composta por vários itens, incluindo painéis solares, sistema de fixação ao envoltório da construção, sistema conversor CC-CA (inversor), diodos de *bypass* e diodos de bloqueio, fusíveis e disjuntores, cabos elétricos, terminais, proteções contra sobretensões e descargas atmosféricas e caixas de conexão, ver Figura 5.

Figura 5: Sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição



Fonte: (Souza, 2016)

2.6. Posicionamento angular e orientação dos módulos

Para a maioria das aplicações de energia solar, é preciso conhecer onde o Sol vai estar no céu em um determinado momento do dia e do ano (Kalogirou, 2009). Dois ângulos especificam a localização do Sol no espaço: o azimute solar (ω) e a altura solar (ϕ). O azimute solar é o ângulo formado entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e o eixo norte-sul, a partir do sul. Este ângulo pode variar entre $+180^\circ$ e -180° , sendo positivo a leste do sul. A altura solar é o ângulo entre o raio solar e a projeção do mesmo sobre o plano horizontal. Além dos ângulos azimutal e altura solar, há, também o ângulo zenital solar (γ), que é aquele formado entre os raios do Sol e a vertical (Kalogirou, 2009), conforme apresentado na Figura 6 (Kalogirou, 2009; Villalva; Gazoli, 2012).

A radiação solar incidente é influenciada pela espessura da camada atmosférica que deve ser atravessada até o solo e depende do comprimento do trajeto. Este trajeto depende do ângulo de inclinação do Sol com relação à linha do zênite, ou ângulo zenital solar (γ), conforme apresentado na Figura 6 que mostra a trajetória aparente do Sol no céu no hemisfério norte (Villalva; Gazoli, 2012).

Figura 6 - Trajetória aparente do Sol no céu, durante o dia (nascente e poente)



Fonte: Kalogirou (2009)

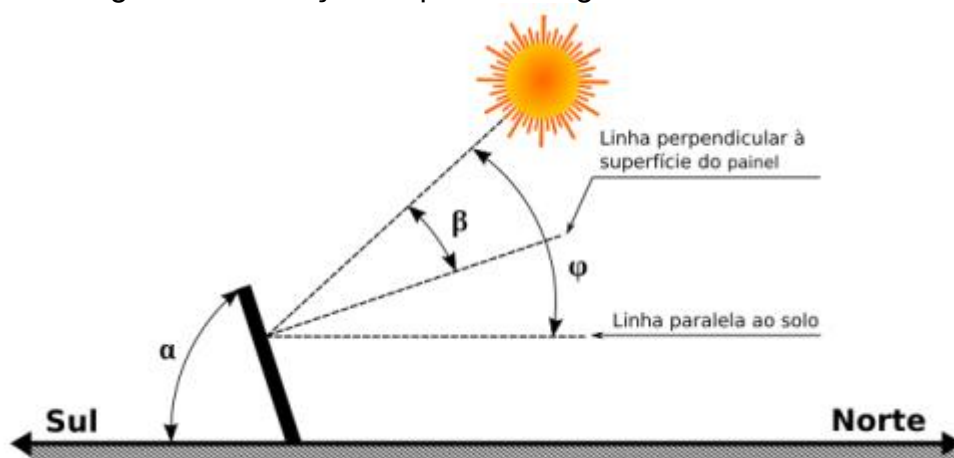
A Terra tem um movimento ao redor do Sol (translação), em uma trajetória elíptica, ao longo de um ano, 365,25 dias, e outro em torno de seu eixo geométrico (rotação), a cada 24 horas (Kalogirou, 2009). Chama-se de declinação solar (δ) o ângulo formado pela linha do Equador e a reta que une os centros do Sol e da Terra, como pode ser observada, a declinação varia entre 0° nos equinócios e entre $-23,45^\circ$ a $+23,45^\circ$ nos solstícios, que apresenta a declinação durante os equinócios e os solstícios (Duffie; Beckman, 2013; Kalogirou, 2009). De acordo com a posição aparente do Sol, ao longo do ano, varia em 47° ($-23,45^\circ$ a $+23,45^\circ$) sentido Norte / Sul. A declinação, por convenção, ao sul da linha do Equador é negativa, e positiva quando é ao norte.

2.6.1. Orientação módulos

A orientação do painel fotovoltaico objetiva a captação da radiação direta, pois a radiação difusa chega à superfície da Terra de maneira irregular e aleatória é importante para determinar a posição do ou dos painéis fotovoltaicos em um sítio. A posição do sol no céu determina a inclinação dos raios solares incidentes na superfície de um painel fotovoltaico. Um painel fotovoltaico para captar a maior quantidade desses raios deve acompanhar o movimento diário do Sol (Villalva; Gazoli, 2012).

Outro ângulo importante para a instalação de um painel fotovoltaico é a altura solar que especifica a localização do Sol no espaço. Devido a existência da declinação solar, o Sol nasce e se põe em diferentes localizações no globo terrestre e descreve trajetórias com diferentes inclinações em cada dia do ano. Um observador localizado no hemisfério sul, voltado para o Norte geográfico, verá o Sol descrevendo uma trajetória circular no dia. A altura do Sol no céu é maior nos dias de verão, e no inverno, para aquele observador, o Sol descreve uma trajetória mais baixa. O ângulo da altura solar (φ), depende da localização geográfica do observador e do ângulo de declinação solar (Villalva; Gazoli, 2012). Sabe-se que para o melhor aproveitamento da radiação solar ocorre quando os raios solares incidem perpendicularmente ao painel, isto é, idealmente quando a inclinação do painel coincide com o valor da altura solar, ou seja, na Figura 7 o ângulo (β) é igual a zero. A Figura 7 mostra como a radiação solar incide em um painel.

Figura 7 – Ângulo de inclinação do painel e ângulo de incidência da radiação solar



Fonte: (Gazoli,2012)

Onde: α = ângulo de inclinação dos painéis [$^{\circ}$];

β = ângulo de incidência da radiação solar faz com a linha perpendicular à superfície do painel [$^{\circ}$];

φ = altura solar [$^{\circ}$].

Pelo exposto, o painel fotovoltaico deveria acompanhar o movimento do Sol e assim permitir a geração da maior quantidade de energia possível no dia. Sendo fixo o ângulo de inclinação do painel fotovoltaico, deve-se optar por um valor de ângulo que máxime a exposição do painel à radiação solar. Não existe, na literatura, um consenso sobre qual seja o melhor ângulo de inclinação do painel. Alguns fabricantes de painéis fotovoltaicos recomendam, por uma regra simples, um ângulo que

possibilite uma boa produção média de energia anual para diversas faixas de latitudes geográficas.

2.7. Análise de viabilidade financeira de projetos

Inicialmente, é necessário identificar um desafio, que, no contexto em questão, se traduz no custo elevado de instalação de um sistema fotovoltaico. Com isso, é feita uma comparação dos retornos previstos (entradas) com os investimentos necessários (saídas). Portanto, é necessário fazer uma projeção de quanto o projeto retornará em economia de custos de instalação e operação para fazer a análise. Tendo essa projeção, é feita a análise dos indicadores, que são eles: VPL, TIR e *Payback* para tomar uma decisão se o projeto é viável ou não, tendo uma taxa mínima de atratividade (TMA) do projeto a ser comparada.

2.7.1. Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A Taxa Mínima de Atratividade é uma taxa que representa um percentual mínimo de retorno para que o investidor aplique seu dinheiro. A taxa mínima de atratividade é um dos conceitos para balizar o custo de oportunidade do negócio (Mallmann, 2012).

De acordo com Bourscheidt (2016), quando se analisa uma proposta de algum investimento deve ser levado em consideração que muitas vezes, está se perdendo a oportunidade de auferir retornos pela aplicação desse capital em outros projetos. Assim a taxa mínima de atratividade o (TMA), pode ser definida sendo uma taxa mínima para que o investidor se sinta confortável de migrar o seu dinheiro de um investimento para outro, uma vez que esse novo investimento possa ter um risco maior que o primeiro.

2.7.2. Valor Presente Líquido (VPL)

Segundo (Blank, 2008, p. 202), o método do valor presente líquido, para comparar alternativas, envolve converter todos os fluxos de caixa em valores presentes para a TMA. A alternativa que tem maior valor presente em termos numéricos é selecionada.

Determina o valor do fluxo de capitais (receitas – gastos), empregando uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA), utiliza-se a Eq. 01 e 02

VPL = Investimento Inicial + VPL do Fluxo de Caixa

Para parcelas uniformes:

$$VPL = -Investimento + PMT \cdot \frac{[(1+i)^n - 1]}{(1+i)^n \cdot i} \quad (01)$$

Para parcelas com valores variados:

$$VPL = -Investimento + \frac{VF_1}{(1+i)^1} + \frac{VF_2}{(1+i)^2} + \frac{VF_3}{(1+i)^3} \quad (02)$$

Para analisar o VPL:

VPL > 0: O investimento é viável;
 VPL = 0: O investimento não é viável (mesmo retorno que a TMA);
 VPL < 0: O investimento não é viável (mesmo menor retorno que a TMA).

2.7.3. Taxa interna de retorno (TIR)

A TIR é a taxa que anula o saldo dos valores atuais do fluxo de capitais (VPL), e quando se analisa as diversas alternativas de investimento pela TIR, a escolha recai na maior taxa de retorno.

De acordo com (Knuth, 2010) a TIR (Taxa Interna de Retorno), é um método que está relacionado ao método do valor presente líquido o VPL, em que sua utilização vai permitir que se obtenha a taxa de retorno financeiro de um projeto, ou seja é a taxa de juros (desconto) que é igual, em um determinado momento do tempo, o valor presente das entradas dos recebimentos também das saídas no caso os pagamentos que estão previstos no caixa.

A TIR, de acordo com (Borges, 2013), é a taxa que irá zerar o Valor Presente Líquido (VPL). Ela indica qual deve ser a porcentagem de retorno, se embasando no Fluxo de Caixa, para que a quantidade de entradas e saídas ao longo dos fluxos de caixa sejam o mesmo.

Uma alternativa é vantajosa se a taxa de retorno é maior que a taxa mínima de atratividade

Se $TIR > TMA$, aceita-se o projeto

Se $TIR < TMA$, rejeita-se o projeto

A TIR e o VPL de projeto independente levam sempre as mesmas conclusões de aceitação ou rejeição dos projetos.

Logo:

TIR superior ao custo de oportunidade = VPL positivo

TIR inferior ao custo de oportunidade = VPL negativo

2.7.4. Payback

Segundo (Torres et al, 2013) o *Payback* é um método que representa o tempo médio em períodos de tempo, que se demorará para recuperar um investimento inicial. Ele é considerado um método bastante utilizado no meio financeiro por contar o tempo necessário para que o capital que foi investido seja recuperado por meio de retornos.

Payback Simples: é o tempo necessário para a recuperar o investimento inicial, subtraindo o fluxo de caixa do investimento inicial.

Tabela 1- Fraquezas e vantagens *Payback* Simples

Fraquezas	Vantagens e usos
Ignora a distribuição dos fluxos de caixa dentro do período de <i>payback</i>	Decisões de investimento que envolvem montantes relativamente pequeno
Ignora todos os fluxos de caixa que ocorrem após o momento de recuperação do investimento	
	Facilidade na tomada de decisão

Fonte: Autores 2023

Payback Descontado: é o tempo necessário para a recuperar o investimento inicial considerando a desvalorização do dinheiro no tempo, utiliza-se a equação 03

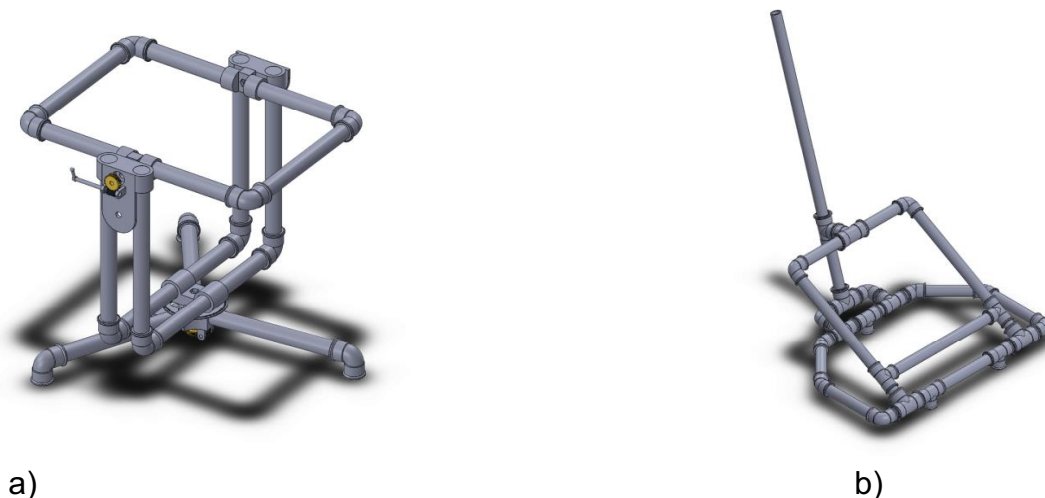
$$VP = \frac{VF_n}{(1+i)^n} \quad (03)$$

3. METODOLOGIA

A construção do sistema de posicionamento fotovoltaico que permite a variação do ângulo de altura solar e azimutal foi realizada no Laboratório de Fenômenos de Transporte, bloco J do Campus Pontal da Universidade Federal de Uberlândia, localizado em Ituiutaba-MG na Latitude 19°00'13.0" Sul e na Longitude 49°27'25.3"Oeste.

Para construção desse protótipo foram realizadas pesquisas bibliográficas que direcionaram o desenvolvimento de dois protótipos, projetados em SolidWorks. No primeiro protótipo empregou-se uma construção mistas de tubos de PVC e conectores feitos na impressora 3D, porém devido a complexidade e o tempo de impressão demorado essa estrutura foi deixada de lado. Então procurou-se desenvolver em SolidWorks um segundo protótipo todo em tubos de PVC com conectores também de PVC, que possibilitasse a redução dos custos com simplicidade de construção para atender a necessidade das diferentes posições solares . A Figura 8 mostra as duas propostas idealizadas

Figura 8 – Estruturas de posicionamento solar idealizadas em *SolidWorks*



Fonte: Autores (2023)

A Figura 8 a) mostra a estrutura idealizada para o posicionamento solar dos painéis fotovoltaicos, possui uma base em tripé realizada em PVC que permitira o nivelamento pelo uso de barras rosqueadas e porcas. No centro do tripé tem-se a base de posicionamento Azimutal que é composta por três furos para o tubo de PVC dispostos de 120° e um sistema de mancal com dois rolamentos para permitir o posicionamento angular relativo do ângulo azimutal, nesta estrutura são colocadas uma base suporte com abertura para dois tubos de PVC que serão soldadas. Esses dois tubos tem a dimensão do painel solar e apresenta na parte superior duas estruturas base de posicionamento da altura solar, composta também por um mancal com dois rolamentos e suporte para fixação da base do painel fotovoltaico. Essa estrutura permite o posicionamento de 0 a 90° na altura solar e qualquer ângulo

azimutal

A Figura 8 b) apresenta uma base em PVC apoiada em três pontos com barras rosqueadas para o nivelamento do painel solar, na parte frontal tem-se uma montagem de dois mancais rotativos de deslizamento composto por bucha de redução de 25mm para 20mm com o tubo de 20mm interno ao tê de 25mm, essa construção permitiu a montagem rígida e o movimento do tê de 25mm. Posteriormente também na base de PVC tem-se a mesma montagem do mancal, para permitir o ajuste angular necessário a haste de 20mm que faz o posicionamento da altura solar. Os mancais de tê são conectados a base do painel solar na outra extremidade possui um sistema de mancal rotativo em PVC. O posicionamento da altura solar é garantido por um mancal linear utilizando a haste de 20mm e um tê de 25mm, com abraçadeiras para fixar a posição. Essa estrutura também permite o posicionamento de 0 a 90° na altura solar e qualquer ângulo azimutal.

Para a aquisição de dados empregou-se uma placa Arduino Uno com componentes shield de tensão e corrente para avaliação das grandezas elétricas da geração fotovoltaica. A programação do Arduino utilizou-se os códigos padrões disponíveis na Internet, considerando a aquisição com a taxa de amostragem de 200 leituras por minuto, sendo a média dessas leituras de minuto em minuto o valor adotado para definir a tensão e a corrente.

As especificações técnicas dos dispositivos de aquisição de dados estão na tabela 2, a seguir.

Tabela 2- Componentes utilizados e suas especificações

Componente	Especificação
Arduino Uno	Especificações Arduino Uno R3 - ATmega328P 5V 16MHz Microcontrolador: ATmega328 Tensão de Operação: 5V Tensão de Entrada: 7-12V Portas Digitais: 14 (6 podem ser usadas como PWM) Portas Analógicas: 6 Corrente Pinos I/O: 40mA Corrente Pinos 3,3V: 50mA Memória Flash: 32KB (0,5KB usado no bootloader) SRAM: 2KB EEPROM: 1KB Velocidade do Clock: 16MHz
Data Logger	- Especificações: Shield Data Logger com RTC DS1307

	<ul style="list-style-type: none"> - Interface do cartão: FAT16 ou FAT32; - Compatibilidade: Arduino UNO, Mega R3, Leonardo, ADK; - Tipo de cartão de memória: Cartão SD; - Tipo de pilha: CR1220(não incluso); - Dimensões: 68x53x10mm; (ignorando-se os pinos).
Modulo Sensor de Tensão	<p>Especificações do Modulo Sensor de Tensão até 25V Arduino:</p> <p>Tensão de entrada: 0 a 25V;</p> <p>Faixa de detecção: 0,02445 V;</p> <p>Resolução quando usado com Arduino UNO: 0,00489VDC;</p> <p>Valor dos resistores: R1 30K Ω e R2 7,5K Ω;</p> <p>Proporção de divisão: 5:1;</p> <p>Dimensões: 20 x 30 x 20mm;</p>
Modulo Sensor de corrente	<p>Especificações do Modulo Sensor de corrente até 30A Arduino:</p> <p>Tempo de resposta: 5uS</p> <p>Largura de banda: 80Khz</p> <p>Margem de erro: 1.5% a 25°C</p> <p>Resistência interna: 0.0012 ohm (1.2mili ohm)</p> <p>Tensão de isolamento: 2.1KVRMS</p> <p>Tensão de alimentação: 5V</p> <p>Amperagem máxima: 30A</p> <p>Razão de saída: 185mV por A</p>

Fonte: Autores (2023)

A irradiação solar e a temperatura são os dois principais fatores que influenciam a produção de energia pelos módulos fotovoltaicos. A corrente gerada pelo módulo varia linearmente com a irradiância, enquanto que a tensão varia logaritmicamente.

O aumento da irradiação tem a tendência de aumentar também a temperatura da célula e, conseqüentemente, isso reduz a eficiência do módulo devido a tensão

diminuir significativamente com o aumento da temperatura, enquanto que a corrente sofre uma elevação muito pequena (Palz, 1995). (Giovanna, 2010) afirma que, para que haja recepção de uma maior intensidade luminosa é necessário o acompanhamento, ou, pelo menos, um melhor posicionamento das placas fotovoltaicas para o aproveitamento máximo da energia solar. As placas fotovoltaicas são geralmente instaladas em uma posição fixa, devido ao alto custo dos equipamentos que seguem a posição do sol no céu. Deste modo, é fundamental determinar a melhor posição para cada região, em função da latitude local e das características climáticas da região, a fim de estabelecer uma maior eficiência.

Figura 9 – Estruturas de posicionamento solar construída



a) Placa fotovoltaica



b) Estrutura de PVC



c) Montagem da placa solar na estrutura do Rastreador



d) Sistema de aquisição de dados e dissipador da energia gerada



e) Arranjo fotovoltaico completo
Fonte: Autoria própria.

Foi definido um planejamento experimental abordando três ângulos de altura solar 0° , 19° e 38° , medidos a partir do sistema fotovoltaico nivelado, e três posições azimutais Leste, Norte e Oeste, assim definindo os seguintes ensaios de acordo com a tabela 5.

Tabela 3- Altura solar e Posições azimutais

Altura Solar	Posição Azimutal
0°	Norte
0°	Oeste
0°	Leste
19°	Norte
19°	Oeste
19°	Leste
38°	Norte
38°	Oeste
38°	Leste

Fonte: Autores 2023

4. RESULTADOS

Para quantificar os custos dos dois sistemas de posicionamento solar foram desenvolvidas as Tabelas 4 e 5, considerando que os custos podem ser divididos em custos da aquisição de dados e de geração que são comuns e custos do sistema de posicionamento solar.

Tabela 4 – Custo do Sistema de Posicionamento Solar misto PVC e Impressão 3D

Sistemas	Componente	Quantidade	Valor [R\$]
Aquisição de Dados	Arduino Uno	1	R\$ 56,00
	Shield Tensão 25Volts	1	R\$ 24,54
	Shield Corrente 30A	1	R\$ 32,30
Posicionamento Solar	Barras de Tubos 3m de 25mm	1	R\$ 18,00
	Joelho de 90° Soldável de 25mm	11	R\$ 8,36
	Filamento Base Azimutal de 125g	1	R\$ 11,13
	Tempo de Impressão Base Azimutal	12horas	R\$ 5,40
	Filamento Base Altura Solar 75g	2	R\$ 13,34
	Tempo de Impressão Base Altura solar	16 horas	R\$ 7,20
	Barra rosqueada de 8mm	1	R\$ 8,00
	Porca sextavada de 8mm	6	R\$ 3,54
	Filamento Rosca sem Fim Autotravante 90g	2	R\$ 16,02
Geração	Rolamento de esfera 10mmx26mmx 8mm	6	R\$120,00
	Tempo de Impressão Rosca sem Fim Autotravante	2	R\$ 9,00
	Placa solar Fotovoltaica	1	R\$ 200,00
	Spot Aletado Lâmpada	1	R\$ 10,00
	Lâmpadas Incandescente de 40W	1	R\$ 5,00
	Total		R\$ 547,83

Fonte: Autores (2023)

Tabela 5 – Custo do Sistema de Posicionamento Solar todo em PVC

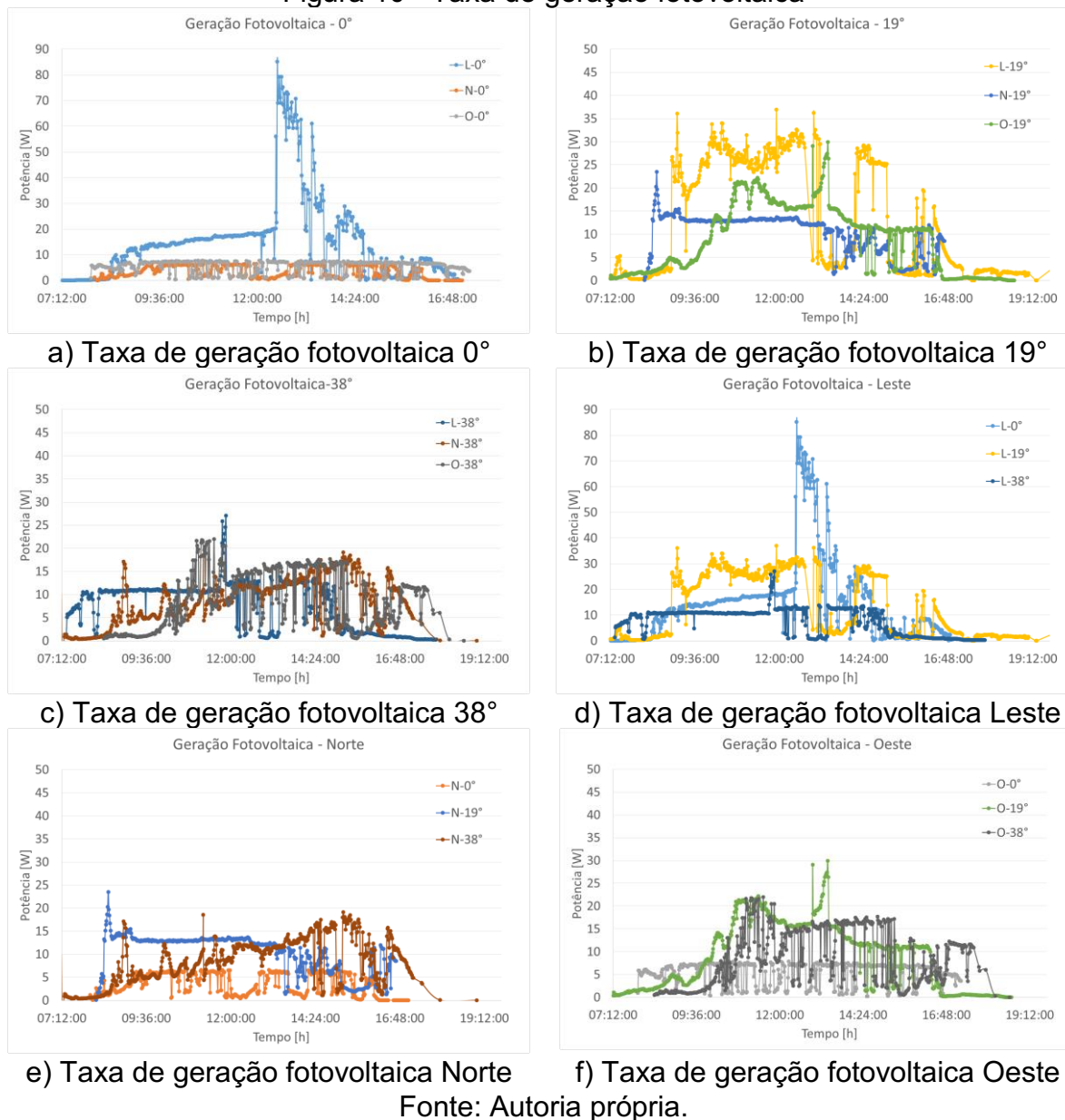
Sistemas	Componente	Quantidade	Valor [R\$]
Aquisição de Dados	Arduino Uno	1	R\$ 56,00
	Shield Tensão 25Volts	1	R\$ 24,54
	Shield Corrente 20 ^a	1	R\$ 32,30
Posicionamento Solar	Barras de Tubos 3m de 25mm	1	R\$ 18,00
	Barras de Tubos 2m de 20mm	1	R\$ 6,00
	Joelho de 90° Soldável de 25mm	6	R\$ 4,56
	Joelho de 45° Soldável de 25mm	4	R\$ 5,96
	Tê Soldável de 25mm	12	R\$ 21,60
	Bucha de redução de 25mm x 20mm	5	R\$ 3,60
	Barra rosqueada de 8mm	1	R\$ 8,00
	Porca sextavada de 8mm	4	R\$ 2,36
	Abraçadeira de 20mm	2	R\$12,00
Geração	Placa solar Fotovoltaica	1	R\$ 200,00
	Spot Aletado Lâmpada	1	R\$ 10,00
	Lâmpadas Incandescente de 40W	1	R\$ 5,00
	Total		R\$ 409,92

Fonte: Autores (2023)

Foi utilizado o sistema de posicionamento solar todo em PVC, com a finalidade de servir como estrutura para o modulo fotovoltaico, de forma que facilitasse a movimentação de posicionamento direcional e ajuste de altura angular, aliado aos custos de aquisição.

Os resultados do trabalho foram divididos em duas etapas, a primeira etapa com a aquisição das tensões e das correntes para determinação da potência para diferentes posições solares, conforme mostram na Figura 10. Os resultados foram divididos de acordo com ângulo e posição para aprimorar a comparação e a apresentações dos dados.

Figura 10 - Taxa de geração fotovoltaica



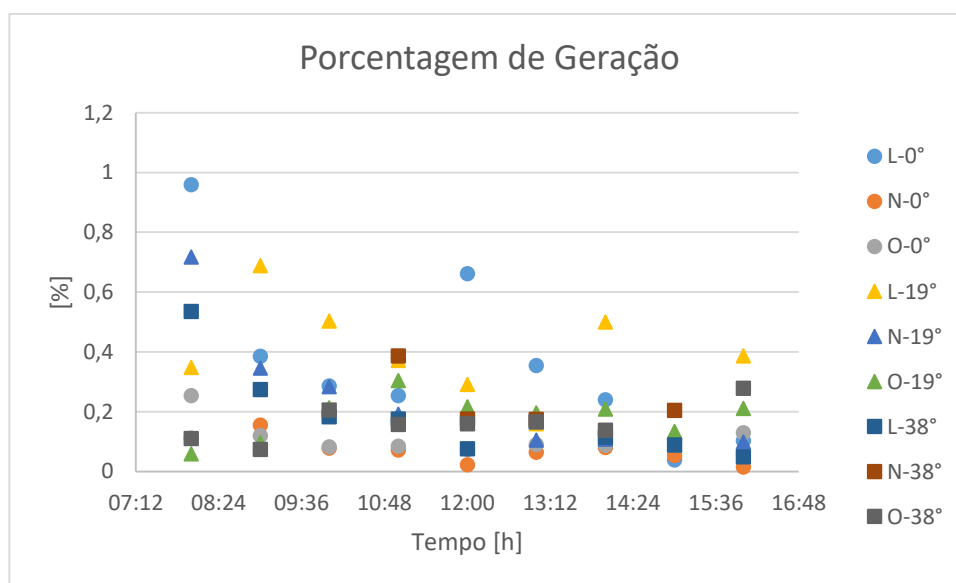
A Figura 10 a), b) e c) apresentam respectivamente a geração fotovoltaica para as alturas solar de 0°, 19° e 38°, em que evidencia a maior geração de energia para a condição de 19°, exceto as condições de 0° a leste que apresentam valores muito superiores, eventualmente associados erros de aquisição de dados. Outro ponto relevante é que para esse tipo de placa solar as maiores gerações de energia estão associadas a condição leste no período da manhã, devido as menores temperaturas ambientes.

A Figura 10 d), e) e f) apresentam respectivamente a geração fotovoltaica para as posições leste, norte e oeste. As menores gerações de energia aconteceram a 0°

praticamente independentemente da posição. De maneira geral considerando as posições norte e oeste, a condição a 19° apresentou as melhores condições de gerações de energia para o período da manhã, enquanto a 38° as melhores condições de gerações de energia foram no período da tarde.

A Figura 11 apresenta a razão entre a geração solar dos módulos pela irradiação incidente na cidade, em termos da energia por m².

Figura 11- Gráfico de porcentagem de geração

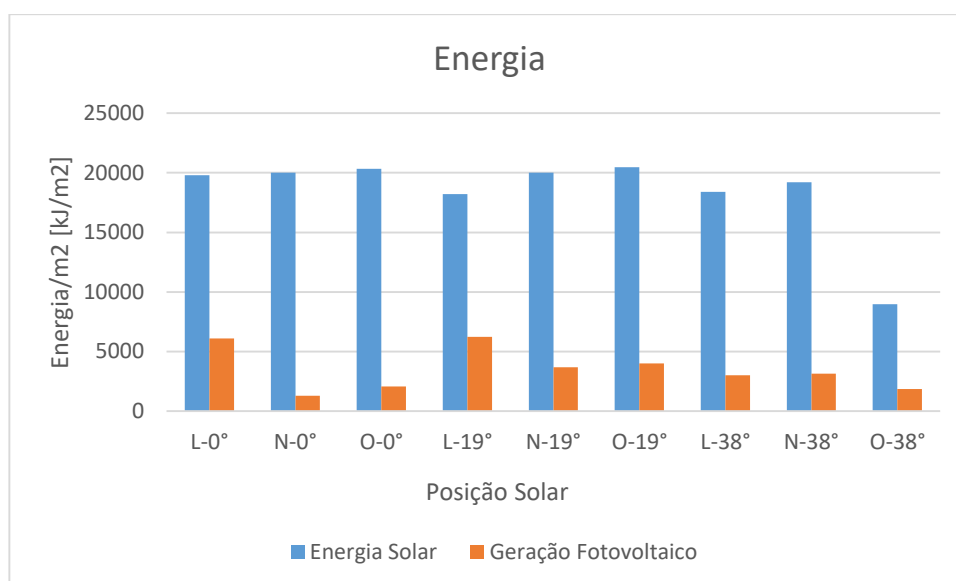


Fonte: Autoria própria.

A Figura 11 mostra que as taxas de geração estão com valores superiores a a eficiência esperada da placa fotovoltaica, provavelmente associado as diferentes condições de nuvosidade entre a localidade dos painéis fotovoltaicos e a localização da estação meteorológica, pois estão em diferentes localizações. Na condição leste 0° evidencia realmente os erros associados as medições. Novamente as condições da 19° de altura solar possuem as maiores gerações. As condições ao norte apresentam a geração mais uniforme durante todo o dia, as condições ao leste a geração é mais intensa na no período da manhã e as condições ao oeste apresentam maior geração no período da tarde.

O comparativo da energia total gerada no dia comparada com energia solar incidente, está mostrado na figura 12.

Figura 12- Gráfico de geração de energia



Fonte: Autoria própria.

A Figura 12 evidencia novamente a maior efetividade do ângulo de altura solar na geração fotovoltaica e praticamente não se observa uma variação significativa da geração para as posições leste, norte, oeste. Com destaque com a posição ao leste por aproveitar melhor as baixas temperaturas do período da manhã. Outro ponto relevante é a diferença significativa entre a energia incidente e a energia gerada, determinada pela eficiência das células.

Logo, após a os resultados de geração fotovoltaica, foi realizada a análise financeira baseada na quantidade de energia gerada por dia, considerando uma residência com gasto de 150kWh/mês, então foi dividido a demanda de energia diária pela geração diária. A Tabela 6 considera a geração por área de acordo com as posições dos módulos solares e estende esses valores para determinar a área necessária de geração para alcançar 150kWh/mês.

Tabela 6- Resultados análises

Posição e altura angular	Geração	Potência Mês	540.000 KJ mês	Placa fotovoltaica 340W	N_placas	Potência Estimada
		Potência Dia	18.000 KJ dia	Area Placa policristalina		
L-0°	6.104,8 KJ/m²	31%	2,95 m²	1,98 m²	2	111,38 W
N-0°	1.285,6 KJ/m²	6%	14 m²	1,98 m²	8	445,54 W
O-0°	2.049,2 KJ/m²	10%	8,8 m²	1,98 m²	5	278,46 W
L-19°	6.226,6 KJ/m²	34%	2,9 m²	1,98 m²	2	111,38 W
N-19°	3.670,3 KJ/m²	18%	4,9 m²	1,98 m²	3	167,08 W
O-19°	3.991,5 KJ/m²	19%	4,51 m²	1,98 m²	3	167,08 W
L-38°	3.012,6 KJ/m²	16%	5,97 m²	1,98 m²	4	222,77 W
N-38°	3.123,1 KJ/m²	16%	5,76 m²	1,98 m²	3	167,08 W
O-38°	1.849,3 KJ/m²	21%	9,73 m²	1,98 m²	5	278,46 W

Fonte: Autores 2023.

A Tabela 6 mostra que as posições que precisam da menor quantidade de módulos são as posições 0° leste e 19° também a leste, entretanto, observa-se erros de medição na potência elétrica do módulo na condição 0°leste, então devem ser desconsideradas nessa análise. A posição 0° Norte é a condição que apresenta a maior quantidade de módulos fotovoltaicos e conseqüentemente o maior potência estimada. A potência gerada estimada foi contabilizada pela geração nominal do módulo considerando uma perda de 22% pela posição fixa dos módulos. A tabela 7 apresentação o investimento necessário no sistema fotovoltaico *on grid* e a análise de investimento, do VPL, TIR e *Payback* descontado.

Tabela 7- Relação quantidade de placas, investimento, VPL, TIR, e *Payback* Descontado

Posição e altura angular	Placas	Investimento	Cálculo VPL	TIR	<i>Payback</i> Descontado
L-0°	2	R\$ 6.221,59	R\$ 6.441,45	23%	6,7 anos
N-0°	8	R\$ 16.167,64	-R\$ 4.012,24	2%	14 anos
O-0°	5	R\$ 12.480,07	-R\$ 136,46	7%	10,8 anos
L-19°	2	R\$ 6.221,59	R\$ 6.441,45	23%	6,7 anos
N-19°	3	R\$ 8.787,94	R\$ 3.744,11	14%	7,5 anos
O-19°	3	R\$ 8.787,94	R\$ 3.744,11	14%	7,5 anos
L-38°	4	R\$ 9.913,72	R\$ 2.560,87	12%	8,5 anos
N-38°	3	R\$ 8.787,94	R\$ 3.744,11	14%	7,5 anos
O-38°	5	R\$ 12.480,07	-R\$ 136,46	7%	10,8 anos

Fonte: Autores 2023.

A Tabela 7 mostra que os investimentos nas posições e alturas angulares Norte 0°, Oeste 0°, e Oeste 38°, não são viáveis e que em geral os investimentos financeiros são viáveis com retorno máximo de 8,5 anos para o *payback* descontado. A posição Leste com altura angular de 38° demonstrou ser um investimento sólido, embora não tenha se destacado como o melhor devido ao investimento inicial mais alto e à TIR ligeiramente menor em comparação com outros resultados.

A posições e alturas angulares Norte 19°, Oeste 19°, e Norte 38° também se revelaram investimentos promissores, embora não tenham atingido o topo, devido aos investimentos iniciais mais elevados, VPL e TIR menores em comparação com outros resultados e um período de *payback* descontado igual a 7,5 anos.

A posição e altura angular a Leste 19°, ofereceram os melhores Retornos sobre Investimento (ROI) ao considerar as três métricas, tornando viável a instalação de

sistemas fotovoltaicos nessas condições na região do Triângulo Mineiro, no estado de Minas Gerais.

A partir dos resultados obtidos, pode-se observar que a altura angular dos módulos solares exerce uma influência direta em sua capacidade de geração, configurando-se como um fator primordial para otimizar o rendimento energético.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O rendimento de um sistema fotovoltaico depende de uma série de parâmetros que devem ser cuidadosamente avaliados na fase inicial de projetos para obter o desempenho próximo ao ideal. Entre esses parâmetros, estão o ângulo de inclinação e orientação do arranjo fotovoltaico. Nesse experimento foram analisadas nove testes com o objetivo de avaliar as principais inclinações e orientações de um arranjo fotovoltaico que diferem da considerada como ideal, no entanto apresentam geração fotovoltaica considerável. Os resultados deste estudo indicam que há uma faixa ampla de inclinações e orientações para um arranjo fotovoltaico ser aplicado com o mínimo de perdas de geração de energia elétrica, em relação ao sistema com orientação ideal, nas localidades analisadas. Com a indicação de que há várias combinações entre inclinações e orientações azimutais com rendimento anual bem próximo da orientação ideal, pode-se inferir que, na localidade do experimento, o sistema fotovoltaico não precisa, necessariamente, ser instalado em telhados orientados para o norte geográfico. Isso pode contribuir para a redução dos custos de instalação desses sistemas, uma vez que não necessitaria de modificações no telhado de uma edificação já existente, ou mesmo na instalação de suporte/estruturas de fixação dos módulos, para garantir condições ideais nas localidades avaliadas. Na cidade de Ituiutaba interior de Minas Gerais, aplicações fotovoltaicas com ângulo de altura solar de 19° para o tipo de placa estudado é a condição mais recomendada para geração fotovoltaica.

Na análise financeira realizada, os mais expressivos Retornos sobre Investimento (ROI) revelaram-se aquelas localizadas a Leste, com inclinação de 19 graus. Esse destaque é respaldado por indicadores financeiros robustos, tais como um Valor Presente Líquido (VPL) significativo de R\$6.441,45, uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 23%, e um período de *Payback* Descontado de 6,7 anos.

O estudo sobre o posicionamento dos sistemas fotovoltaicos em telhados permitiu avaliar as seguintes situações: a) a geração de energia fotovoltaica, b) em que medida a mudança de orientação e inclinação podem ser aceitáveis e c) equilíbrio entre a potência instalada e a geração de energia. Como estudos futuros, pode-se indicar a análise dos índices de mérito nas inclinações e orientações para diferentes módulos fotovoltaicos (monocristalinos e policristalinos) ou realizar avaliações da viabilidade econômica da construção de estruturas de posicionamento solar para residenciais com diferentes inclinações e orientações.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Elismar Ramos; FARIA, Merlim dos Santos Ferreira; DE BRITO GONTIJO, Fabio. Influência da sujeira na geração fotovoltaica. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2018.

Brasil supera marca de 5 GW de capacidade instalada de usinas fotovoltaicas com geração centralizada. Agência Nacional de Energia Elétrica,2022. Disponível em: www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/brasil-supera-marca-de-5-gw-de-capacidade-instalada-de-usinas-fotovoltaicas-com-geracao-centralizada. Acesso em: 26, maio de 2022.

Destaque: o crescente mercado de energia solar do Brasil. Bnamericas,2022. Disponível em:www.bnamericas.com/pt/noticias/destaque-o-crescente-mercado-de-energia-solar-do-brasil. Acesso em: 02, março de 2022.

DOS SANTOS, Jamila Café Santana. Dimensionamento e Avaliação da Eficiência Energética de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede no Instituto Politécnico de Bragança. 2021. Tese de Doutorado. Instituto Politecnico de Braganca (Portugal).

FILIPPE, Marina. Energia solar fotovoltaica: Brasil é o 4º país que mais cresceu em 2021.Exame,2022. Disponível em: exame.com/esg/energia-solar-fotovoltaica-brasil-e-o-4o-pais-que-mais-cresceu-em-2021/. Acesso em: 20, abril de 2022.

MACEDO, Thiago. Análise Financeira de Projetos de Ventilação para Condicionamento de Ar.Nome da revista/local. fevereiro,2021.

MELO, Otavio Augusto Malheiros Honorio de. **Análise da viabilidade econômico-financeira da energia fotovoltaica: uma aplicação da microgeração distribuída no Nordeste brasileiro**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

OLIVEIRA, Lorena Martins et al. ESTUDO DO DIRECIONAMENTO DE PAÍNEIS FOTOVOLTAÍCOS PARA MAIOR GERAÇÃO DE ENERGIA EM IPORÁ-GO. **Informe Goiano (ISSN 2525-6866)**, 2021.

RELLA, Ricardo. Energia fotovoltaica no brasil. **Revista de Iniciação Científica**, v. 15, n. 1, p. 28-38, 2017.

RIBEIRO, Alan Emanuel Duailibe. Análise da influência da localização, área e forma de sítios no potencial de geração de energia elétrica de pequena escala no Brasil: Um método para as fontes Solar e Eólica. **COPPE, Programa de Planejamento Energético**, 2015.

VORPAGEL, Fabiano; MADUREIRA, Eduardo Miguel Prata. ANALISE ECONÔMICA DE INVESTIMENTO EM UMA PROPRIEDADE APÍCOLA NA CIDADE DE TOLEDO/PR. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária FAG**, v. 6, n. 1, p. 151-162, 2023.

APÊNDICE A – ANÁLISE DE INVESTIMENTO

