

Estudo de viabilidade técnica e dimensionamento de sistema fotovoltaico *On-grid* para unidade escolar da rede estadual

João Vitor Ramos Garcia; Jorge William Lino Bastos; Michel Aires Luizão

Orientador: Prof. Dr. André Luiz de Oliveira

Resumo: O presente estudo analisa a viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico *on-grid* em uma unidade escolar da rede estadual, objetivando o aproveitamento da irradiação solar existente em sua área de cobertura para geração de energia elétrica renovável, bem como integração no sistema de compensação de energia elétrica, conforme regulamentação estabelecida em Resolução Normativa Nº 482/2012 da ANEEL. Desta forma, promove-se o aproveitamento de uma fonte energética renovável não explorada no local, contribuindo com a diversificação da matriz energética nacional e reduzindo custos provenientes do consumo de energia no prédio escolar. Fazendo uso dos dados de histórico de consumo, documentação arquitetônica e localização geográfica do prédio em referência, realizou-se o dimensionamento do sistema fotovoltaico para compensação do consumo de energia elétrica médio da unidade escolar. Desenvolveu-se o quantitativo de módulos fotovoltaicos, indicação de inversor compatível e proteção elétrica em corrente contínua.

Palavras-chave: Fotovoltaico, Escola, Solar, Renovável, Consumo.

Technical feasibility study and design of an On-grid photovoltaic system for a public-school building

Abstract: This study analyzes the feasibility of implementing an on-grid photovoltaic system in a state school, aiming at the use of the existing solar irradiation in its coverage area for the generation of renewable electric energy, as well as integration into the electricity compensation system, according to the regulation established in Normative Resolution No. 482/2012 of ANEEL. In this way, the use of a renewable energy source not exploited on site is promoted, contributing to the diversification of the national energy matrix and reducing costs from energy consumption in the school building. Making use of the data of consumption history, architectural documentation and geographical location of the building in reference, the dimensioning of the photovoltaic system was carried out to compensate for the average electricity consumption of the school unit. The quantity of photovoltaic modules was developed, indication of a compatible inverter and electrical protection for the DC section of the system.

Keywords: Photovoltaic, School, Solar, Renewable, Consumption.

1. Introdução

A Organização das Nações Unidas, ao constatar a necessidade de maior engajamento por um desenvolvimento sustentável, compôs no ano de 2015 a Agenda 2030, ao qual 193 países se comprometeram com a adoção dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), elaborados com intuito de apresentar ações e metas para o cumprimento da agenda proposta. Vale destacar a busca por uma geração global de energia mais acessível, eficiente e sustentável, que pode ser verificada nas metas do ODS número 7 das Nações Unidas (Organização das Nações Unidas, 2015):

Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos;

7.1 Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia

7.2 Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global

7.3 Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética

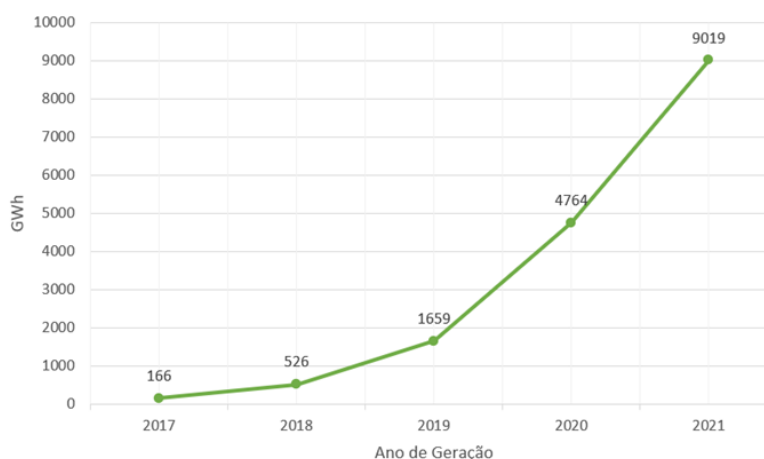
7.a Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa

7.b Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos os países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio

A geração elétrica da matriz energética do Brasil já é predominantemente abastecida por fontes de origem renovável, representando 78,1% da oferta interna de eletricidade no ano de 2021 (Balanço Energético Nacional 2022). Contudo, deve-se salientar que esta marca foi alcançada juntamente com uma grande dependência com relação à geração hidrelétrica, que representou 53,4% da oferta de energia elétrica no ano de 2021 (Balanço Energético Nacional 2022). Apesar de ser uma parcela expressiva, este valor apresenta uma queda de 8,5% em relação ao ano anterior, queda esta influenciada pelo agravamento do cenário de indisponibilidade hídrica que, conseqüentemente, desencadeou a necessidade de se recorrer à outras fontes energéticas, como carvão e gás natural que apresentaram, respectivamente, aumentos de geração de 47,2% e 46,2% no mesmo período (Balanço Energético Nacional Relatório Síntese 2022).

Neste período de 2021 destacou-se o crescimento do modelo de Micro e Minigeração Distribuída de geração renovável, possuindo 8.965 MW de capacidade instalada e apresentando um aumento de geração de 84% em comparação ao ano de 2020 (Balanço Energético Nacional Relatório Síntese 2022). A geração solar da Micro e Minigeração Distribuída proporcionou sozinha um fornecimento anual de 9.019 GWh, aproximadamente 1,37% da geração nacional total no ano de 2021 (656,1 TWh), apresentando um aumento de 89,31% em relação ao ano anterior, conforme apresentado no Gráfico 1 (Balanço Energético Nacional, 2022).

Gráfico 1 - Geração anual de sistema de micro e minigeração solar



Fonte: Elaborado pelos autores com dados do Balanço Energético Nacional (2022)

1.1 Justificativa

Considerando o potencial energético em expansão do modelo de geração distribuída, o presente trabalho se propõe ao dimensionamento do sistema de geração fotovoltaica *on-grid* necessário para atendimento de um prédio escolar da rede estadual, ou seja, dimensionamento de um sistema de geração de energia solar conectado à rede de distribuição da concessionária local, possibilitando a injeção da energia gerada excedente na rede de distribuição e a compensação do consumo de energia elétrica do imóvel.

Tendo em vista a grande quantidade de imóveis escolares da rede estadual no Estado de São Paulo, sendo 5097 escolas estaduais conforme informação da Secretaria da Educação do Estado de São Paulo (SEDUC-SP, 2017), utilizou-se um destes prédios como referência para dimensionamento de sistema fotovoltaico, visando estudar a viabilidade de aproveitamento de sua área de cobertura sob irradiação solar para instalação de uma fonte de energia sustentável, compensando o consumo local e colaborando com a diversificação da matriz energética nacional com novas fontes renováveis.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade de utilização de um sistema fotovoltaico *on-grid* para compensação da energia consumida por uma unidade escolar visando o adequado aproveitamento da energia solar irradiada sobre a cobertura da edificação.

1.2.2 Objetivos específicos

- I. Análise das características arquitetônicas e meteorológicas relacionadas ao prédio de referência, visando estimar a irradiação solar incidente na área disponível.
- II. Determinação do posicionamento e localização ideal dos módulos fotovoltaicos.
- III. Análise do histórico de consumo da unidade consumidora para levantamento quantitativo de módulos fotovoltaicos.
- IV. Dimensionamento e indicação de inversor adequado.
- V. Dimensionamento do sistema de proteção do sistema de geração fotovoltaica.

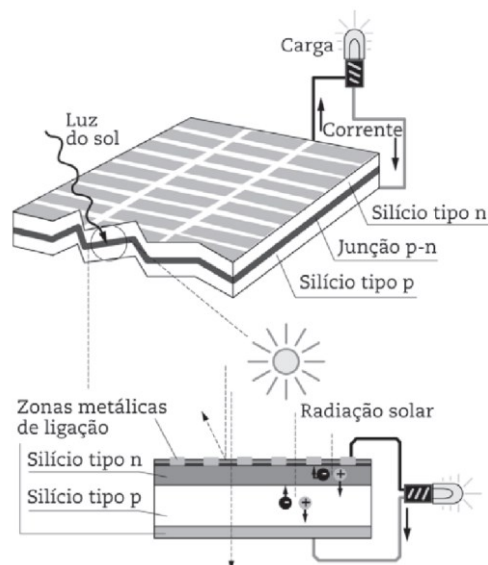
2. Revisão Bibliográfica

2.1 Efeito fotovoltaico

Em 1839 Alexandre Edmond Becquerel observou pela primeira vez a geração de diferença de potencial ao incidir luz sobre uma célula eletroquímica (Lima et al, 2020). O denominado efeito fotovoltaico é aquele pelo qual materiais, atualmente tipicamente semicondutores, ao serem incididos por energia luminosa absorvem fótons e transferem parte desta energia aos seus elétrons, fazendo-os migrar do estágio de menor nível de energia, chamada banda de valência, para o estágio de maior nível de energia, chamada banda de condução, gerando pares elétron-lacuna e consequentemente uma diferença de potencial entre dois terminais de uma junção p-n (ZILLES, 2012).

Para que seja possível aproveitar a energia elétrica desta diferença de potencial é necessário que os elétrons circulem por um circuito externo (ZILLES, 2012). A Figura 1 apresenta uma representação do processo descrito.

Figura 1 - Representação do processo de conversão fotovoltaica



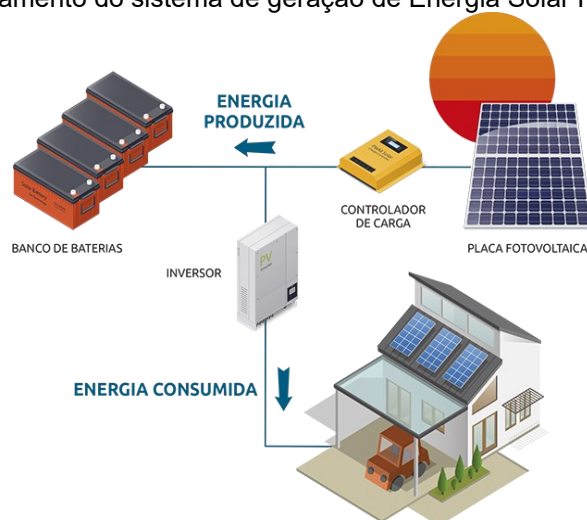
Fonte: ZILLES (2012)

2.2 Sistema Fotovoltaico *off-grid*

O Sistema Fotovoltaico *off-grid* caracteriza-se pela geração fotovoltaica de energia isolada da rede de distribuição de energia, do qual necessita da instalação local de baterias que realizarão o armazenamento de energia nos momentos de geração excedente e suprirão o consumo nos momentos de pouca ou nenhuma geração (SERAFIM, 2022).

Este modelo de geração é recomendado especialmente para instalação em unidades consumidoras remotas, com difícil acesso ao sistema de distribuição de energia, tendo em vista que costuma apresentar um custo superior para sua instalação, devido a necessidade de aquisição e manutenção das baterias (SERAFIM, 2022), além de apresentarem uma vida útil menor em comparação com aquela dos módulos fotovoltaicos, dependendo da quantidade de ciclos de carga e descarga realizados (PINHO e GALDINO, 2014). Vale mencionar também o impacto ambiental ocasionado pelo descarte das baterias após sua utilização (PINHO e GALDINO, 2014). A Figura 2 ilustra o funcionamento do sistema descrito.

Figura 2 - Funcionamento do sistema de geração de Energia Solar Fotovoltaica *Off-Grid*

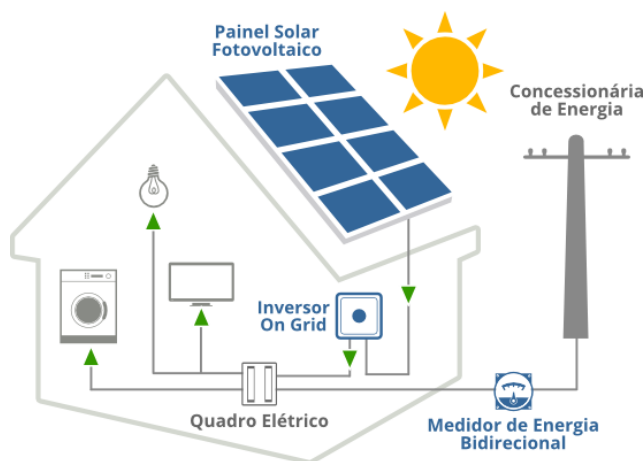


Fonte: ECO Aquecedores (2022)

2.3 Sistema fotovoltaico on-grid

O sistema em questão possui conexão com a rede de distribuição da concessionária local, na qual a energia produzida excedente no período diurno é injetada e convertida em créditos, que podem ser utilizados para desconto na fatura de energia. Portanto, o sistema possui como diferencial não necessitar da utilização de baterias para armazenamento da energia, por estar interligada à rede de distribuição que abastecerá a unidade consumidora nos períodos de pouca ou nenhuma geração (PORTAL SOLAR, 2022). A Figura 3 ilustra o funcionamento do sistema descrito.

Figura 3 - Funcionamento do sistema de geração de Energia Solar Fotovoltaica On-Grid



Fonte: Fort Solar (2022)

Como definido na seção 3.1 do PRODIST, sistemas de microgeração distribuída (sistemas de geração distribuída com potência instalada igual ou inferior a 75kW) devem possuir sistema de medição bidirecional, ficando estabelecido que o mesmo que deve: “no mínimo, diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede” (ANEEL, 2021). Para sistemas de minigeração distribuída (sistemas com potência instalada superior a 75kW e igual ou inferior a 5MW) devem possuir medidor de 4 quadrantes (ANEEL, 2021).

Apesar de conectado à rede de distribuição, o sistema não permanecerá fornecendo energia à unidade consumidora em uma situação de queda do fornecimento de energia pela concessionária, pois, visando garantir a segurança das equipes de manutenção da rede, o sistema de geração distribuída deve se desconectar na ausência de fornecimento da distribuidora (ANEEL, 2021). Conforme definido na Norma ABNT NBR 16149:2013, o inversor deverá ativar a função anti-ilhamento e interromper o fornecimento de energia à rede em até 2 segundos após a perda da rede.

Vale destacar que mesmo no caso de geração superior ao consumo mensal, a fatura de energia do consumidor ainda será emitida com um determinado valor a ser pago, tendo em vista que clientes com fornecimento em baixa tensão serão cobrados um valor mínimo determinado pela ANEEL denominado custo de disponibilidade, devendo-se pagar o valor equivalente em reais a 30 kWh para ligações monofásicas, 50 kWh para bifásicas e 100 kWh para trifásicas (ANEEL, 2012). Para sistemas fotovoltaicos on-grid instalados após 7 de janeiro de 2023 também será cobrado mensalmente a tarifa TUSD Fio B, conforme determinado pela lei 14.300 de 6 de janeiro de 2022.

2.4 Irradiância solar

A irradiância solar é a grandeza que expressa a potência radiante que atravessa uma superfície por unidade de área, comumente utilizando-se a unidade de W/m^2 (PLANA-FATTORI e CEBALLOS, 2009). No contexto de geração fotovoltaica o valor de 1000 W/m^2 de irradiância solar é adotado nas Condições Padrão de Ensaio ou *Standard Test Conditions* (PINHO e GALDINO, 2014).

2.5 Irradiação solar

A irradiação solar expressa a quantidade de energia radiante que atravessa uma superfície durante um certo intervalo de tempo por unidade de área, comumente expressa na unidade Wh/m^2 (PLANA-FATTORI e CEBALLOS, 2009). Estudos meteorológicos fornecem valores de irradiação diária para diferentes localidades do Brasil, expressos na unidade $\text{Wh/m}^2 \cdot \text{dia}$ (LABREN, 2017).

2.6 Ângulo azimutal dos Módulos

Definido como o ângulo entre o Norte Geográfico e a projeção no plano horizontal da normal do módulo fotovoltaico. Isto é, o azimute expressa o ângulo entre o ponto cardinal Norte e a direção a qual o módulo fotovoltaico está orientado, conforme indicado na Figura 4. Toma-se o Norte como origem e progride positivamente em sentido horário até 180° e negativamente em sentido anti-horário até -180° (PINHO e GALDINO, 2014).

Figura 4 - Ângulo de inclinação de uma placa solar fotovoltaica



Fonte: NeoSolar (2022)

Usualmente, para uma maior eficiência do sistema fotovoltaico, os módulos devem estar orientados em direção à linha do equador, logo, para instalações localizadas no Hemisfério Sul, os módulos fotovoltaicos devem estar preferencialmente orientados em direção ao Norte Geográfico. (PINHO e GALDINO, 2014).

2.7 Ângulo de inclinação

Ângulo de inclinação é o ângulo formado entre a superfície do módulo fotovoltaico e o plano horizontal. No cenário da geração fotovoltaica comumente sugere-se que, para uma geração próxima à máxima, o ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico deve ser próximo ao valor da latitude local (ABNT, 2019) (PINHO e GALDINO, 2014).

Contudo, vale esclarecer que essa sugestão de inclinação é válida para módulos fotovoltaicos orientados para o Equador. Conforme exemplificado na Tabela 1, elaborada com dados calculados pelo *Software* Radiasol, para dois planos inclinados em um mesmo local com azimute de 90° (orientado a Leste), a irradiação anual total para o plano inclinado com ângulo de 1° é superior à irradiação do plano com inclinação próxima à latitude local, no caso 24° .

Tabela 1 – Comparativo de irradiação em pra azimute de 90° e inclinações de 24° e 0° (kWh/m².dia)

Latitude -23,52	Longitude -46,44	Azimute 90°
Meses	Inclinação 24°	Inclinação 1°
Janeiro	5,03	5,18
Fevereiro	5,29	5,48
Março	4,53	4,67
Abril	3,99	4,11
Maio	3,22	3,34
Junho	3,02	3,15
Julho	3,16	3,24
Agosto	3,94	4,12
Setembro	4,03	4,20
Outubro	4,56	4,71
Novembro	4,85	5,05
Dezembro	5,46	5,62
Total:	51,08	52,87

Fonte: Elaborada pelos autores com dados do Software Radasol 2 (2022)

Em suma, no contexto de instalação de módulos fotovoltaicos em telhados, recomenda-se que a inclinação dos módulos acompanhe a inclinação do telhado, desta forma se reduz os efeitos dos esforços ocasionados pela ação do vento (VILLALVA, 2019), visando uma maior segurança estrutural. Vale mencionar que módulos fotovoltaicos instalados com inclinação superior a 10° facilitam a autolimpeza pela ação da chuva (PINHO e GALDINO, 2014).

2.8 Módulo fotovoltaico

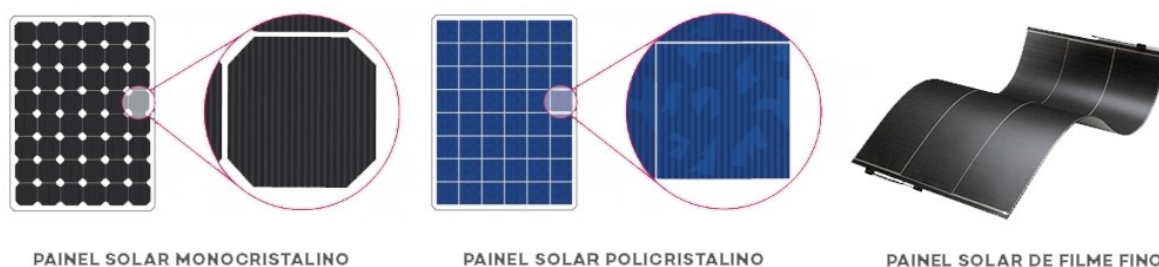
O módulo fotovoltaico é o equipamento responsável por transformar a energia luminosa proveniente do sol em energia elétrica de corrente contínua, que produz energia por meio do efeito fotovoltaico. Os módulos fotovoltaicos do tipo cristalino são compostos por um conjunto de células fotovoltaicas, que por sua vez, são constituídas de material semicondutor sensível a luz, mais comumente sendo o silício, contudo também há a fabricação de módulos fotovoltaicos de outros materiais, como seleneto de cobre e índio, arsenato de gálio e telureto de cádmio (DAGOSTIN, 2021). As células fotovoltaicas são dispostas de maneira que sejam conectadas em série e dispostas em forma de matriz. Vale citar que entre as principais características dos módulos fotovoltaicos estão a geração de energia de maneira renovável e a durabilidade que pode alcançar 30 anos (Enel Green Power, 2022).

Para que possam ser dispostos na área desejada e ter maior eficiência, são utilizadas estruturas para sustentação, que apresentam diferentes configurações de acordo com o tipo de superfície que receberá os módulos. Estas estruturas são essenciais para que os módulos possuam a orientação e angulação mais adequada em relação ao sol, possibilitando maior aproveitamento da incidência solar no período de captação (Enel Green Power, 2022).

A eficiência do módulo é a razão entre a energia elétrica gerada e a energia solar captada na superfície do módulo. Atualmente há a disponibilidade comercial de módulos com valores de eficiência em torno de 20% (Portal Solar, 2022), isto é, apenas esta porcentagem da energia solar que atinge as células solares são realmente convertidas em energia elétrica. Vale ressaltar que a eficiência real do módulo também varia de acordo com o ângulo de azimute, ângulo de inclinação, irradiância local e temperatura (PINHO e GALDINO, 2014). A eficiência dos módulos solares vem aumentando conforme a tecnologia é aprimorada em relação a sensibilidade dos materiais semicondutores presentes nas

células solares (Canal Solar, 2021). Entre as principais tecnologias de módulos fotovoltaicos pode-se citar os painéis monocristalinos, painéis policristalinos e painéis de filme fino, como ilustrados em Figura 5.

Figura 5 – Principais tipos de painéis solares/módulos fotovoltaicos



Fonte: NeoSolar (2022)

2.8.1 Módulo fotovoltaico de silício monocristalino

A tecnologia de células fotovoltaicas monocristalinas é a mais antiga e possui a mais alta eficiência dentre os módulos comerciais (Portal Solar, 2022). Caracterizam-se por serem compostos por células de cor uniforme fabricadas a partir de um único cristal de silício com alto grau de pureza fatiado em *wafers* (Portal Solar, 2022) (NERIS, 2021).

Têm como diferencial sua eficiência superior, encontrando-se comercialmente módulos com eficiência com valores em torno de 18% a 21% (Enel Green Power, 2022). Devido sua maior geração de energia por unidade de área, se destacam por ocuparem menos espaço em relação às demais tecnologias de módulos fotovoltaico. No entanto, vale ressaltar que os módulos desta tecnologia apresentam como desvantagem um custo superior em relação aos módulos de outras tecnologias (Portal Solar, 2022) (NERIS, 2021).

2.8.2 Módulo fotovoltaico de silício policristalino

Os módulos fotovoltaicos policristalinos apresentam como particularidade visual células com aspecto azulado mais brilhante e compostas por cristais de silício dispostos de maneira irregular (Enel Green Power, 2022). Na fabricação das células fotovoltaicas os cristais de silício são fundidos em blocos e posteriormente fatiados, preservando a distribuição distinta entre os múltiplos cristais. (Portal Solar, 2022)

Módulos com esta tecnologia apresentam eficiência em torno de 15% a 17%, valores inferiores à tecnologia de módulos monocristalinos (Enel Green Power, 2022), contudo, tais módulos também tendem a ser mais baratos que os módulos monocristalinos. (Portal Solar 2021)

2.8.3 Módulo fotovoltaico de filme fino

Filme fino é a denominação dada às tecnologias fotovoltaicas que empregam materiais com espessuras da ordem de 1 μm (DAGOSTIN, 2021). Células fotovoltaicas de filme fino são fabricadas por meio da deposição de camadas de filme fotossensível em um substrato, como o vidro, plástico, cerâmica ou metal (DAGOSTIN, 2021). Dentre os materiais mais utilizados para produção dos filmes fotossensíveis estão o silício amorfo hidrogenado, o disseleneto de cobre e índio e o telureto de cádmio (PINHO e GALDINO, 2014).

Dentre a tecnologia de filmes finos, a primeira desenvolvida foi a de silício amorfo, que até então apresentava problemas de estabilidade no seu rendimento e geração de energia,

problema este corrigido posteriormente com o desenvolvimento de células com múltiplas camadas (PINHO e GALDINO, 2014). Como principais vantagens distinguem-se um menor coeficiente de temperatura que as células de silício cristalino, menores perdas de eficiência em baixas irradiâncias e, tendo em vista que as células de filme fino não ficam restritas ao formato quadrilátero das células de silício cristalino, há a possibilidade de serem utilizadas em substratos flexíveis, desta forma possuindo um amplo leque de possibilidades de aplicações em arquitetura ou em equipamentos portáteis (PINHO e GALDINO, 2014).

Vale mencionar que módulos de silício amorfo podem apresentar uma potência inicial entre 115% e 130% superior à nominal, valor este que decresce após sua de instalação, atingindo o valor nominal depois de 6 a 12 meses (PINHO e GALDINO, 2014). Desta forma, os demais equipamentos do sistema fotovoltaico devem ser dimensionados de modo a suportarem esta potência, visando evitar a ocorrência de danos (PINHO e GALDINO, 2014).

Os melhores módulos fotovoltaicos comerciais de silício amorfo atingem eficiências da ordem de 10%, apresentando como desvantagem a necessidade de ocuparem maiores áreas e demandarem maiores custos de mão de obra e material para sua instalação em comparação com os módulos de silício cristalino (PINHO e GALDINO, 2014). As células de telureto de cádmio e cobre-índio-gálio-selênio são as que apresentam maior eficiência dentre as células de filmes finos, 19,0% e 23,4% de eficiência respectivamente (DAGOSTIN, 2021).

2.9 Inversor

O Inversor fotovoltaico, denominado na ABNT NBR 16690 como Unidade de Condicionamento de Potência (UCP), é descrito como “sistema que converte a potência elétrica entregue por um arranjo fotovoltaico na potência elétrica com valores apropriados de frequência e/ou tensão para ser entregue à carga, ou armazenada em uma bateria ou injetada na rede elétrica” (ABNT, 2019). Em síntese, o inversor tem como função fundamental realizar a transformação da corrente contínua dos módulos fotovoltaicos em corrente alternada, possibilitando a utilização da energia gerada pelos aparelhos elétricos da unidade consumidora (BLUESOL, 2017).

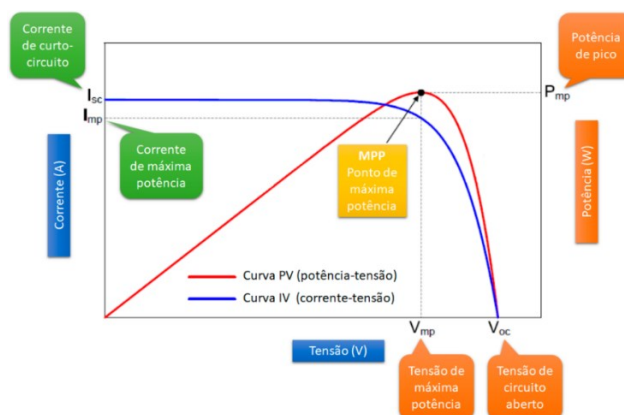
Os inversores podem ser do tipo *on-grid* ou *off-grid*, inversores *on-grid* funcionam conectados e em sincronia com a rede de distribuição de energia, além de possuírem a função anti-ilhamento, que interrompe o fornecimento de energia pelo sistema fotovoltaico em caso de falta de tensão da rede de distribuição. Por outro lado, inversores do tipo *off-grid* não podem ser conectados à rede de distribuição e fornecem corrente alternada aos aparelhos elétricos a partir da energia armazenada em bancos de baterias (BLUESOL, 2017).

Vale ressaltar que modelos de inversores *on-grid* com potência inferior a 10kW devem possuir certificação do INMETRO (INMETRO, 2014) e inversores com potência igual ou superior a 10kW devem estar elencados na lista de inversores homologados pela concessionária de energia local (ENEL, 2022), bem como seguir os requisitos estabelecidos pela IEC 62109-2 (ABNT, 2019).

2.9.1 Tecnologia MPPT/SPMP

Maximum Power Point Tracking (MPPT) ou Seguimento do Ponto de Máxima Potência (SPMP) em português, é descrita na ABNT NBR 10899 como “estratégia de controle utilizada para maximizar a potência fornecida pelo gerador fotovoltaico em função das condições climáticas”. A Figura 6 ilustra o Ponto de máxima potência nas curvas de potência-tensão e corrente-tensão de um módulo fotovoltaico.

Figura 6 – Curvas PV e IV



Fonte: LGL Solar (2022)

A tecnologia MPPT tem como função monitorar e rastrear o Ponto de Máxima Potência do arranjo fotovoltaico, realizando ajustes em tempo real e, deste modo, possibilitar um melhor aproveitamento da energia gerada pelos módulos fotovoltaicos no processo de conversão de corrente contínua para corrente alternada (NEOSOLAR, 2022). Vale destacar a orientação descrita na ABNT NBR 16690 quanto a conexão de módulos fotovoltaicos a um sistema SPMP (ABNT, 2019).

Para reduzir o descasamento de parâmetros (*mismatch*) e melhorar o desempenho do arranjo fotovoltaico, recomenda-se que todos os módulos fotovoltaicos conectados ao mesmo SPMP de uma UCP sejam da mesma tecnologia e que todas as séries tenham o mesmo número de módulos fotovoltaicos conectados em série. Adicionalmente, recomenda-se que todos os módulos conectados ao mesmo SPMP de uma UCP tenham características elétricas similares, incluindo corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto, máxima potência, tensão e corrente de máxima potência e coeficientes de temperatura.

Em suma, se o sistema fotovoltaico possuir arranjos com diferentes angulações, orientações, características ou quantidades de módulos, é necessária a utilização de inversores com múltiplas entradas MPPT, visando o correto monitoramento dos parâmetros de cada arranjo (NERIS, 2021).

2.10 String Box

A *String Box* ou Caixa de Junção em português, é descrita na ABNT NBR 10899 como “invólucro no qual subarranjos fotovoltaicos, séries fotovoltaicas ou módulos fotovoltaicos são conectados em paralelo, e que pode alojar dispositivos de proteção e/o manobra”. Um exemplo comercial de *string box* está exposto na Figura 7.

Figura 7 - String Box



Fonte: PHB Solar (2022)

Este equipamento tem como função fornecer proteção ao trecho em corrente contínua da usina geradora (SOLAR VOLT, 2022) e é composto por invólucro, Dispositivos Seccionadores, Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) e Dispositivos de Proteção contra Sobrecorrente (VINTURINI, 2019).

Uma instalação fotovoltaica está sujeita a situações que podem ocasionar sobretensões, podendo-se mencionar as descargas atmosféricas diretas e correntes induzidas por descargas atmosféricas próximas, portanto, mostra-se necessária a instalação de Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) (ABNT, 2022). O Dispositivo de Proteção contra Surtos instalado na *String Box* deve estar em conformidade com a norma europeia EN 50539-11 ou com a IEC 61643-31, bem como projetado para uso em corrente contínua de sistema fotovoltaico (ABNT, 2019).

Visando assegurar proteção contra sobrecorrente, podem ser instalados fusíveis gPV normatizado na IEC 60269-6 ou disjuntores normatizados na ABNT NBR IEC 60947-2 ou IEC 60898-2 (ABNT, 2019). Cada subarranjo fotovoltaico também deve dispor de dispositivo interruptor-seccionador para prover isolação do inversor, ao qual disjuntores também podem cumprir a função de elemento interruptor-seccionador (ABNT, 2019). Deve ser fixada sinalização em destaque em local adjacente ao dispositivo (ABNT, 2019).

2.11 Regulamentação - ANEEL Nº 482 de 17/04/2012

No ano de 2012 entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL Nº 482 (REN 482) de 17/04/2012 que estabeleceu “as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica”. Sua versão mais atual, possuindo profundas mudanças em relação ao texto original, foi alcançada através das redações realizadas pelas Resoluções Normativas ANEEL Nº 687 de 24/11/2015, Nº 786 de 17/10/2017 e Nº 1000 de 14/12/2021.

Nesta Normativa está definida a diferença entre sistemas de Microgeração distribuída e Minigeração distribuída, sendo:

Microgeração distribuída – Central geradora com potência instalada igual ou inferior a 75kW que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2012).

Minigeração distribuída – Central geradora com potência instalada superior a 75kW e igual ou inferior a 5MW que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2012).

O sistema de compensação é definido na Resolução Normativa ANEEL Nº 482 como “sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa” (ANEEL, 2012), deste modo, possibilita-se posterior compensação do consumo na forma de créditos, com prazo limite de 60 meses para utilização dos créditos (ANEEL, 2012).

As regras estabelecidas pela Resolução Normativa ANEEL Nº 482 encontram-se vigentes para projetos de Micro e Minigeração Distribuição protocolados ou instalados até a data de 07 de janeiro de 2023, a partir desta data aplicam-se as determinações da Lei 14.300 de 6 de janeiro de 2022.

2.12 Marco Legal da Geração Distribuída - Lei 14.300

Tendo em vista que a REN 482 não dispõe de poder de lei, ela apresentava maior facilidade para sofrer alterações, portanto, visando estabelecer um fundamento legal para o cenário da Geração Distribuída, foi publicada em 07 de janeiro de 2022 a Lei 14.300, o Marco Legal da Geração distribuída (BARROS, 2022)

Com a disponibilização da nova lei, novas regras foram definidas no cenário da Geração Distribuída, que entram em vigor após 12 meses de sua publicação. Contudo, vale ressaltar que unidades que já possuem instalados sistemas de geração ou que protocolam solicitação de acesso na distribuidora anteriormente ao fim do prazo de 12 meses após a publicação da Lei 14.300 mantêm-se sob as regras presentes na REN 482, que para estes clientes permanecerá vigente até 31 de dezembro de 2045 (BRASIL, 2022).

Entre as alterações estabelecidas pela Lei 14.300 pode-se citar que a Minigeração Distribuída para as fontes classificadas como não despacháveis, da qual a geração fotovoltaica está inclusa, passam a ter potência instalada máxima de 3MW, em substituição aos 5MW estabelecidos pela REN 482. Com a nova lei também será inibida a possibilidade de cobrança de consumo em duplicidade pela da cobrança de custo de disponibilidade, conforme expresso no Artigo 16 da Lei 14.300:

Art. 16. Para fins de compensação, a energia injetada, o excedente de energia ou o crédito de energia devem ser utilizados até o limite em que o valor em moeda relativo ao faturamento da unidade consumidora seja maior ou igual ao valor mínimo faturável da energia estabelecido na regulamentação vigente.

Portanto, sob a nova legislação, o máximo que as concessionárias poderão deduzir dos créditos de energia do cliente será a diferença entre o consumo e o custo de disponibilidade. Desta forma, o cliente não terá seus créditos de energia descontados para compensação do consumo que já será cobrado através custo de disponibilidade e, conseqüentemente, os créditos excedentes ficarão reservados para compensação de consumo de meses futuros (BRASIL, 2022).

Vale destacar que entre as mudanças mais notáveis que serão implantadas com a vigência da nova lei para os clientes que protocolarem a solicitação de acesso na distribuidora após a data de 7 de janeiro de 2023 está a cobrança do TUSD Fio B (BRASIL, 2022). A TUSD Fio B é descrita no Submódulo 7.1 - Procedimentos Gerais do PRORET (ANEEL, 2022) como:

TUSD FIO B – formada por custos regulatórios pelo uso de ativos de propriedade da própria distribuidora que compõem a Parcela B, compreendida por:

- i) custo anual dos ativos (CAA);
- ii) custo de administração, operação e manutenção (CAOM)

Será realizada a cobrança de uma porcentagem do valor da Tarifa, que progredirá anualmente até o ano de 2028, em 2029 as unidades consumidoras com microgeração distribuída estarão sujeitas às regras tarifárias estabelecidas pela Aneel, conforme apresentado na Tabela 2 (BRASIL, 2022).

Tabela 2 – Percentual progressivo de cobrança do TUSD Fio B

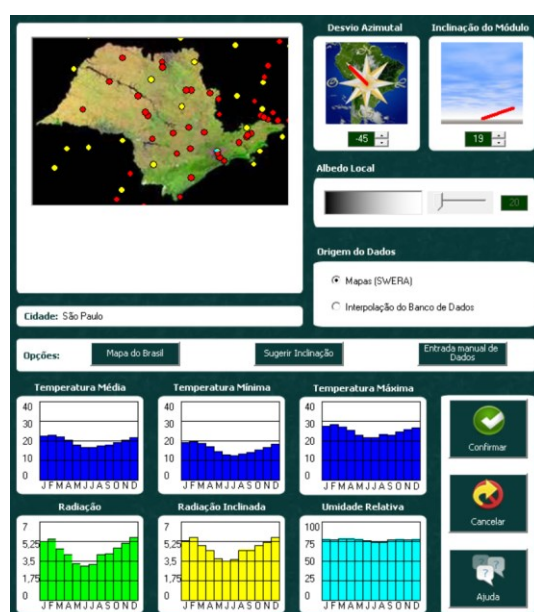
Ano	Percentual de cobrança do TUSD Fio B
2023	15%
2024	30%
2025	45%
2026	60%
2027	75%
2028	90%
2029	Regras tarifárias a serem estabelecidas pela Aneel

Fonte: Elaborada pelos autores conforme Lei 14.300 Art. 27 (2022)

2.13 Radasol 2

Radasol 2 é um *software* elaborado pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul com o intuito de executar o elevado número de operações matemáticas necessárias para o cálculo da intensidade de radiação solar em superfícies inclinadas. A interface do *software* está apresentada na Figura 8 (LABSOL UFRGS, 2022).

Figura 8 - Interface do Software Radasol 2



Fonte: *Software* Radasol 2 (2022)

O software realiza a estimativa de irradiação solar média mensal inclinada, dividida em global direta e difusa, para os módulos fotovoltaicos conforme seu posicionamento e inclinação por meio dos dados definidos e inseridos pelo usuário de: localização, média mensal de irradiação solar diária no plano horizontal, ângulo azimutal e ângulo de inclinação.

Apesar de já possuir incluso um banco de dados com dados médios mensais de irradiação solar, é recomendado, pelo próprio Software, que estes dados sejam utilizados apenas para o caso de o usuário não possuir dados meteorológicos confiáveis referentes à localidade estudada. Deste modo, neste estudo o programa Radasol foi utilizado juntamente com dados meteorológicos fornecidos pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição (LABSOL UFRGS, 2022).

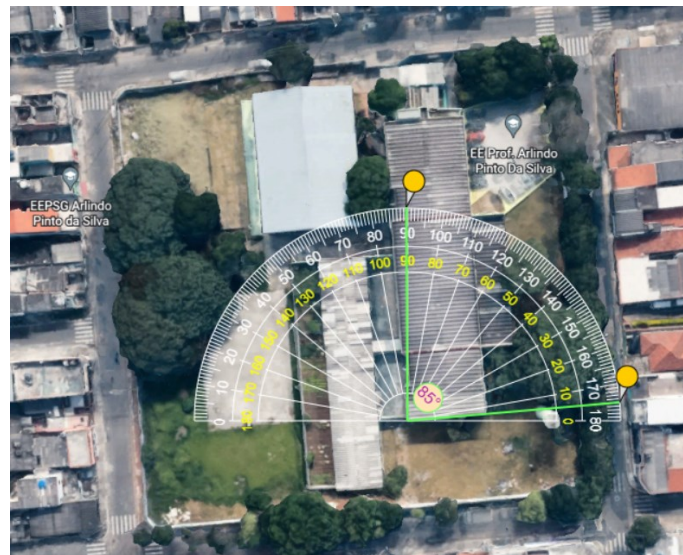
3. Metodologia

Para realização do estudo escolheu-se como prédio de referência a Escola Estadual Professor Arlindo Pinto da Silva, localizada na Zona Leste do município de São Paulo, e autorizada menção neste projeto pela Direção da unidade e pela Diretoria Regional de

Ensino, conforme Anexo A. Este prédio foi selecionado por apresentar características favoráveis a este projeto, sendo elas: grande área de cobertura sob irradiação solar disponível, baixo sombreamento por prédios próximos e, tendo em vista que o imóvel possui dois pavimentos, encontra-se acima do sombreamento ocasionado pelas árvores circundantes.

Analisando a cobertura da unidade escolar pôde-se constatar que o ângulo de azimuth é de 85° a leste para uma água do telhado, conforme demonstrado na Figura 9 e, deste modo, -95° a oeste para a outra água da cobertura, por estar a 180° da primeira.

Figura 9 - Indicação de ângulo de azimuth da cobertura

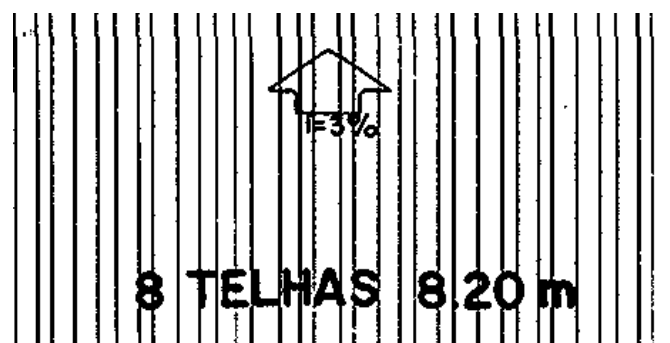


Fonte: Adaptado de imagem do *Software* Google Earth (2022)

Para determinação do ângulo de inclinação ao qual os módulos estarão fixados analisou-se a documentação de cobertura da edificação, inclusa no Anexo B. Os módulos fotovoltaicos acompanharão a mesma inclinação da estrutura da cobertura, sendo a inclinação dos módulos um dos fatores determinantes para a estimativa de irradiação solar média recebida e da quantidade de módulos fotovoltaicos previstos.

Constatou-se em detalhe da planta de cobertura da unidade escolar, apresentada na Figura 10, que o telhado possui inclinação de 3%, que convertido para graus representa aproximadamente $1,7^\circ$ de inclinação.

Figura 10 - Detalhe da planta de cobertura



Fonte: Adaptado do Arquivo FDE (2022)

Fazendo uso do *Software* Radiasol 2, em conjunto com os dados de irradiação solar fornecidos pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar, foi obtida a irradiação solar média

considerando ângulo de inclinação de 1° e os azimutes referentes à configuração do telhado. Como apresentado na Tabela 3, as irradiações médias para as duas águas do telhado não denotam diferença considerável, logo, módulos fotovoltaicos instalados em ambas as orientações apresentarão geração similar.

Tabela 3 - Irradiação média no plano em 1° de inclinação (kWh/m².dia)

Mês	Azimute 85°	Azimute -95°
Janeiro	5,19	5,18
Fevereiro	5,47	5,48
Março	4,67	4,67
Abril	4,11	4,11
Maio	3,35	3,34
Junho	3,15	3,14
Julho	3,24	3,24
Agosto	4,12	4,12
Setembro	4,2	4,2
Outubro	4,71	4,7
Novembro	5,04	5,05
Dezembro	5,62	5,62
Irradiação média no plano inclinado:	4,41	4,40

Fonte: Elaborada pelos autores com dados do Software Radiasol 2 (2022)

Tendo em vista a ocorrência da pandemia de COVID-19 que afetou o Brasil a partir de 2020 e que ocasionou registros atípicos de consumo de energia elétrica das unidades escolares, utilizou-se para cálculo de compensação de energia elétrica o histórico de consumo anterior a este período, no caso, referente aos meses de janeiro a dezembro de 2019 com dados extraídos da fatura de energia da unidade, inclusa em Anexo C. Conforme apresentado na Tabela 4 a unidade escolar possui um consumo mensal médio de 2.705 kWh.

Tabela 4 – Consumo mensal da unidade escolar

Mês/Ano	Consumo (kWh)
jan/19	907
fev/19	2561
mar/19	2801
abr/19	3221
mai/19	3470
jun/19	3444
jul/19	1097
ago/19	3269
set/19	3703
out/19	3247
nov/19	3161
dez/19	1574
Consumo mensal médio:	2705

Fonte: Elaborada pelos autores com dados de fatura da concessionária ENEL (2022)

Considerando a aplicação do custo de disponibilidade, custo este que estipula o mínimo a ser faturado do consumidor, subtrairemos esta quantia da geração mensal necessária. A unidade escolar possui fornecimento trifásico, portanto, de acordo com Artigo 291 da Resolução Normativa ANEEL Nº 1.000 de 2021, o custo de disponibilidade será o equivalente ao consumo de 100kWh mensais, logo, a geração média mensal deverá ser de 2.605 kWh. A geração média diária necessária (G_{nec}) será de 85.630,14 Wh, obtida pela soma dos consumos mensais, já subtraído 100kWh referente ao custo de disponibilidade, dividida pelos 365 dias do ano.

Neste projeto o módulo fotovoltaico utilizado como referência foi o modelo JKM460M-60HL4-V da fabricante Jinko Solar, com especificações apresentadas na Figura 11. O módulo selecionado apresenta potência máxima de 460Wp em *STC*. Tendo em vista que a potência obtida sob condições controladas não representa a potência que o módulo apresentará estando exposto às condições de ambiente reais, deve-se calcular a variação ocasionada pela diferença de temperatura do módulo.

Figura 11 – Especificações do módulo JKM460M-60HL4-V

SPECIFICATIONS		
Module Type	JKM460M-60HL4 JKM460M-60HL4-V	
	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	460Wp	342Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	34.20V	32.07V
Maximum Power Current (Imp)	13.45A	10.67A
Open-circuit Voltage (Voc)	41.48V	39.15V
Short-circuit Current (Isc)	14.01A	11.32A
Module Efficiency STC (%)	21.32%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C	
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)	
Maximum series fuse rating	25A	
Power tolerance	0~+3%	
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C	
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C	
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C	
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C	

*STC:  Irradiance 1000W/m²  Cell Temperature 25°C  AM=1.5
 NOCT:  Irradiance 800W/m²  Ambient Temperature 20°C  AM=1.5  Wind Speed 1m/s

Fonte: Adaptado de Jinko Solar (2020)

Para estimar a temperatura dos módulos fotovoltaicos inicialmente calcula-se o Coeficiente Térmico para o módulo, que indica quanto da temperatura do módulo fotovoltaico aumentará para cada unidade de irradiância solar, sendo definido pela divisão da diferença entre a *NOCT* (*Nominal Operating Cell Temperature*) e a Temperatura Ambiente em condições *NOCT* (*Ambient Temperature NOCT*) pela irradiância em *NOCT* (PINHO e GALDINO, 2014), conforme expressa na Equação 1.

$$K_t = \frac{NOCT - AT_{NOCT}}{I_{NOCT}} \quad (1)$$

Onde:

K_t corresponde ao Coeficiente Térmico para o módulo (°C/W.m⁻²)

$NOCT$: *Nominal Operating Cell Temperature* (°C)

AT_{NOCT} : *Ambient Temperature NOCT* (°C)

I_{NOCT} : *Irradiance NOCT* (W/m²)

Utilizando o coeficiente térmico é possível calcular a temperatura de operação do módulo fotovoltaico, obtido pela soma entre a temperatura ambiente do local de instalação do sistema fotovoltaico e o produto do coeficiente térmico pela irradiância, conforme Equação 2 (PINHO e GALDINO, 2014).

$$T_{mod} = T_{amb} + Kt \cdot ISTC \quad (2)$$

Onde:

T_{mod} : Temperatura do módulo (°C)

T_{amb} : Temperatura ambiente (°C)

$ISTC$: Irradiância *STC* (W/m²)

Para obtenção da Potência Prevista do módulo fotovoltaico utiliza-se a Potência Máxima (*Maximum Power*) em *STC* e o Coeficiente de Variação da Potência Máxima com a Temperatura do módulo (*Temperature Coefficients of Pmax*), fornecido pela fabricante. Também será empregado o ΔT , sendo ele a diferença entre a Temperatura do Módulo Calculada (T_{mod}) e a Temperatura de Célula (*Cell Temperature*) em *STC*, este último apresentando o valor padronizado de 25°C. O procedimento descrito está exposto na Equação 3 (PINHO e GALDINO, 2014).

$$P_{prev} = P_{max} \cdot \left(1 - \frac{Kt_{Pmax} \cdot \Delta T}{100} \right) \quad (3)$$

Onde:

P_{prev} : Potência Prevista do módulo fotovoltaico (W)

P_{max} : *Maximum Power STC* (W)

Kt_{Pmax} : *Temperature Coefficients of Pmax* (%/°C)

ΔT : Diferença entre T_{mod} e *Cell Temperature STC* (°C)

Para realizar o dimensionamento da quantidade de módulos fotovoltaicos necessários, determina-se o HSP (Hora de Sol Pleno), valor que representa a irradiação local por dia como o equivalente em horas de 1000W/m² de irradiação, definido pela divisão da irradiação solar diária média pela irradiação *STC* (*Standard Test Conditions*), conforme Equação 4.

$$HSP = \frac{ISDM}{ISTC} \quad (4)$$

Onde:

HSP: Hora de Sol Pleno (h)

ISDM: Irradiação Solar Diária Média (Wh/m²)

Utilizando-se a Potência Prevista e o HSP é possível se obter a Geração de energia diária média por módulo, conforme expresso na Equação 5.

$$G_{mod} = P_{prev} \cdot HSP \quad (5)$$

Onde:

G_{mod} : Geração de energia diária média por módulo fotovoltaico (Wh)

Com a geração diária por módulo fotovoltaico, geração necessária por dia e a eficiência do sistema fotovoltaico é calculada a quantidade de módulos necessários para atendimento da unidade escolar.

$$N_{mods} = \frac{G_{nec}}{G_{mod} \cdot \eta} \quad (6)$$

Onde:

G_{nec} : Geração necessária por dia (Wh)

N_{mods} : Número de módulos

G_{mod} : Geração diária de energia por módulo fotovoltaico (Wh)

η : Eficiência do sistema fotovoltaico

Visando selecionar o inversor (UCP) adequado para o sistema dimensionado deve-se considerar que o modelo do equipamento deverá suportar a potência instalada dos módulos fotovoltaicos. Ademais deve-se levar em consideração que, conforme Anexo C, a unidade escolar possui fornecimento trifásico, logo, o inversor deve também possuir saída trifásica, visando evitar desbalanceamento de fases.

Para definição da organização dos módulos em *Strings*, e consequentemente suas tensões máximas e mínimas, deve-se calcular as Tensões de Circuito Aberto (*Open-circuit Voltage*) nos cenários de temperatura máxima e mínima. Através do procedimento anteriormente exposto na Equação 2 pode-se obter a temperatura do módulo fotovoltaico para os cenários determinados. Para obtenção das Tensões de Circuito Aberto nas temperaturas mencionadas, utiliza-se procedimento exposto na Equação 7.

$$V_{oc_{prev}} = V_{oc} \cdot \left(1 - \frac{Kt_{Voc} \cdot \Delta T}{100}\right) \quad (7)$$

Onde:

$V_{oc_{prev}}$: *Open-circuit Voltage* prevista (V)

V_{oc} : *Open-circuit Voltage* STC (V)

Kt_{Voc} : *Temperature Coefficients of Voc* (%/°C)

ΔT : Diferença entre Temperatura Máxima ou Mínima e *Cell Temperature* STC (°C)

Para a determinação da quantidade de módulos por série fotovoltaica (*string*), deve-se considerar que os módulos deverão estar organizados de tal forma que a tensão da série esteja dentro da Faixa de tensão de *MPPT*, como especificado pela fabricante. O número de módulos em série é previsto conforme Equação 8 (PINHO e GALDINO, 2014).

$$\frac{V_{MPPT_{mín}}}{V_{oc_{Tmáx}}} < N_{ms} < \frac{V_{MPPT_{máx}}}{V_{oc_{Tmín}}} \quad (8)$$

Onde:

$V_{MPPT_{mín}}$: Tensão mínima da entrada MPPT (V)

$V_{MPPT_{máx}}$: Tensão máxima da entrada MPPT (V)

$V_{oc_{Tmáx}}$: Tensão de circuito aberto em temperatura máxima (V)

$V_{oc_{Tmín}}$: Tensão de circuito aberto em temperatura mínima (V)

N_{ms} : Número de módulos em série

Tendo como base o Número de módulos a serem instalados e o intervalo entre quantidade mínima e máxima de módulos por série, deve-se organizá-los de modo que as séries de módulos estejam adequadamente distribuídos entre as entradas do inversor. Vale ressaltar que os cabos para uso em instalações fotovoltaicas de corrente contínua devem seguir os requisitos especificados pela ABNT NBR 16612.

Como estabelecido na Norma ABNT NBR 16690, deve ser prevista proteção contra sobrecorrentes para subarranjos fotovoltaicos se “mais de dois subarranjos fotovoltaicos estiverem ligados a uma única UCP”. A mesma Norma também estipula que os dispositivos de proteção contra sobrecorrente devem atender a condição apresentada na Equação 9 (ABNT, 2019).

$$1,25 \cdot I_{SC\ S-ARRANJO} < I_n < 2,4 \cdot I_{SC\ S-ARRANJO} \quad (9)$$

Onde: $I_{SC\ S-ARRANJO}$: Corrente de curto-circuito em *STC* do subarranjo (A)

I_n : Corrente Nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente (A)

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente de subarranjos fotovoltaicos “deve estar instalado onde os cabos dos subarranjos fotovoltaicos se conectam para formar o cabo do arranjo fotovoltaico, na caixa de junção” (ABNT, 2019)

Para dimensionamento do sistema de proteção em corrente alternada aplicam-se as definições estabelecidas pela ABNT NBR 5410.

4.Resultados e Discussão

Para dimensionamento do sistema fotovoltaico proposto primeiramente seguiu-se o procedimento exposto na Equação 1, obtendo-se o Coeficiente Térmico para o módulo com valor de $0,03125\ ^\circ\text{C}/\text{W}\cdot\text{m}^2$.

$$K_t = \frac{45 - 20}{800} = 0,03125\ ^\circ\text{C}/\text{W}\cdot\text{m}^2$$

Utilizou-se o Coeficiente Térmico para obtenção da temperatura do módulo na condição de temperatura ambiente média e irradiância de $1000\text{W}/\text{m}^2$. Adotou-se $20,4^\circ\text{C}$ como temperatura média da cidade de São Paulo, conforme dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020). Aplicando a Equação 2, foi alcançada a temperatura do módulo de $51,65^\circ\text{C}$.

$$T_{mod} = 20,4 + 0,03125 \cdot 1000 = 51,65\ ^\circ\text{C}$$

Para se determinar a Potência Prevista utilizou-se a *Maximum Power STC* de 460Wp e *Temperature Coefficients of Pmax* com valor e $-0,35\%/^\circ\text{C}$, como especificados na Figura 11 para o módulo de referência. Aplicando a Equação 3 estima-se que o módulo terá potência máxima de $417,08\text{W}$ sob efeito da temperatura local, ou seja, $90,67\%$ da Potência Máxima fornecida nas especificações do módulo.

$$P_{prev} = 460 \cdot \left(1 - \frac{0,35 \cdot (51,65 - 25)}{100}\right) = 460 \cdot 0,9067 = 417,08\ \text{W}$$

Para a irradiação média diária de $4,4\text{kWh}/\text{m}^2$, conforme apresentado em Tabela 3, aplicando a Equação 4 obteve-se o valor HSP de $4,4\text{h}$.

$$\frac{4400\text{Wh}/\text{m}^2}{1000\text{W}/\text{m}^2} = 4,4\text{h}$$

Utilizando-se dos dados anteriormente obtidos, obteve-se a Geração de energia diária média por módulo de $1835,15\text{Wh}$, empregando a Equação 5.

$$G_{mod} = 417,08 \cdot 4,4 = 1835,15\ \text{Wh}$$

Para determinação da quantidade necessária de módulos fotovoltaicos deve ser levada em conta a eficiência do sistema fotovoltaico. Tendo em vista que as perdas de potência dos módulos por efeito da temperatura já foram previamente observadas, que as perdas por sombreamento no local são consideradas desprezíveis, e que as perdas por efeito Joule também são consideradas desprezíveis devido à proximidade da instalação ao Quadro Geral de Luz e Força, neste projeto foram consideradas apenas as perdas ocasionadas pelo funcionamento do equipamento inversor. Aplicando a Equação 6, primeiramente será calculada a quantidade de módulos sem levar em conta as perdas, deste modo identifica-se a linha de inversores comerciais adequada.

$$N_{mods} = \frac{85630,14}{1835,15 \cdot 1} = 46,66 \approx 47 \text{ módulos}$$

Considerando 47 módulos de 460Wp, a máxima potência fotovoltaica instalada é de 21.620W, potência esta que deve ser suportada pelo inversor selecionado. Tendo em conta tais requisitos, entende-se que o inversor adequado poderá ser encontrado na linha Growatt MID 10-20KTL3-XL, linha comercial de inversores do qual os modelos inclusos suportam uma máxima potência fotovoltaica instalada na faixa entre 15000W e 30000W. Tendo em vista que os inversores desta linha possuem eficiência máxima de 98%, o número de módulos e a potência instalada serão reavaliados considerando este dado, aplicando novamente a Equação 6.

$$N_{mods} = \frac{85630,14}{1835,15 \cdot 0,98} = 47,61 \approx 48 \text{ módulos}$$

A máxima potência fotovoltaica instalada para os 48 módulos de 460Wp é de 22.080W, observa-se que inversor Growatt MID 15KTL3-XL é compatível pois, possui saída trifásica com tensão entre fase e neutro de 127V, comporta a potência fotovoltaica máxima de 22.500W, conforme especificações do equipamento apresentadas na Figura 12, além de estar incluso na lista de inversores homologados pela concessionária de energia local (ENEL, 2022).

Figura 12 – Especificações do inversor MID 15KTL3-XL

Ficha de dados	MID 15KTL3-XL
Dados de entrada	
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para o módulo STC)	22500W
Máxima tensão CC	1100V
Tensão de partida	250V
Tensão nominal	360V
Faixa de tensão MPPT	200-850V
Número de MPP trackers	4
Número de Strings por MPP tracker	2/2/2/2
Máxima corrente de entrada por MPP tracker	26A/26A/26A/26A
Máxima corrente de curto-circuito por MPP tracker	32A/32A/32A/32A
Saída	
Máxima potência nominal CA	15000W
Máxima potência aparente CA	16600VA
Tensão nominal CA	220V/101.6-139.7V
Frequência da rede CA	50/60 Hz, 46~54/56-64 Hz
Máxima corrente de saída	43.7A
Fator ajustável de potência	0.8leading...0.8lagging
THDI	< 3%
Tipo de conexão da rede CA	3W+N+PE
Eficiência	
Máxima eficiência	98.00%

Fonte: Adaptado de Growatt (2022)

Visando dimensionar as *strings* para conexão do inversor, foram consideradas as máximas tensões ao qual as entradas MPPT do inversor estarão submetidas, para isso foi calculada a variação da Tensão de circuito aberto dos módulos em decorrência dos extremos de temperatura no local.

Conforme dados do INMET, a cidade de São Paulo possui a temperatura máxima média de 29°C e mínima média de 12,8°C, respectivamente nos meses de fevereiro e julho (INMET, 2020). Foi estabelecida como Temperatura Mínima do Módulo a própria Temperatura Ambiente Mínima de 12,8°C. Como Temperatura Máxima do Módulo foi considerada a Temperatura Ambiente Máxima somada à diferença de temperatura ocasionada pela incidência da irradiância solar, aplicando o procedimento apresentado na Equação 2 foi obtido o valor de 60,25°C.

$$T_{mod_{mín}} = 12,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{mod_{máx}} = 29 + 0,03125 \cdot 1000 = 60,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Utilizou-se o Coeficiente de Variação da Tensão de Circuito Aberto com a Temperatura de -0,28%/°C, como apontado na Figura 11, para obtenção das Tensões de Circuito Aberto para a Temperatura Mínima de 12,8°C e Máxima de 60,25°C dos módulos fotovoltaicos, aplicou-se a Equação 7, sendo 42,9V e 37,39V respectivamente.

$$V_{oc_{T_{mín}}} = V_{oc} \cdot \left(1 - \frac{0,28 \cdot (12,8 - 25)}{100}\right) = 41,48 \cdot 1,03416 = 42,9V$$

$$V_{oc_{T_{máx}}} = V_{oc} \cdot \left(1 - \frac{0,28 \cdot (60,25 - 25)}{100}\right) = 41,48 \cdot 0,9013 = 37,39V$$

Tendo em mãos os dados de Tensões de Circuito Aberto, e Faixa de Tensão *MPPT* conforme Figura 12, obteve-se o intervalo de módulos fotovoltaicos por *string*, conforme procedimento exposto na Equação 8.

$$\frac{200V}{37,39} < N_{ms} < \frac{850V}{42,9}$$

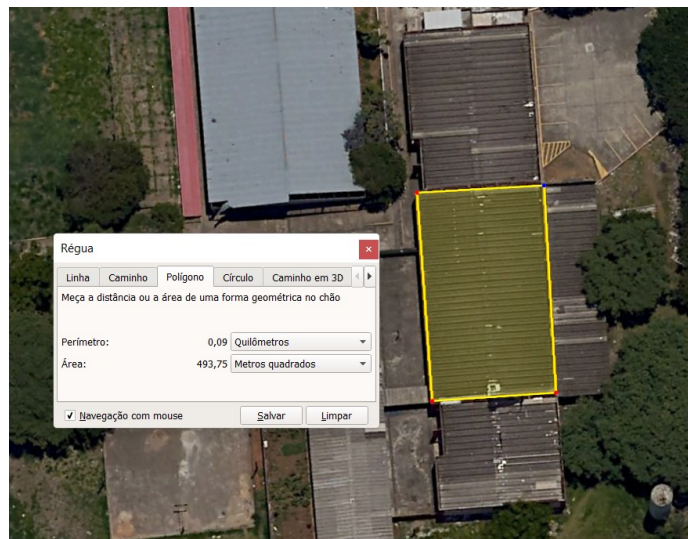
$$5,35 < N_{ms} < 19,81$$

$$6 < N_{ms} < 19$$

Levando em conta a previsão de 48 módulos, a quantidade de módulos por série limitada entre 6 e 19, e que o inversor de referência possui 4 entradas *MPPT*, optou-se pelo dimensionamento de 4 *strings*, cada uma composta por 12 módulos em série.

Tendo em vista que, conforme especificações do módulo fotovoltaico, cada painel possui dimensões de 1903mm por 1134mm, resultando em uma área de aproximadamente 2,12m², para disposição dos 48 módulos no telhado seria necessária uma área de aproximadamente 101,7 m². Conforme demonstrado na Figura 13, essa área está plenamente disponível, tendo em vista que o trecho destacado da cobertura já apresenta área superior à necessária.

Figura 13 – Localização para instalação dos módulos fotovoltaicos



Fonte: Software Google Earth (2022)

Para escolha do dispositivo de proteção contra sobretensões para cada *string*, considerando que não há paralelismo entre *strings*, a corrente de curto-circuito de cada subarranjo será a mesma de um único módulo. Portanto, aplicou-se a Equação 9 para encontrar o intervalo ao qual a corrente nominal do dispositivo de proteção contra sobretensões deve estar inserida.

$$1,25 \cdot 14,01 < I_n < 2,4 \cdot 14,01$$

$$17,51A < I_n < 33,62A$$

Isto posto, optou-se pelo disjuntor para corrente contínua de 25A da linha ADDB7-63 ADELS, sendo previsto um disjuntor para cada subarranjo.

Visando estabelecer a proteção contra surtos, primeiramente obteve-se a máxima tensão por *string*, sendo alcançado o valor de 514,8V, uma vez que para cada *string* encontram-se 12 módulos em série, com tensão máxima de 42,9V cada. Isto posto, selecionou-se o DPS Clamper Solar 600, tratando-se de um dispositivo que suporta uma tensão máxima de operação de 600V e produzido para proteção de sistemas fotovoltaicos em corrente contínua, estando em conformidade com a EM 50539-11. Vale ressaltar que é necessária a instalação de um DPS para cada subarranjo fotovoltaico.

5. Considerações Finais

No presente estudo foi objetivada a análise de viabilidade técnica e dimensionamento do sistema fotovoltaico necessário para compensação do consumo de uma unidade escolar, analisando as características geográficas e meteorológicas locais, visando colaboração com a diversificação da matriz energética nacional. Fazendo uso de imagens de satélites, documentação arquitetônica do imóvel e estudos de irradiação solar foi possível definir a área disponível para instalação de módulos fotovoltaicos no local, bem como estimar a irradiação local, levando em consideração características como orientação e inclinação, às quais os módulos fotovoltaicos estariam sujeitos.

Através da fatura de energia da unidade escolar, analisou-se os dados referentes ao histórico de consumo no ano 2019 e, conseqüentemente, foi possível estipular a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários para compensação da energia elétrica consumida

pela unidade escolar. Por meio dos dados alcançados através de cálculos e análises foi possível selecionar o inversor adequado para o arranjo fotovoltaico dimensionado.

Seguindo as Normas Brasileiras dimensionou-se o sistema de proteção para, utilizando dispositivos de proteção adequados, proteger as instalações elétricas e o sistema fotovoltaico na ocorrência de surtos, curtos-circuitos ou sobrecargas no sistema.

Conclui-se com o estudo elaborado um parecer favorável quanto a viabilidade de instalação de sistema fotovoltaico para a unidade escolar. Deste modo, desde que estando presente as características geográficas e meteorológicas favoráveis, fica exposta a praticabilidade do aproveitamento das coberturas de unidades escolares para geração de energia elétrica, havendo uma ampla disponibilidade de imóveis escolares para potencial estudo de execução de Micro e Minigeração Distribuída no âmbito estadual.

6. Trabalhos Futuros

O presente projeto serve como ponto de partida para futuros projetos que poderão analisar certos aspectos não explorados neste trabalho, como:

- Estudo de retorno financeiro no tempo (*Payback*), especialmente sob as novas condições tarifárias estabelecidas pela Lei 14.300;
- Análise comparativa com módulos fotovoltaicos de diferentes modelos, fabricantes e tecnologias;
- Estudo com inversores de outros modelos e fabricantes, especialmente Microinversores;
- Análise comparativa entre o dimensionamento fotovoltaico por métodos manuais e por meio de *softwares* de simulação.

7. Referências Bibliográficas

ADELS, **ADDB7-63 / Mini Disjuntor PV**. Disponível em: <<http://pt.adels-solar.com/addb7-63pv-mini-circuit-breaker-product/>> Acesso em: 26 nov. 2022.

ALDO COMPONENTES ELETRÔNICOS, **Esclarecemos as dúvidas: saiba tudo sobre a string box**. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/blog/saiba-tudo-sobre-a-string-box/>> Acesso em: 15 nov. 2022.

ANEEL, **Cadernos Temáticos ANEEL Micro e Minigeração Distribuída Sistema de Compensação de Energia Elétrica 2ª edição**. Disponível em: <<https://biblioteca.aneel.gov.br/Busca/Download?codigoArquivo=178813>> Acesso em: 07 set. 2022.

ANEEL, **Geração Distribuída**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>> Acesso em: 12 nov. 2022.

ANEEL, **Módulo 7: Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição Submódulo 7.1 PROCEDIMENTOS GERAIS Versão 2.6** Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren20221008_Proret_Submod_7_1_V2_6.pdf> Acesso em: 15 nov. 2022.

ANEEL, **Regras e Procedimentos de Distribuição (Prodist)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>> Acesso em: 15 nov. 2022.

ANEEL, **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em: 07 set. 2022.

ANEEL, **RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>> Acesso em: 15 set. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10899**: Energia solar fotovoltaica - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16149**: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16690**: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 61643-32**: Dispositivos de proteção contra surtos de baixa tensão Parte 32: DPS conectado no lado corrente contínua das instalações fotovoltaicas – Princípios de seleção e aplicação. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BARROS, L. **Marco legal da geração distribuída - Lei Nº 14.300/2022**. Disponível em: <<https://analise.com/dna/artigos/8766>> Acesso em: 08 nov. 2022.

BLUESOL, **Inversor Solar Fotovoltaico: o que é, como funciona e tipos**. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/inversor-fotovoltaico-o-que-e-como-funciona/>> Acesso em: 26 nov. 2022.

BRASIL. Lei Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, seção 1, Brasília, DF, ano 160, n. 5, p. 4-6, 7 jan. 2022.

CLAMPER, **CLAMPER Solar 600V 40kA** Disponível em: <<https://www.lojaclamper.com.br/dps-clamper-solar-600/p>> Acesso em: 26 nov. 2022.

DAGOSTIN, C. S. **ESTIMATIVA DA DISTRIBUIÇÃO ESPECTRAL DA RADIAÇÃO SOLAR PARA CONVERSÃO FOTOVOLTAICA EM PORTO ALEGRE**. Porto Alegre, 2021. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande Do Sul.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2022**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf> Acesso em: 07 set. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>> Acesso em: 07 set. 2022.

ENEL, **Lista Inversores Analisados e Aceitos. Versão no. 91** Disponível em: <https://www.enel.com.br/content/dam/enel-br/megamenu/corporativo-e-governo/gera%C3%A7%C3%A3o-distribu%C3%ADda/11/Lista-de-Inversores_Rev-91-08-11-22.pdf> Acesso em: 14 nov. 2022.

ENEL GREEN POWER, **Módulo fotovoltaico | Enel Green Power**. Disponível em: <<https://www.enelgreenpower.com/pt/learning-hub/energias-renoveveis/energia-solar/modulo-fotovoltaico>> Acesso em: 12 out. 2022.

ESCOLA DE ENGENHARIA UFRGS, **LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR – LABSOL**. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/labsol/download/>> Acesso em: 10 set. 2022.

ESTRATÉGIA ODS, **Conheça os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://www.estrategiaods.org.br/conheca-os-ods/>> Acesso em: 15 set. 2022.

GROWATT, **MID 10-20KTL3-XL - Inversores comerciais para telhados - Growatt**. Disponível em: <<https://www.ginverter.pt/show-41-648.html>> Acesso em: 07 nov. 2022.

INMETRO, **Portaria n.º 357, de 01 de agosto de 2014**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac002145.pdf>> Acesso em: 17 nov. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, **NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>> Acesso em: 12 out. 2022.

JESUS, M. S. **USO DA ENERGIA SOLAR: O CASO DO PROJETO DE MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UMA IFES**. São Francisco do Conde, 2018. Monografia (especialização) – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

JINKO SOLAR, **Tiger Pro 60HC 440-460 Watt**. Disponível em: <[https://www.jinkosolar.com/uploads/JKM440-460M-60HL4-\(V\)-F1-EN.pdf](https://www.jinkosolar.com/uploads/JKM440-460M-60HL4-(V)-F1-EN.pdf)> Acesso em: 12 out. 2022.

LABORATÓRIO DE MODELAGEM E ESTUDOS DE RECURSOS RENOVÁVEIS DE ENERGIA, **Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição (2017)**. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html> Acesso em: 11 set. 2022.

LGL SOLAR, **As curvas IV e PV dos módulos fotovoltaicos**. Disponível em: <<https://lglsolar.com.br/curvas-iv-e-pv-dos-modulos-fotovoltaicos/>> Acesso em: 26 nov. 2022.

LIMA A. A.; *et al.* Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL, **Sustainable Development Goal 7: Energia limpa e acessível | As Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>> Acesso em: 07 set. 2022.

NEOSOLAR, **O QUE SÃO MPPT E MLPE NO INVERSOR SOLAR**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/microinversor/tecnologia-mppt-mlpe-otimizacao-inversor-solar#o-que-e-mppt-como-funciona>> Acesso em: 25 nov. 2022.

NEOSOLAR, **PLACA SOLAR FOTOVOLTAICA: TUDO SOBRE**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/placa-solar-fotovoltaica>> Acesso em: 21 nov. 2022.

NERIS, A. **Entenda o que é MPPT e sua importância**. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/blog/o-que-e-mppt-e-sua-importancia/>> Acesso em: 25 nov. 2022.

NERIS, A. **O que são painéis monocristalinos e quais são suas vantagens?** Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/blog/o-que-sao-paineis-monocristalinos-e-quais-sao-suas-vantagens/>> Acesso em: 24 nov. 2022.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/manual_de_engenharia_fv_2014.pdf> Acesso em: 14 set. 2022.

PLANA-FATTORI, A.; CEBALLOS, J. C., **Glossário de Termos Técnicos em Radiação Atmosférica** - versão 2.0 Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao/glossar/gloss_fo.htm> Acesso em: 30 out. 2022.

PORTAL SOLAR, **História e origem da Energia Solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/historia-e-origem-da-energia-solar>> Acesso em: 12 nov. 2022.

PORTAL SOLAR, **Sistema Solar On Grid (Conectado à Rede)**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/sistema-solar-conectado-a-rede-on-grid>> Acesso em: 12 nov. 2022.

PORTAL SOLAR, **Tipos de Pannel Solar Fotovoltaico**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-pannel-solar-fotovoltaico.html>> Acesso em: 30 set. 2022.

PORTAL SOLAR, **Vantagens e desvantagens do pannel solar de filme fino**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-do-pannel-solar-de-filme-fino>> Acesso em: 26 nov. 2022.

SECRETARIA DA EDUCAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Cadastro de Escolas – Downloads**. Disponível em: <<http://www.educacao.sp.gov.br/central-de-atendimento/downloads.asp>> Acesso em: 25 nov. 2022.

SERAFIM, I. **Sistema off-grid, como funciona?** Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/sistema-off-grid-como-funciona/>> Acesso em: 15 nov. 2022.

SOLARVOLT, **STRING BOX: O QUE É E COMO FUNCIONA?** Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/string-box-o-que-e-e-como-funciona/>> Acesso em: 09 out. 2022.

VILLALVA, M. **Vale a pena ajustar a angulação dos módulos solares nos telhados?** Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/vale-a-pena-ajustar-a-angulacao-dos-modulos-solares-nos-telhados/>> Acesso em: 15 nov. 2022.

VINTURINI, M. **Entenda as especificações básicas dos componentes da string box**. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/entenda-as-especificacoes-basicas-string-box/>> Acesso em: 24 nov. 2022.

ZILLES, R.; *et al.* **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2012.

ANEXO A – AUTORIZAÇÃO DE CITAÇÃO À EE PROF. ARLINDO PINTO DA SILVA



SECRETARIA DA EDUCAÇÃO Diretoria de Ensino Leste 2

São Paulo, 27 de setembro de 2022.

Eu Geni Delmiro Galdino Soares, Dirigente Regional de Ensino da Diretoria de Ensino Região Leste 2, em conjunto com a Diretora da EE Prof. Arlindo Pinto da Silva, a Sr.ª Roberta Felix Muniz, vimos através deste informar que autorizamos a citação da unidade escolar no Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Estudo de viabilidade técnica e dimensionamento de sistema fotovoltaico *On-grid* para unidade escolar da rede estadual”.

Elaborado pelos graduandos em Engenharia Elétrica, pela Universidade São Judas Tadeu, João Vitor Ramos Garcia (RA 818140103), Jorge William Lino Bastos (RA 820145993) e Michel Aires Luizão (RA 818142775).

Informamos que estamos cientes de que a finalidade da presente autorização é exclusivamente para citação nominal do prédio escolar, tendo a finalidade de um estudo acadêmico, não se propondo a execução do sistema estudado e dimensionado.

Atenciosamente,


Geni Delmiro G. Soares
RG: 17102678-0
DIRIGENTE REGIONAL DE ENSINO


Roberta Fidelix Muniz
RG 44.927.592-9
Diretor de Escola

The figure contains several architectural drawings:

- Floor Plan:** A large rectangular plan showing the layout of the building. It is divided into several sections labeled 'N. TELAS DE 200m', 'N. TELAS DE 140m', and 'N. TELAS DE 80m'. The plan includes dimensions, grid lines (A through N), and a north arrow.
- Section 1:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 2:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 3:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 4:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 5:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 6:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 7:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 8:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 9:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 10:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 11:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 12:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 13:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 14:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 15:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 16:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 17:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 18:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 19:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.
- Section 20:** A cross-section of the building showing the roof structure and eaves. It is labeled 'DETALHE DA COBERTURA NA SALA DE SALA' and 'FIC. 1.00'.

ANEXO C – FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA DA EE PROF. ARLINDO PINTO DA SILVA



Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S. A.
Av. das Nações Unidas, 14401 - Conjuntos 1 ao 4, 17º ao 23º andar, Torre B1
Vila Gertrudes, São Paulo/SP - Cep 04794-000
CNPJ nº 61.695.227/0001-93 - Inscrição Estadual: 133.122.090.117 | Regime Especial Proc. 100635-686924/2005

SEGUNDA VIA.

1

Dados do Cliente/Unidade Consumidora		Dados da Conta		Histórico de Faturamento								
Nº DA INSTALAÇÃO	20295731	VENCIMENTO	27 JAN 2020	Mês/Ano	kWh Dias							
Nº DO CLIENTE	10002323	TOTAL A PAGAR (R\$)	917,20	dez/19	1574 29							
CPF/CNPJ:	46.384.111/0038-31	CONTA REFERENTE A	DEZ 2019	nov/19	3161 32							
INSC. EST:				out/19	3247 30							
SAO PAULO SECRETARIA DA EDUCACAO		Dados de Medição		set/19	3703 32							
EE PROF ARLINDO P SILVA		Nº do medidor		ago/19	3269 30							
R MARCION 360		Leitura anterior		25 NOV	1097 29							
CEP: 08041-500 - SAO PAULO/SP		Leitura atual		24 DEZ	3444 32							
		Próxima leitura		23 JAN	3470 29							
		Fator multiplicador		0,02400	abr/19	3221 30						
		Consumo do mês (kWh)		1.574,4	mar/19	2801 32						
		Número de dias		29	fev/19	2561 30						
				jan/19	907 30							
				dez/18	2723 30							
Classificação da Unidade Consumidora		Reservado ao Fisco										
Grupo	B	Subgrupo	B3	Classe	PODER PUBLICO	Data de emissão		Nº Nota fiscal	Série	Base de cálculo	Aliquota	ICMS
Subclasse	PODER PÚBLICO ESTADUAL OU DISTRITAL					24 DEZ 2019		181568099	B	0,00	0%	0,00
Tipo de fornecimento		Trifásico		Modalidade Tarifária		Convencional		CFOP 5258: Venda de en. elétrica a não contribuinte				

Descrição de Faturamento		Bandeira(s) Tarifária(s) aplicada(s) no mês VERMELHA PATAMAR I AMARELA					
CCI	DESCRIÇÃO	QTD kWh	TARIFA C/ICMS	BASE ICMS	ALIQ ICMS	ICMS	VALOR
0605	USO SIST. DISTR. (TUSD)	1.574,400	0,25971	0,00	0%	0,00	408,88
0601	ENERGIA (TE)	1.574,400	0,25588	0,00	0%	0,00	402,85
0698	ADICIONAL BANDEIRA AMARELA	0,000	0,00000	0,00	0%	0,00	17,49
0698	ADIC. BANDEIRA TARIFARIA	0,000	0,00000	0,00	0%	0,00	11,31
0699	PIS/PASEP (0,94%)			0,00	0%	0,00	8,32
0699	COFINS (4,33%)			0,00	0%	0,00	38,39
0807	COSIP - SÃO PAULO - MUNICIPAL						29,96
Tarifas aplicadas (sem impostos)							
CONVENCIONAL			0,25971 (TUSD)			0,25588 (TE)	
Valor dos Tributos: R\$ 46,71							

Mensagens

Segunda Via.
Cadastre sua conta em Débito Automático através do código 300000071535
- ICMS isento conforme art. 55 do Anexo I, Decreto 45.490/00.
- Conta original quitada.

Notificação/Reaviso de Contas Vencidas

Cadastre sua conta em débito automático. Utilize este código: 300000071535