



ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO PARA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NO CENTRO DE CONVIVÊNCIA DA UNISATC

Oséas Caetano Da Silva Júnior¹

Max Gabriel Steiner²

Resumo: Um ramo que está em forte crescimento são profissionais que consigam realizar projetos envolvendo energia solar para propriedades residenciais e não somente para instalações de grandes potências. Assim como a lei da oferta e demanda, que relaciona a determinação do preço de um produto ou serviço através das forças de demanda e oferta no seu mercado. Quanto mais empresários oferecerem esse tipo de serviço, mais módico os equipamentos ficarão. Sendo assim o presente trabalho visa realizar um estudo técnico e econômico para instalação de painéis fotovoltaicos no centro de convivência da UNISATC localizado em Criciúma – SC e também apresentar uma pequena revisão teórica mostrando os tipos e características principais dos equipamentos. O objetivo principal do trabalho é minimizar os custos de energia através da instalação de painéis solares e com o software *PVsyst* foi possível criar diversas simulações para verificação de irradiação e perdas, para ter uma projeção de geração do futuro projeto. No último capítulo realizou-se um estudo de viabilidade econômica, onde foram examinados dois cenários diferentes com a taxa de mínima atratividade, para ambos os casos foram determinados indicadores essenciais para uma análise econômica como VPL, VPLA, TIR e *payback*, resultando em um projeto economicamente viável.

Palavras-chave: Energia Solar. UNISATC. *PVsyst*.

1 INTRODUÇÃO

Não é novidade que atualmente a energia de fontes renováveis está em foco, e que cada vez mais está se aproximando das fontes tradicionais. O Brasil em 2020, alcançou o nono lugar no *ranking* dos países que mais produziram energia solar fotovoltaica, com cerca de 3.153 MW de potência adicionados ao sistema. Essa é a melhor posição do país desde 2017, quando ocupou o 10º lugar. O levantamento é da Associação Brasileira de Energia Solar (Absolar), com dados da *International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme* (IEA PVPS) (TOPSUN ENERGIA SOLAR, 2021).

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, 2022. E-mail: oseas.73113@alunosatc.edu.br

² Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: max.steiner@satc.edu.br



A energia solar ou efeito fotovoltaico foi descoberto através de um experimento em 1839, o qual o físico francês Edmond Becquerel observou que quando utilizava-se duas placas de latão imersas em um eletrólito líquido exposta a luz solar, havia uma pequena produção de energia (MACHADO & MIRANDA, 2014).

A energia fotovoltaica é a transformação direta da radiação solar em energia elétrica e essa conversão é realizada pelas células fotovoltaicas, que são compostas por um semicondutor, normalmente o Silício. Ao incidir sobre as células, a luz solar provoca a movimentação dos elétrons do material condutor, transportando-os pelo material até serem captados por um campo elétrico (formado por uma diferença de potencial existente entre os semicondutores), gerando então a eletricidade (SOUSA, 2022).

A área de energia solar está em forte crescimento e procurando por pessoas capacitadas que consiga realizar projetos envolvendo propriedades residenciais e não somente para instalações de grandes potências. Assim como a lei da oferta e demanda, que relaciona a determinação do preço de um produto ou serviço através das forças de demanda e oferta no seu mercado. Quanto mais empresários oferecerem esse tipo de serviço, mais módico os equipamentos ficarão. Dessa forma, o acesso ao produto torna-se acessível para pessoas com baixa renda, o que traz como consequência um elevado número de clientes.

Além de realizar novos projetos, o profissional deve estar atento a viabilidade dele. Esse estudo só é possível graças a ferramenta para cálculos de dados sobre despesas e lucro, mais conhecida como estudo de viabilidade econômico-financeira. Não existe uma forma única para realizar a análise, porém, alguns pontos não podem deixar de ser avaliados. Sabe-se que a viabilidade econômica analisa os custos e benefícios de um projeto, ou seja, analisa e aponta se a ideia é viável ou não. Quando adicionamos mais um termo, o financeiro, o estudo faz uma análise mais aprofundada do investimento e de seu possível retorno (GARCIA, 2022).

Atualmente a UNISATC possui várias empresas externas que prestam serviços aos alunos e colaboradores no interior do campus. Sabendo-se que essas empresas se responsabilizam com elevados custos de energia elétrica resultantes de suas operações, a implantação de um sistema fotovoltaico na unidade pode ser interessante, já que segundo o jornal de São Paulo uma implantação fotovoltaica pode reduzir em até 95% os custos mensais na conta de luz (S. PAULO ZONA SUL, 2021).



Esse trabalho tem como objetivo realizar o projeto e análise econômica da viabilidade de uma instalação de painéis fotovoltaicos no centro de convivência da UNISATC, com o intuito de produzir energia, para abater a fatura. E como consequência contribuir com maiores conhecimentos na vida do acadêmico. Dentre eles: demonstrar por meio de cálculos a previsão de custo e o dimensionamento do sistema a ser implantado, discorrer sobre os principais tópicos pertinentes a pesquisa por meio da revisão bibliográfica, analisar o tempo de amortização do projeto e demonstrar passo a passo o método utilizado para servir de base para futuros projetos envolvendo energia solar.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A elaboração de um projeto de energia solar demanda um vasto conhecimento sobre os equipamentos utilizados e os tipos de sistemas solares existentes. Neste capítulo será abordado cada um deles e suas respectivas características.

2.1 TIPOS DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Os sistemas solares fotovoltaicos podem ser classificados em três tipos de conexão: *off-grid* (sistema totalmente isolado da rede da concessionária, ou seja, autossustentável), *on-grid* (sistema que em conjunto com a rede da concessionária trabalham para manter a residência ativa) e os híbridos (quando o sistema opera com os dois tipos de conexões citados anteriormente) (PINHO; GALDINO, 2014).

2.1.1 *Off-grid*

O sistema *off-grid* como já apresentado é um sistema que não possui ligação com a rede pública de energia, ou seja, ele é o único provedor de energia para a residência ou carga específica, possibilitando sua instalação em localidades carentes de rede de distribuição elétrica (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Existem dois tipos de sistemas autônomos: com armazenamento e sem armazenamento. O primeiro é o mais utilizado e recomendado para pequenas cargas, para até mesmo residências que não podem de maneira alguma ficar sem a eletricidade



na ausência do sol (VILLALVA & GAZOLI, 2012). O segundo por sua vez é apenas utilizado durante o período diurno, já que a eletricidade só vai ser gerada enquanto tiver radiação solar, esse sistema é mais utilizado em bombeamento de água e por não necessitar de instrumentos para o armazenamento de energia se torna mais econômico que o anterior (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

Os sistemas isolados foram regulamentados pela Resolução Aneel N°83/2004, permitindo que mais pessoas tivessem acesso a rede como no caso de áreas rurais mais afastadas (PINHO; GALDINO, 2014).

2.1.2 On-grid

Por estar conectado diretamente à rede de distribuição de energia, este sistema é considerado mais eficiente que os demais sistemas, visto que não necessita de baterias e nem de controladores de carga, se tornando também mais rentável. Nesses casos, o inversor ganha mais um papel, além de converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), ele também realiza a interface entre o painel e a rede elétrica, ou seja, caso a produção seja menor que a carga, o inversor pega a energia da concessionária ou vice-versa (PINHO; GALDINO, 2014).

Um outro ponto que pode ser levado em consideração é que caso a energia injetada na rede seja superior à consumida, essa diferença poderá ser utilizada para abater o consumo da Unidade Consumidora nos meses subsequentes ou em outras unidades de mesma titularidade, com validade de 60 meses (CELESC, 2022).

2.1.3 Sistemas Fotovoltaicos Híbridos

Os sistemas híbridos são constituídos por uma mistura de sistema *off-grid* e *on-grid*, nesse caso eles possuem tanto um banco de baterias para armazenar energia, como também uma conexão direta com a rede elétrica. Por necessitar de diversos mecanismos de segurança e equipamentos específicos para a função, este sistema acaba sendo mais caro que os demais e assim menos utilizado (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

Outra forma de um sistema ser visto como híbrido é quando há mais de uma fonte de energia, ou seja, além do sistema fotovoltaico há também um gerador de óleo



diesel. Este modelo pode acontecer tanto em sistemas *on-grid* como *off-grid*. (PINHO; GALDINO, 2014).

2.2 PAINÉIS SOLARES

Os painéis solares consistem em um conjunto de módulos fotovoltaicos que são responsáveis por converter a luz solar em energia elétrica. Sabendo que existem diversos tipos de painéis solares, neste subcapítulo será abordado alguns que são mais utilizados, informando algumas de suas características principais e a tecnologia por trás de cada um.

2.2.1 Painel de Silício (Si)

Desde o princípio do desenvolvimento da energia solar, o material dominante que converte a luz em eletricidade é o silício (INSTITUTO DE ENERGIA DA PUC-RIO, 2020). Esse material além de ser o mais abundante na Terra, possui um baixo índice de contaminação e uma alta durabilidade (CECCHINI, 2003).

2.2.1.1 Monocristalino

A maioria dos módulos fotovoltaicos de silício monocristalino, também denominados de células, são obtidos a partir de fatias de um único grande cristal, mergulhados em silício fundido (MIRANDA, 2014). Para sua formação é necessário a utilização do processo *Czochralski* que se baseia no crescimento do monocristal altamente controlado e que gera o semicondutor com dimensões padronizadas e de elevado grau de pureza (INSTITUTO DE ENERGIA DA PUC-RIO, 2020).

Uma das maiores vantagens deste tipo de célula é a eficiência, sendo uma das maiores dentre as tecnologias comercialmente viáveis, sua eficiência pode chegar aos $26,7\% \pm 0,5$ (GREEN et al., 2019).



2.2.1.2 Policristalino

A principal diferença existente entre os painéis monocristalinos e policristalinos está pautada no método utilizado na fundição de cristais. No policristalino, a estrutura possui periodicidade de curto alcance, os cristais de silícios são fundidos em bloco e fatiados em células como o monocristalino, este procedimento é mais fácil de produzir (INSTITUTO DE ENERGIA DA PUC-RIO, 2020). Eles são semelhantes aos de um único cristal tanto no desempenho como na degradação, exceto que as células são ligeiramente menos eficientes chegando no máximo em $22,3\% \pm 0,4$ (GREEN et al., 2019).

Segundo Ruther (2004) o seu custo é mais baixo quando comparados às células monocristalinas, justamente pela sua fabricação ser mais fácil.

2.2.2 Filme fino

Também conhecidos como células fotovoltaicas de película fina (TFPV), os painéis de filme fino são fabricados apenas com uma ou mais camadas finas de material fotovoltaico sobre um substrato (PINHO; GALDINO, 2014). O processo de fabricação dos filmes finos tem como característica a utilização de pouca quantidade de energia, o que contribui para um menor consumo de energia elétrica (INSTITUTO DE ENERGIA DA PUC-RIO, 2020).

Existem diversos tipos de painéis de filme fino, alguns são citados abaixo:

- Silício Amorfo (a-Si);
- Telureto de Cádmio (CdTe);
- Seleneto de Cobre, Índio e Galio (CIS/CIGS);
- Orgânicas (OPV).

2.2.3 Pannel solar bifacial

O painel bifacial não é uma tecnologia tão recente, seu primeiro protótipo foi criado e divulgado em 1954, porém, apenas nos últimos anos é que o conceito ganhou a atenção do mercado de energia solar (BV BANCO, 2022). Em 2017 na feira Intersolar, a



Meyer Burger apresentou o painel fotovoltaico mais eficiente do local, se tratava de um painel com 72 células e com uma potência de 462 Wp (PORTAL SOLAR, 2017).

Ao longo dos anos os painéis foram evoluindo, em 2020 a JA solar, apresentou um painel com 810 W, chamado de Jumbo, com 47 células quadruplicadas (SHAW, 2020). Estes painéis podem oferecer um aumento de eficiência de até 30% sobre os módulos convencionais. Vale ressaltar que esse aumento depende do modo como é feita a instalação (altura do solo, ângulo de inclinação) (BV BANCO, 2022).

Sua estrutura é basicamente construída com uma lâmina traseira de vidro no lugar do *backsheet*. Pode-se concluir que os módulos bifaciais são uma boa aposta por captarem luz em ambas as partes e o seu desempenho já está comprovado. Por ter um valor não muito superior ao módulo convencional este módulo pode apresentar um retorno econômico mais satisfatório (INSTITUTO DE ENERGIA DA PUC-RIO, 2020).

2.3 INVERSORES

Os painéis solares, por características próprias, geram energia em CC (corrente contínua), por esse motivo é necessário a utilização de inversores solares para atuarem na conversão da energia para CA (corrente alternada), além de direcionar a parte excedente para a rede da concessionária ou para as baterias (no caso de sistemas *off-grid* (GONZÁLEZ GARCÍA Y COLS; CÁRDENAS GALINDO; ÁLVAREZ SALAS, 2019).

Há diversos tipos de inversores, e a seguir será abordado os mais utilizados e suas características.

2.3.1 Micro inversor solar

O micro inversor é um novo tipo de inversor *grid tie* que tem sido cada vez mais utilizado. Sem o uso de um inversor central, cada micro inversor é conectado a um único painel solar (BEZERRA, 2010).

O micro inversor é mais utilizado quando possui diferentes posições e com sombreamentos, pois cada micro inversor faz seu circuito individual, garantindo assim uma melhor eficiência, maior vida útil, facilidade de instalação e facilidade de manutenção. (BLUE SOL ENERGIA SOLAR, 2019).



2.3.2 Inversor solar *on-grid*

Sendo um dos equipamentos mais utilizados do mundo, o inversor *on-grid*, em português, conectado à rede é usado para conectar um sistema fotovoltaico sem baterias na rede de uma residência. (ELYSIA ENERGIA SOLAR, 2017).

A função desses inversores vai além da produção de uma onda senoidal pura, também é preciso sincronizar a frequência com a rede elétrica. Em geral esses inversores possuem um mecanismo chamado “anti-ilhamento”, responsável por garantir que o sistema não energize a rede quando for desligada, possibilitando a manutenção sem eletrocutar as pessoas durante procedimento (BEZERRA, 2010).

2.3.3 Inversor solar *off-grid*

Inversores *off-grid* são projetados para trabalharem de forma independente da rede elétrica, ou seja, são usados em sistemas que utilizam baterias e normalmente em regiões mais isoladas (ELYSIA ENERGIA SOLAR, 2017).

Esse tipo de inversor tem a capacidade também de carregar as baterias a partir de uma fonte AC. Permitindo carregar as baterias e reduzindo o risco de danos a elas por descarga exagerada. (BEZERRA, 2010).

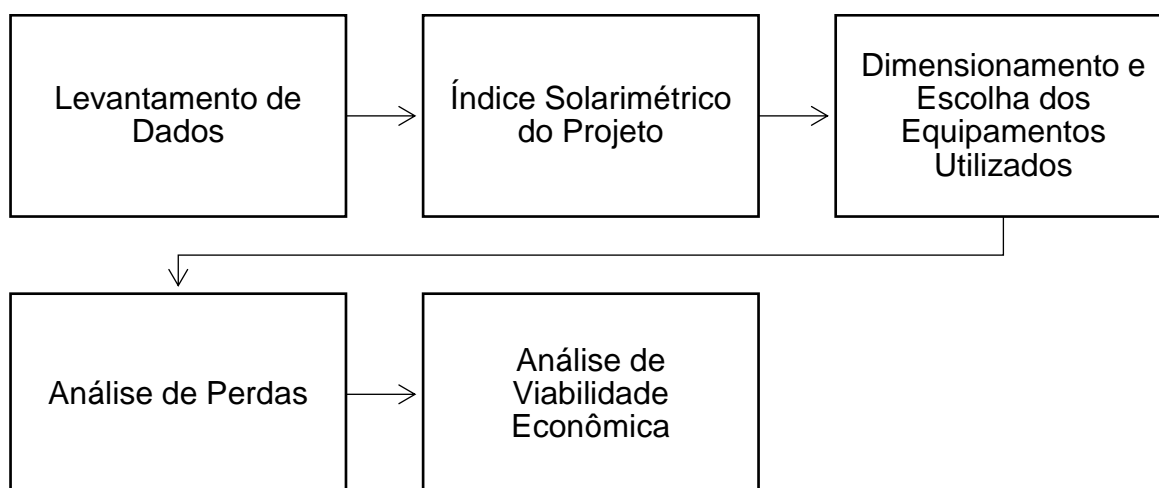
2.3.4 Inversor solar híbrido

Este inversor tem a capacidade de trabalhar nos dois sistemas simultaneamente, ou seja, enquanto há energia disponível na rede o sistema permanece conectado e ao mesmo tempo carrega um banco de baterias. Quando há falta de energia na rede, o sistema se desconecta e trabalha com as baterias. Mantendo toda ou parte das cargas do imóvel abastecidas por tempo determinado pela capacidade de carga das baterias (ELYSIA ENERGIA SOLAR, 2017).

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental seguirá uma ordem de etapas e para facilitar o entendimento, foi desenvolvido um fluxograma com os procedimentos a serem tomados, como é apresentado na Fig.1, após ele, uma breve explicação de cada item.

Figura 1: Fluxograma do Procedimento Experimental.



Fonte: Do autor (2022)

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

O primeiro passo para iniciar o projeto é analisar o consumo de energia elétrica através de comprovantes de consumo de energia, o qual será possível verificar o histórico da demanda utilizada pelos consumidores e assim criar uma projeção futura da necessidade do cliente.

Para esse trabalho, como já falado anteriormente, utilizaremos os dados das empresas terceirizadas como mostra a Tab. 1 abaixo:

Tabela 1: Histórico de Consumo terceirizados.

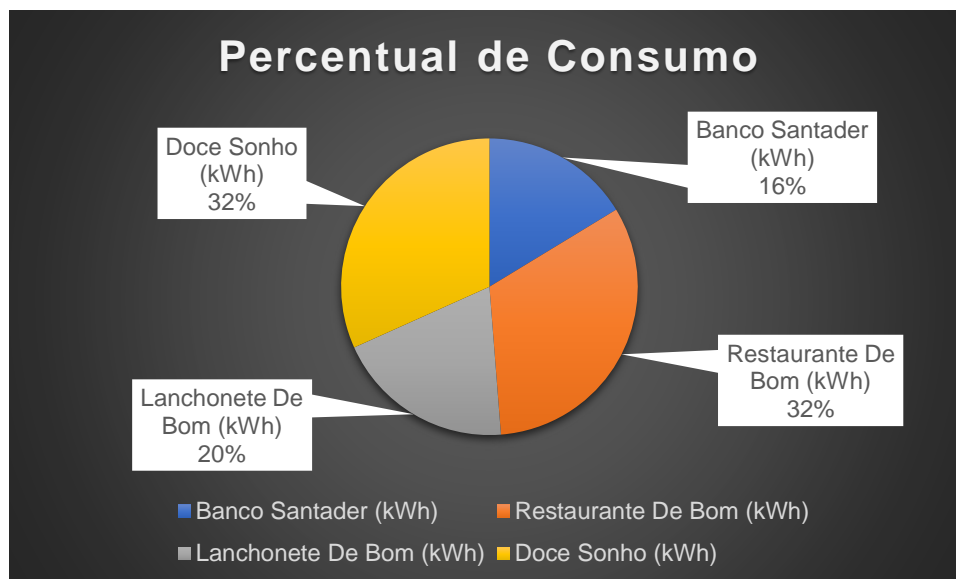
Mês/Local	Banco Santander (kWh)	Restaurante De Bom (kWh)	Lanchonete De Bom (kWh)	Doce Sonho (kWh)
Jun/21	379	1327	704	871
Jul/21	667	1407	575	502
Ago/21	619	1698	958	1467
Set/21	600	1531	885	1409

Out/21	363	830	579	1054
Nov/21	444	1131	698	1315
Dez/21	540	1349	670	1011
Jan/22	903	734	403	183
Fev/22	1099	1519	889	2213
Mar/22	689	1111	853	1846
Abr/22	754	1290	979	1606
Mai/22	701	1521	1098	1616
Total	7758	15448	9291	15093

Fonte: Do autor (2022)

Com base nos dados listados acima, observa-se que o consumo total no período de um ano somado todos os terceirizados chegou a 47.590 kWh. Com isso, foi realizado novamente uma nova análise para verificar a porcentagem de cada empresa, como pode-se observar na Fig. 2.

Figura 2: Percentual de Consumo.



Fonte: do Autor (2022)

3.2 ÍNDICE SOLARIMÉTRICO DO PROJETO

A localização de onde os painéis solares ficará, é muito importante, há cálculos que são feitos para verificar a radiação do sol no local e assim verificar sua eficiência.

Para verificar os índices de radiação foi utilizado uma ferramenta no site da CRESESB, com a latitude e longitude é possível verificar os níveis de radiação do local,

no site foram encontrados os dados com menos de 5 km de distância, o que pode trazer alta confiabilidade nos dados mostrados.

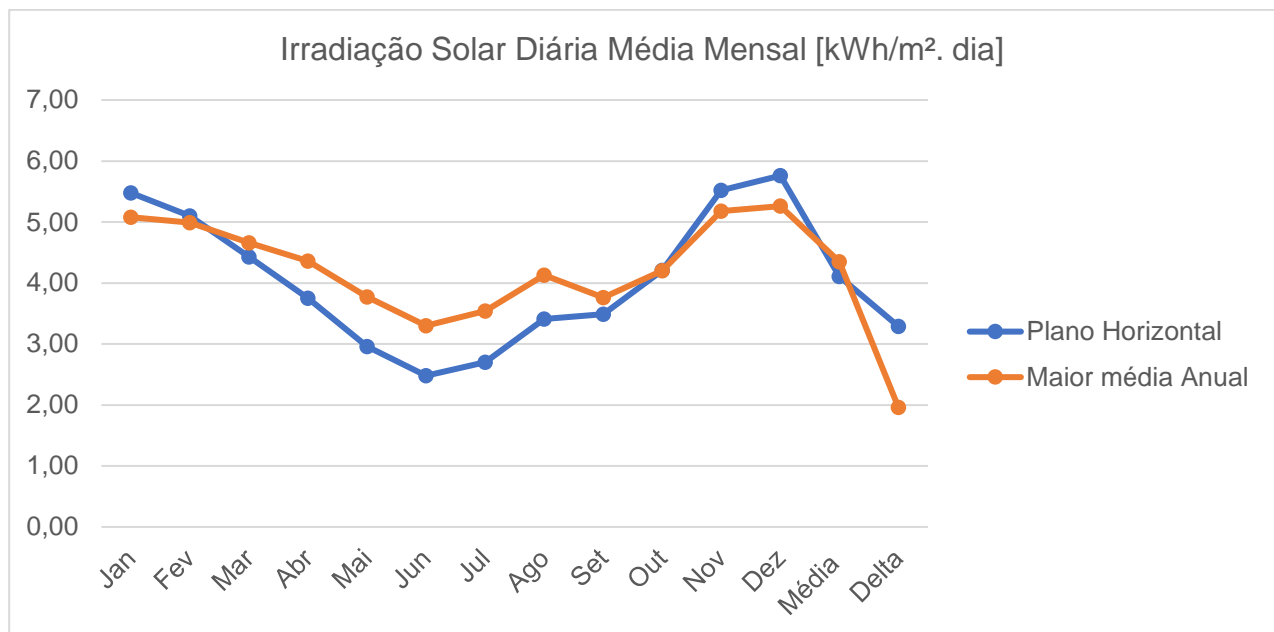
A Tab.2 faz uma comparação da irradiação solar, tanto no plano horizontal, quanto no plano inclinado e a Fig.3 a seguir mostra os mesmos dados em forma de gráfico.

Tabela 2: Comparação da Irradiação Solar no Plano Horizontal e Inclinado.

Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² . dia]												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
0° N	5,48	5,10	4,43	3,75	2,96	2,48	2,70	3,41	3,49	4,21	5,52	5,76	4,11
23° N	5,08	4,99	4,66	4,36	3,77	3,30	3,54	4,13	3,76	4,20	5,18	5,26	4,35

Fonte: Adaptado de CRESESB (2022)

Figura 3: Comparação da Irradiação Solar no Plano Horizontal e Inclinado.



Fonte: Adaptado de CRESESB (2022)

Com base nos dados acima, pode se observar que a melhor forma de instalação é utilizar o plano inclinado de 23° virado para o norte, possuindo a maior média de 4,35 kWh/m² dia.

Com os dados apresentados é possível realizar o cálculo de dimensionamento do sistema, o cálculo é feito através da Eq. 1, Eq. 2 e Eq. 3 a seguir:



Equação 1: Cálculo do Consumo Diário Médio Anual.

$$\text{Consumo Diário Médio Anual} = \frac{\text{Histórico de Consumo Anual}}{360}$$

Para a Eq. 1 é importante salientar que as empresas terceirizadas estão em uma instituição que já se encontra no mercado livre de energia elétrica, ou seja, o consumo compensável muitas vezes é o consumo do cliente menos a taxa de disponibilidade que é obrigatória ser paga, com exceção do mercado livre, onde isso não é cobrado. O consumo diário médio anual é calculado com a soma total anual dividido por 360 dias, obtendo o seguinte resultado:

$$\text{Consumo Diário Médio Anual} = \frac{47590}{360} = 132,20 \text{ kWh}$$

Com o consumo diário médio anual se calcula a irradiação média anual, cálculo que pode ser observado pela Eq. 2 a seguir.

Equação 2: Cálculo da Irradiação Média Anual.

$$\text{Irradiação Média Anual} = \frac{\text{Consumo Diário Médio Anual}}{\text{Irradiação}}$$

Ao dividir o consumo pela irradiação de 4,35 kWh/m² dia, já encontrada anteriormente se obtém o seguinte valor:

$$\text{Irradiação Média Anual} = \frac{132,20}{4,35} = 30,40 \text{ kWh/m}^2$$

Com os dados acima é possível calcular a potência do sistema fotovoltaico, cálculo que pode ser observado pela Eq. 3 a seguir:

Equação 3: Cálculo da Potência SFV.

$$Potência\ SFV = \frac{Irradiação\ Média\ Anual}{Performance\ Ratio}$$

A *Performance Ratio*, é a eficiência considerando as perdas, para cálculos iniciais é comum se considerar 0,7 ou 70%. Irradiação é o valor calculado anteriormente.

Sendo assim chegamos ao seguinte resultado:

$$Potência\ SFV = \frac{30,40}{0,7} = 43,42\ kWp$$

Assim, o valor da potência nominal para o sistema fotovoltaico é de 43,42 kWp.

3.3 DIMENSIONAMENTO E ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Através de cálculos, muitas vezes já feitos pelo próprio software é possível dimensionar desde a potência do equipamento até a dimensão do cabo a ser utilizado, com isso já é possível verificar as possíveis perdas e a rentabilidade do projeto.

Com o valor da potência é possível calcular os dimensionamentos dos equipamentos, com auxílio do software PVsyst é possível calcular a quantidade e característica necessária de cada equipamento.

Através de algumas simulações foi possível verificar que para esse projeto são necessários, 112 unidades de painéis solares de 525 Wp ligados a um inversor de 60 kW, os módulos deverão ser instalados em 4 *strings* de 28 unidades de painéis como mostra a Tab. 3

Tabela 3: Características Gerais do sistema FV.

Características do grupo FV			
Módulo		Inversor	
Fabricante:	JinkoSolar	Fabricante:	Growatt
Modelo:	JKM-525M-72HL4-BDVP	Modelo:	MAC 60KTL3-X LV.
Potência Unitária:	525 Wp	Potência Unitária:	60 kWca
Número de	112 unidades	Potência Total:	60 kWca
Módulos FV:			

Módulos:	4 Strings x 28 Em série	Número de Inversores:	1 unidade
----------	-------------------------	-----------------------	-----------

Potência FV Total

Nominal:	58.8 kWp
Total:	112 módulos
Superfície dos módulos:	289 m ²

Fonte: Adaptado de PVsyst (2022)

A quantidade de módulos foi definida para que o sistema gere mais energia, do que consumo, visto que o histórico de consumo de energia foi pego durante a pandemia, o qual não está prevendo a carga real com o funcionamento 100% dos clientes.

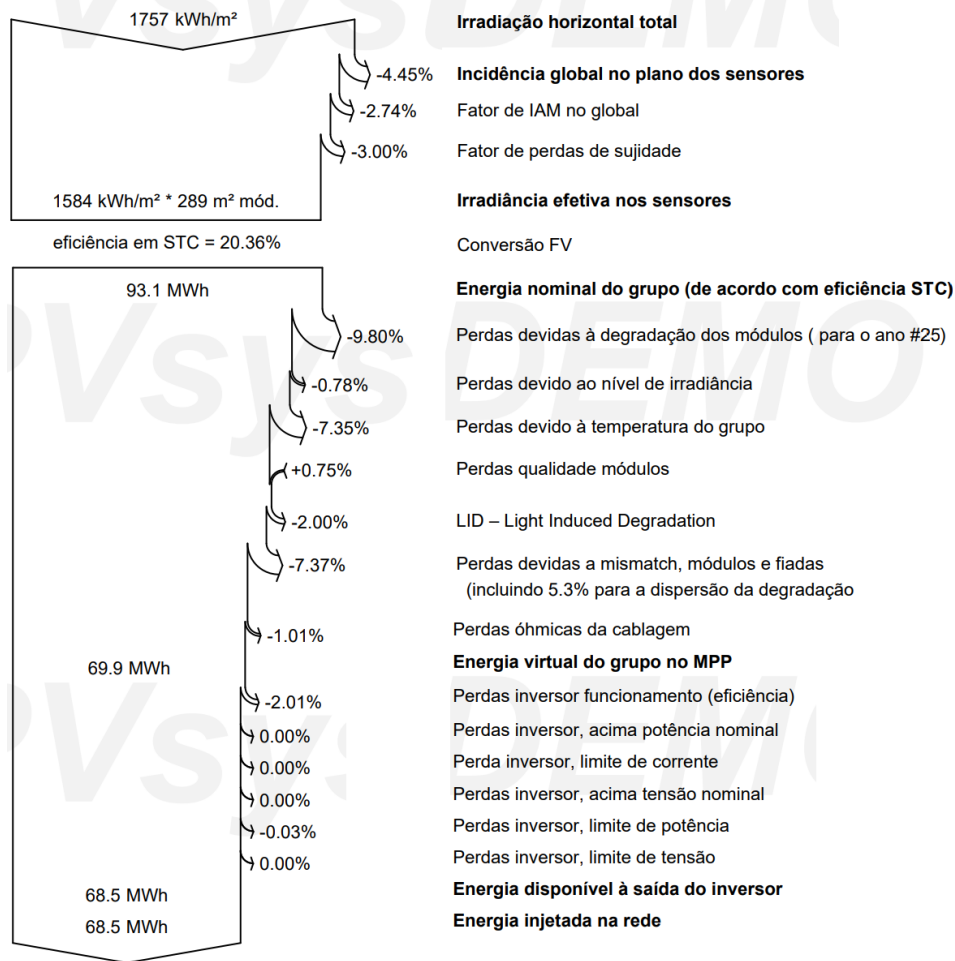
Nessa situação o sistema, com 58,8 kWp de potência, irá produzir cerca de 69 MWh, cerca de 20 MWh a mais do consumo atual. A potência do inversor foi aumentada para caso haja necessidade de aumentar a quantidade de painéis futuramente, sem precisar comprar um novo inversor.

3.4 ANÁLISE DE PERDAS

Diversos fatores têm que ser levados em consideração para fazer uma boa análise de perdas, como por exemplo, a eficiência dos equipamentos utilizados, cálculos de sombreamento do local da instalação e a deterioração dos equipamentos por tempo de uso.

Todas as perdas geradas pelos equipamentos e por temperaturas, foram calculadas através do software como mostra a Fig. 4, é importante ressaltar que a perda de sombreamento não foi necessária já que no local de instalação não há construções mais altas que possa obstruir a passagem dos raios solares.

Figura 4: Análise de Perdas.



Fonte: PVsyst (2022)

3.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A análise de viabilidade econômica é o último procedimento, pois ele é o resultado dos demais procedimentos descritos acima. Para uma boa análise é essencial saber a demanda do cliente e com ela dimensionar os equipamentos necessários e assim verificar sua rentabilidade, que é realizada com base tanto na localização para a produção da energia solar, como também na eficiência em si do projeto.

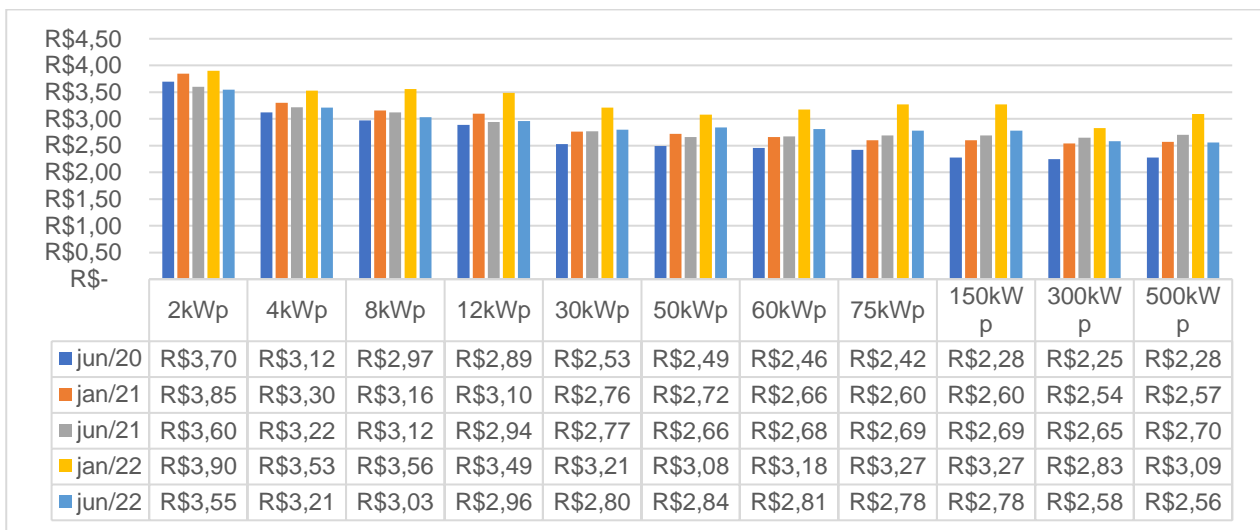
O período de análise será para 25 anos, esse intervalo de tempo corresponde a vida útil média dos módulos fotovoltaicos.

3.5.1 Investimento Inicial



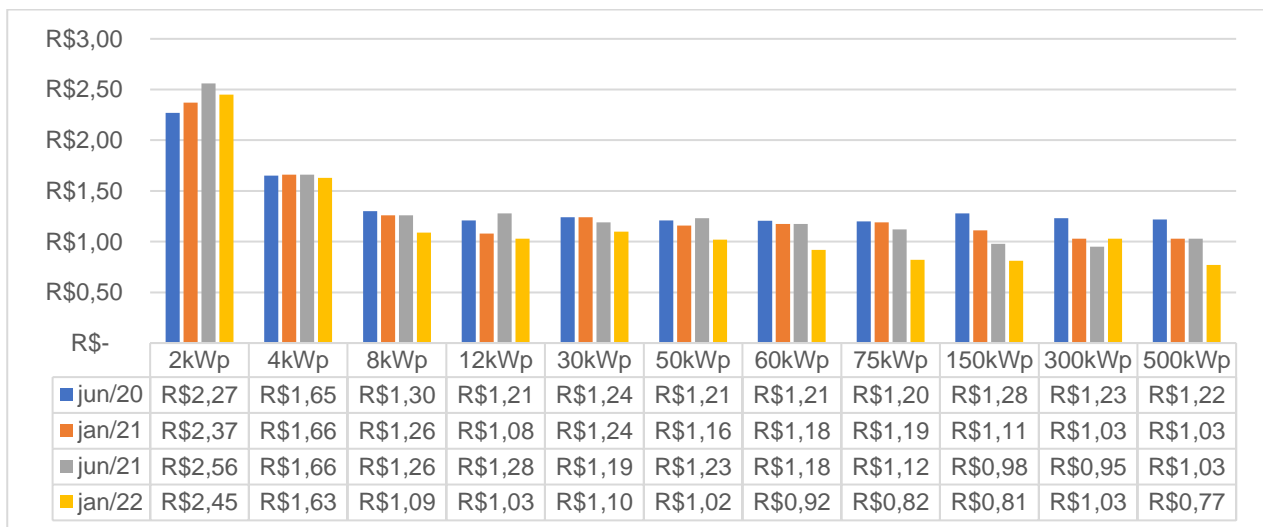
Segundo o site da Greener, o valor médio de um kit fotovoltaico (módulos FV, inversor de frequência, cabeamento, quadro *string box* e dispositivos de proteção) com a potência aproximada do projeto, resulta em aproximadamente R\$ 2,81/Wp, e o valor médio do serviço de integração para sua instalação em R\$ 0,92/Wp. Totalizando para o consumidor final o valor médio de R\$ 3,73/Wp. As Fig. 5 e Fig. 6 ilustram graficamente o valor médio do kit fotovoltaico e do serviço de integração. Para base de cálculos foi utilizado o preço de junho de 2022, com potência de 60 kWp.

Figura 5: Valor médio kit fotovoltaico.



Fonte: Adaptado de Greener (2022)

Figura 6: Valor médio serviço de integração.



Fonte: Adaptado de Greener (2022)



Deste modo, para a potência de 58,8 kWp dimensionada no presente projeto, adotando o valor de R\$ 3,73/Wp, tem-se que o investimento inicial seria de R\$ 219.324,00.

3.5.2 Consumo anual de Energia Elétrica

De acordo com o histórico de consumo referente ao ano de 2021/2022, averiguado na fatura de energia do estabelecimento, foi adotado um consumo anual constante de 47590 kWh/ano.

3.5.3 Tarifa de Energia Elétrica

Diferentemente de um projeto residencial, nesse caso temos uma cobrança de tarifa diferente, sendo a própria instituição fornecedora de energia para os terceiros, inicialmente a tarifa atual está em R\$ 0,64 /kWp e será adotado 3,25% de reajuste anual visto que é a porcentagem média que a universidade cobra na tarifa.

3.5.4 Taxa de Mínima Atratividade - TMA

De acordo com dados disponíveis no endereço eletrônico do Banco Central do Brasil foram adotadas diferentes TMAs, compondo dois cenários de análise financeira.

No primeiro cenário, caracterizado menos conservador, foi adotado como TMA a taxa Selic (taxa básica de juros da economia). De acordo com dados atualizados do Banco Central do Brasil, a taxa Selic encontra-se a 13,75% a.a.

No segundo cenário, caracterizado conservador, considerou-se um percentual de risco de 2% a.a. no investimento. Deste modo, foi adotado como TMA a taxa de 15,75% a.a.

3.5.5 Custos com Operação e Manutenção

Segundo o Estudo Estratégico de Geração Distribuída, adota-se o valor médio de 1% do valor total do investimento inicial por ano. Deste modo, R\$ 2.193,24.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SISTEMA DIMENSIONADO

Como já mencionado anteriormente o projeto será de 112 módulos, atingindo uma área total de 289 m², sua ligação será feita com 4 *strings* de 28 módulos em série, ligadas ao inversor de 60 kW.

O painel fotovoltaico utilizado é da marca JinkoSolar, bifacial, modelo JKM525M-72HL4-BDVP de 525 Wp e o inversor Growatt de 60 kW, modelo MAC 60KTL3-X LV.

A instalação dos painéis solares será nos telhados do próprio Centro de Convivência – UNISATC, fixados por eixos fixos a um ângulo de 23° virados para o norte. A Fig. 7 a seguir ilustra o local da instalação.

Figura 7: Local da Instalação dos Painéis Solares.

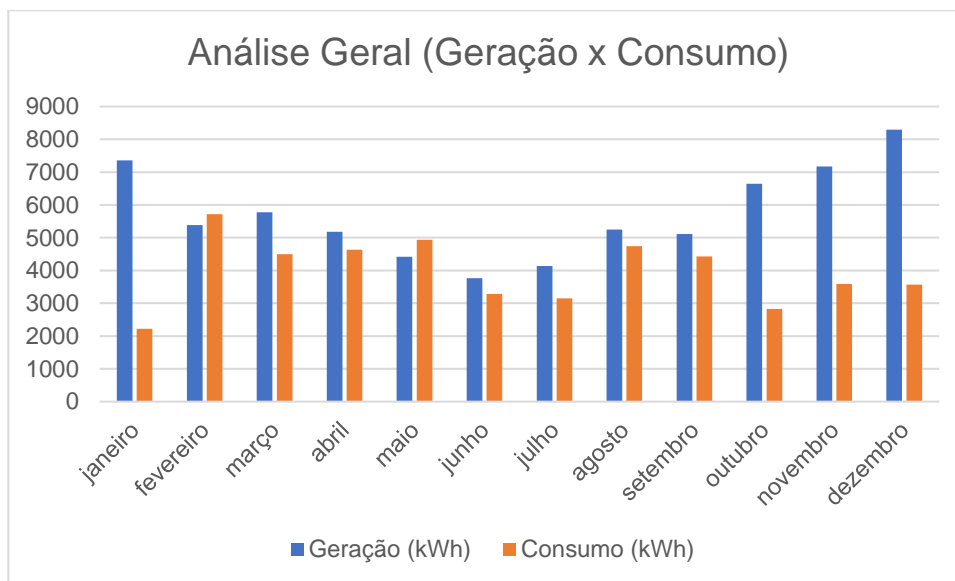


Fonte: Google (2022)

4.1.1 Geração versus Consumo

No primeiro ano com 68.488 kWh, se tem a seguinte comparação de geração versus consumo total, conforme mostra a Fig. 8 graficamente, a mais geração de energia em períodos mais quentes do que no períodos de invernos e quase todos os meses houve mais geração do que consumo.

Figura 8: Análise Geral (Geração x Consumo).



Fonte: do Autor (2022).

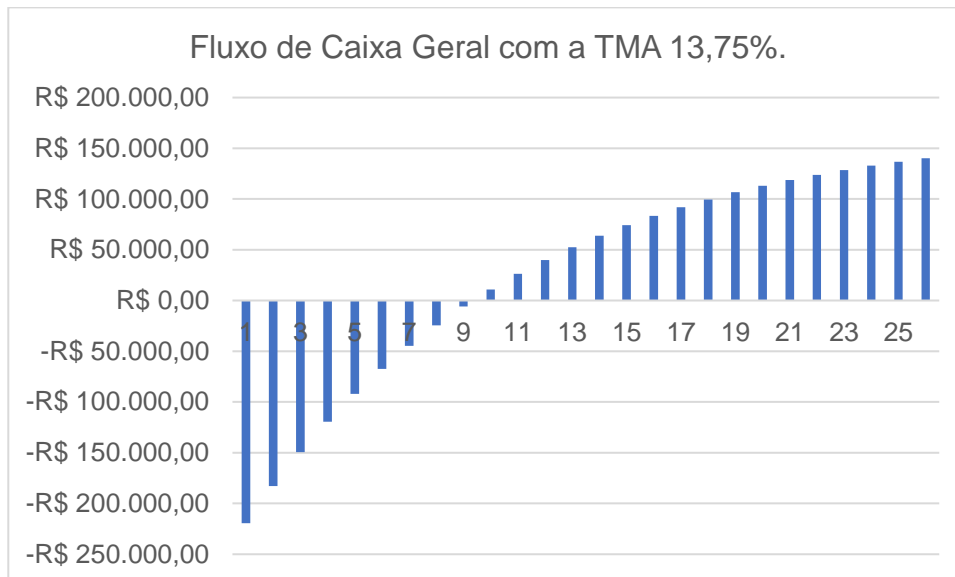
Pode-se notar que a geração está muito maior inicialmente no ano, o que é proposital, para que quando os terceirizados atender com a carga total o sistema ainda poder suprir totalmente a demanda. Enquanto isso não acontece a energia de sobra poderá ser utilizada pela universidade e o valor da energia utilizada será creditada para os próximos meses, caso a energia não seja utilizada esse crédito poderá se transformar em descontos no aluguel dos estabelecimentos.

4.2 RESULTADOS DA ANÁLISE ENCONÔMICA

Com a realização do fluxo de caixa descontado obteve-se, a partir das resultantes do fluxo estimado e o valor presente líquido. Subsequentemente, foi determinado o *payback* descontado (tempo de retorno do investimento).

O cálculo apresenta o fluxo de caixa descontado, no período de 25 anos, para a implantação do sistema FV dimensionado, considerando a TMA de 13,75% a.a. (a qual teve como parâmetro a taxa Selic). A Fig. 9 ilustra graficamente.

Figura 9: Fluxo de Caixa Geral com a TMA 13,75%.

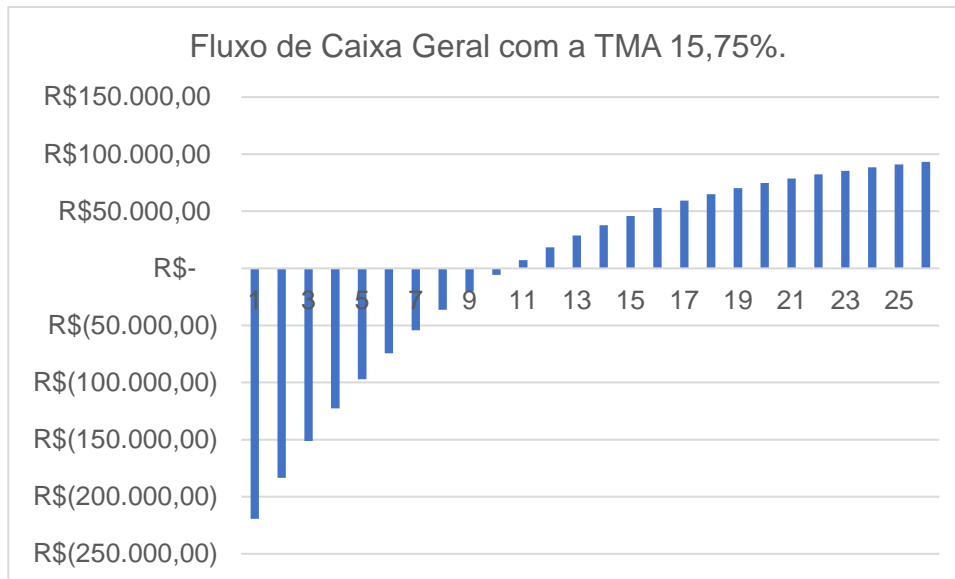


Fonte: do Autor (2022).

Como pode-se observar em um perfil moderado, considerando a TMA 13,75%, em um período de 25 anos o fluxo de caixa em uma análise geral começaria a dar retorno a partir de 10 anos, ou seja, em 10 anos o projeto seria pago e as empresas começariam apenas a lucrar.

Como segunda análise, no período de 25 anos, para a implantação do sistema FV dimensionado, considerando a TMA de 15,75% a.a. (a qual teve como parâmetro a taxa Selic e um percentual de risco de 2%). A Fig. 10 ilustra graficamente uma pequena diferença.

Figura 10: Fluxo de Caixa Geral com a TMA 15,75%.



Fonte: do Autor (2022).

Ao ser analisado em um perfil mais conservador com uma TMA de 15,75% o fluxo de caixa em uma análise geral começaria a dar retorno a partir de 11 anos, ou seja, em 11 anos o projeto seria pago, certamente um ano a mais do que na análise anterior.

4.2.1 Resultados da Análise Econômica detalhada.

A Tab. 4 e Tab. 5 a seguir mostram o resumo geral dos resultados da viabilidade econômica para implementação do projeto sobre as duas TMAs utilizadas, comprovando por meios de cálculos que o projeto nos dois perfis é economicamente viável, já que o VPL foi maior que zero e a TIR foi maior que a TMA.

Tabela 4: Resultados da Viabilidade Econômica Geral TMA 13,75%.

Investimento Inicial R\$ 219.324,00	
TMA	13,75%
VPL	R\$ 140.176,98
TIR	21,87%
VPLA	R\$ 20.075,81
<i>Payback</i>	Ano 10

Viabilidade Econômica	VPL>0 e TIR>TMA Economicamente Viável
-----------------------	--

Fonte: do Autor (2022).

Tabela 5: Resultados da Viabilidade Econômica Geral TMA 15,75%.

Investimento Inicial RS 219.324,00	
TMA	15,75%
VPL	R\$ 93.222,35
TIR	21,87%
VPLA	R\$ 15.071,69
Payback	Ano 11
Viabilidade Econômica	VPL>0 e TIR>TMA Economicamente Viável

Fonte: do Autor (2022).

Já a Tab. 6 e a Tab. 7 mostra os resultados individuais das diferentes TMAs propostas no projeto, com elas é possível analisar o investimento que cada cliente teria que fazer separadamente, juntamente com os valores que as empresas ganhariam de retorno nos dois perfis moderado e conservador.

Tabela 6: Resultados da Viabilidade Econômica Detalhada TMA 13,75%.

	Resumo da Viabilidade Econômica com TMA 13,75%			
	Banco Santander	Restaurante De Bom	Lanchonete De Bom	Doce Sonho
Investimento Inicial	R\$ 35.091,84	R\$ 70.183,68	R\$ 43.864,80	R\$ 70.183,68
VPL	R\$ 22.428,32	R\$ 44.856,63	R\$ 28.035,40	R\$ 44.856,63
TIR	21,87%	21,87%	21,87%	21,87%
VPLA	R\$ 3.212,13	R\$ 6.424,26	R\$ 4.015,16	R\$ 6.424,26
Payback	Ano 10	Ano 10	Ano 10	Ano 10
Viabilidade Econômica	VPL>0 e TIR>TMA Economicamente Viável	VPL>0 e TIR>TMA Economicamente Viável	VPL>0 e TIR>TMA Economicamente Viável	VPL>0 e TIR>TMA Economicamente Viável

Fonte: do Autor (2022).

Tabela 7: Resultados da Viabilidade Econômica Detalhada TMA 15,75%.

	Resumo da Viabilidade Econômica com TMA 15,75%			
	Banco Santander	Restaurante De Bom	Lanchonete De Bom	Doce Sonho

Investimento Inicial	R\$ 35.091,84	R\$ 70.183,68	R\$ 43.864,80	R\$ 70.183,68
VPL	R\$ 14.915,58	R\$ 29.831,15	R\$ 18.644,47	R\$ 29.831,15
TIR	21,87%	21,87%	21,87%	21,87%
VPLA	R\$ 2.411,47	R\$ 4.822,94	R\$ 3.014,34	R\$ 4.822,94
Payback	Ano 11	Ano 11	Ano 11	Ano 11
Viabilidade Econômica	VPL>0 e TIR>TMA Economicamente Viável	VPL>0 e TIR>TMA Economicamente Viável	VPL>0 e TIR>TMA Economicamente Viável	VPL>0 e TIR>TMA Economicamente Viável

Fonte: do Autor (2022).

5 CONCLUSÃO

Diante os fatos acima é possível entender por que a energia está em forte crescimento. Existem muitas vantagens, tanto financeiramente como para o próprio meio ambiente.

O trabalho realizou um estudo técnico-econômico de uma possível instalação de painéis solares no telhado do Centro de Convivência da UNISATC, para os estabelecimentos terceirizados, localizado em Criciúma – SC.

No capítulo 2 há uma breve explicação sobre alguns equipamentos utilizados no projeto, seção importante para o conhecimento de alguém que possa estar interessado nessa área e utilizar como base para futuras pesquisas.

Já no capítulo 3, refere-se ao procedimento experimental, através dele foi possível verificar a potência nominal necessária do sistema e também realizar o dimensionamento dos equipamentos, resultando em um sistema contendo 112 módulos ligados com 4 *strings* de 28 em um inversor de frequência, ocupando uma área total de 289 m². Ressalta-se que as medições já ocorrem individualmente para cada cliente, porém para o projeto seria necessário a troca de medidores tradicionais pelo medidor bidirecional.

O software PVsyst utilizado em modo DEMO foi atualmente aprimorado para o dimensionamento, contendo simulações que prevê todas as perdas (cabeamento, eficiência, sombreamento) e pelo seu banco de dados para simular as irradiações, que estão totalmente atualizadas conforme o site CRESESB.

O projeto resultou em uma potência de 58,8 kWp, produzindo em seu primeiro ano mais de 68.488 MWh no ano, uma produção com 20% acima para suprir a verdadeira carga total de cada estabelecimento. Como a UNISATC participa do mercado livre



diversas taxas foram retiradas, como por exemplo, a taxa de disponibilidade que não foi levada em consideração, pois não se aplica a este tipo de método.

Como a fornecedora dos terceirizados é a própria instituição e não a distribuidora local, vários acordos podem ser realizados para os créditos de energia, como um possível desconto nos aluguéis das salas comerciais. O inversor foi escolhido de uma maior potência, para que o projeto possa ser ampliado sem muitas despesas adicionais.

A análise econômica foi feita em duas simulações uma utilizando a TMA apenas como base, sendo a TMA o valor da taxa Selic que atualmente está em 13,75% e uma outra análise foi feita com um adicional de segurança de 2% resultando em uma TMA de 15,75%.

A análise a qual foi feita para 25 anos, se tornou atrativa com um retorno de investimento em 10 anos. As taxas aplicadas a residências que possuem energia solar que começará a ser implementada a todos as instalações solares instaladas a partir de janeiro de 2023 não serão consideradas no projeto, pois esse projeto seria implementado ainda esse ano de 2022.

Conforme abordado no capítulo 4.2 considerando uma TMA de 13,75% o valor presente líquido resultou em R\$ 140.176,98, já o valor presente líquido anualizado foi de R\$ 20.075,81 valor esse que é a expectativa de ganho anual, a taxa interna de retorno de 21,87% e *payback* de 10 anos.

Já o fluxo de caixa considerando a TMA de 15,75% o valor presente líquido resultou em R\$ 93.222,35, já o valor presente líquido anualizado foi de R\$ 15.071,69 a taxa interna de retorno de 21,87% e *payback* de 11 anos.

Deste modo é possível concluir que o projeto é viável das duas formas visto que em todo o momento o VPL foi maior que zero e a TIR foi maior que a TMA.

Importante salientar que esse projeto foi de grande experiência para o acadêmico e também um possível manual resumido para futuros projetistas que queiram trabalhar na área.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. **Estudos foto físicos e fotovoltaicos de sistemas polímero-fulereno e nanopartículas de CdSe**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011. 48 f. Acesso em: 06 jun. 2022.



BEZERRA, Luiz Daniel S. **Conversor cc-ca para aplicação em sistemas autônomos de energia elétrica.** 2010. Trabalho de pós-graduação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará. Acesso em: 06 jun. 2022.

BV BANCO. **Painel solar bifacial: entenda o que é e quais as aplicabilidades:** Descubra como a tecnologia do painel solar bifacial consegue aumentar a eficiência na geração de energia solar. São Paulo: Banco BV S.A., 2022. Disponível em: <https://www.bv.com.br/bv-inspira/parceiro-solar/painel-solar-bifacial>. Acesso em: 13 abr. 2022.

BLUE SOL ENERGIA SOLAR. Tudo sobre Energia Solar. In: **Inversor Solar Fotovoltaico: o que É, como Funciona e Tipos.** [S. l.], 2019. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/inversor-fotovoltaico-o-que-e-como-funciona/>. Acesso em: 6 abr. 2022.

CELESC. **Micro e minigeração:** Instrução I-432.0004 - Requisitos para conexão de micro ou minigeradores de energia ao sistema elétrico da Celesc Distribuição. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.celesc.com.br/micro-mini-geracao>. Acesso em: 7 jun. 2022.

CECCHINI, T. **Otimização das regiões altamente dopadas de células solares fabricadas por processos térmicos rápidos de pequeno porte.** 2003. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Acesso em: 06 jun. 2022.

ELYSIA ENERGIA SOLAR. **Os tipos de inversor solar: tudo o que você precisa saber sobre o equipamento que é o coração do sistema fotovoltaico – Parte 2:** CONTA DE LUZ, CONTA DE LUZ BARATA, ECONOMIA, ECONOMIA DE ENERGIA. Porto Alegre: WEG, 12 abr. 2017. Disponível em: <https://elysia.com.br/tipos-de-inversor-solar/>. Acesso em: 13 abr. 2022.

FRAUNHOFER, I. **Photovoltaics Report.** Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. Freiburg. 2020. Acesso em: 06 jun. 2022.



GALINDO, E. F. A.; MELO, J. B. F. Análise da Tecnologia Fotovoltaica de CdTe para uma Central Geradora de 1MWp no Semiárido Brasileiro. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Pernambuco, v. 4, n. 2, Abril 2019. Acesso em: 06 jun. 2022.

GARCIA, Rodrigo. **Viabilidade financeira: entenda o que é e como fazer**. São Paulo: INVESTOR AVALIAÇÕES, 2022. Disponível em: <https://investorcp.com/financas-corporativas/estudo-de-viabilidade-financeira/#:~:text=A%20viabilidade%20econ%C3%B4mica%20analisa%20os%20custos%20e%20os,neg%C3%B3cio%20e%20seu%20comportamento%20frente%20ao%20mercado%20consumidor>. Acesso em: 28 mar. 2022.

GREEN, M. A. et al. “Solar cell efficiency tables” (version 54). Progress in Photovoltaics, abril 2022, v.27, p.565 - 575. Acesso em: 06 jun. 2022.

GONZÁLEZ GARCÍA Y COLS, MARIO ARTURO; CÁRDENAS GALINDO, VÍCTOR MANUEL; ÁLVAREZ SALAS, RICARDO. **UNIVERSITARIOS POTOSINOS**: Revista de Divulgación Científica. Orientador: Patricia Briones Zermeño. 2019. 5 p. TCC (Doctor en Ingeniería Eléctrica) - FACULTAD DE INGENIERÍA, UASLP, [S. I.], 2019. Disponível em: <http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Dieciseis/universitarios%20potosinos%20238.pdf#page=26>. Acesso em: 13 abr. 2022.

INSTITUTO DE ENERGIA DA PUC-RIO. **O sol vai voltar amanhã**: um espectro de análises sobre a energia fotovoltaica. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Lexikon, 2020. 441 p. ISBN 978-65-88871-02-7. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/191626>. Acesso em: 13 abr. 2022.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: Uma breve Revisão. Revista Virtual de Química, v.7, n.1, p. 126-143, 2014. Acesso em: 06 jun. 2022.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011. Acesso em: 06 jun. 2022.



PINHO, João Talvares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. [S. l.]: CEPEL - CRESESB, 2014. p. 1-530. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 11 maio 2022.

PORTAL SOLAR. In: **Painel Solar Fotovoltaico Bifacial**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico-bifacial?q=/blog-solar/painel-solar/painel-solar-fotovoltaico-bifacial.html&>. Acesso em: 13 abr. 2022.

RENERGY ENERGIA SOLAR (Janaúba - MG). Energia Solar Fotovoltaica. In: **Característica do Painel Solar Fotovoltaico**. [S. l.], 5 ago. 2019. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/projeto-de-energia-solar>. Acesso em: 6 abr. 2022.

RUTHER, R. – **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas a rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis, SC: Labsolar, 2004. Acesso em: 06 jun. 2022.

SHAW, Vincent. JA Solar lança painel solar de 800 W. In: INSTITUTO DE ENERGIA DA PUC-RIO. **JA Solar lança painel solar de 800 W**. [S. l.]: PV Magazine, 25 ago. 2020. Disponível em: <https://pontoon-e.com/ja-solar-lanca-painel-solar-de-800-w/>. Acesso em: 13 abr. 2022.

S. PAULO ZONA SUL (ed.). **Sistema de energia solar pode reduzir em até 95% o custo da conta de luz**. São Paulo: S. Paulo Zona Sul, 10 nov. 2021. Disponível em: <https://jornalzonasul.com.br/sistema-de-energia-solar-pode-reduzir-em-ate-95-o-custo-da-conta-de-luz/>. Acesso em: 9 maio 2022.

SOUSA, Rafaela. **Energia Solar**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/energia-solar.htm>. Acesso em: 06 abr. 2022.

TOPSUN ENERGIA SOLAR. **Brasil ocupa 9ª posição no ranking de países que mais instalaram energia solar em 2020**. SC, 26 jul. 2021. Disponível em:



<https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/especial-publicitario/top-sun/top-sun-energia-solar/noticia/2021/07/26/brasil-ocupa-9a-posicao-no-ranking-de-paises-que-mais-instalaram-energia-solar-em-2020.ghtml>. Acesso em: 20 mar. 2022.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2012. Acesso em: 06 jun. 2022.