

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

VITOR AUGUSTO DOS SANTOS

PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE CASO NO
HOSPITAL UNIVERSITÁRIO REGIONAL DOS CAMPOS GERAIS

PONTA GROSSA

2022

VITOR AUGUSTO DOS SANTOS

PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE CASO NO
HOSPITAL UNIVERSITÁRIO REGIONAL DOS CAMPOS GERAIS

Trabalho apresentado à disciplina de OTCC como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharelado em Engenharia Civil, da Universidade
Estadual de Ponta Grossa.

Orientador (a): Prof. Me. Elias Pereira

PONTA GROSSA

2022

VITOR AUGUSTO DOS SANTOS

PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE CASO NO
HOSPITAL UNIVERSITÁRIO REGIONAL DOS CAMPOS GERAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Ponta Grossa, 15 de dezembro de 2022

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Me. Elias Pereira

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof.^a Dra. Andressa Gobbi

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Engenheira Grazielle Campos Kviatcovski

Diretora de Planejamento Ambiental – Pró-reitoria de Planejamento UEPG

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me acompanhar.

Aos meus pais pelo apoio durante toda minha vida.

Ao Prof. Me. Elias Pereira pela confiança e orientação durante o trabalho.

A banca examinadora pelos conselhos durante a qualificação.

A todos que disponibilizaram um pouco do seu tempo para auxiliar na pesquisa e que não foram mencionados.

RESUMO

O Hospital Universitário Regional Wallace Thadeu de Mello e Silva (HU-UEPG) é um grande consumidor de energia elétrica, tendo gasto uma média de R\$100.000,00 por mês de energia elétrica durante os anos de 2021 e 2022 segundo dados fornecidos pela PRECAM UEPG. Este trabalho tem como objetivo o estudo do potencial de geração energética da implantação de um estacionamento coberto com placas fotovoltaicas no Hospital Universitário Regional de Ponta Grossa, buscando assim reduzir suas despesas com eletricidade, através do uso de uma fonte de energia limpa e duradoura. Para tanto, foram tomadas como base as normas do Edital de Eficiência Energética de 2021 da Companhia Paranaense de Energia em parceria com a Agência Nacional de Energia Elétrica, para que posteriormente o projeto seja submetido a um edital para licitação, sendo que os resultados apresentados serão estimativas iniciais para serem utilizados como referência. Inicialmente, foi feito um levantamento de dados da edificação. Depois, foi projetado um sistema nos *softwares* Global Solar Atlas, Solarius PV e Revit. Os resultados foram um potencial de geração de energia de quase 470 mil kWh por ano (aproximadamente 23% dos gastos energéticos do hospital), através de 768 módulos fotovoltaicos controlados por 4 inversores. O custo inicial aproximado estimado foi 1,9 milhão de reais. Com isso, concluiu-se que o uso de placas solares para alívio das despesas energéticas hospitalares é interessante energética e economicamente, já que apresenta um grande potencial de geração, porém para análise completa de sua viabilidade são necessários estudos mais aprofundados feitos por especialistas.

Palavras-chave: Hospital. Placas fotovoltaicas. Potencial de geração.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição de um painel fotovoltaico	19
Figura 2 – Painel solar de silício monocristalino	20
Figura 3 – Painel solar de silício policristalino	21
Figura 4 – Painel solar de filmes finos	22
Figura 5 – Efeito fotovoltaico em uma célula solar	22
Figura 6 – Exemplo de funcionamento de um sistema fotovoltaico.....	23
Figura 7 – Sistema fotovoltaico sobre o efeito de sombreamento.....	24
Figura 8 – Incidência solar na Terra	24
Figura 9 – Estações do ano	25
Figura 10 – Sombreamento devido a nuvens e à poluição.....	25
Figura 11 – Sistema fotovoltaico sobre o efeito de sombreamento com diodos de <i>bypass</i>	26
Figura 12 – Sistema <i>off-grid</i>	27
Figura 13 – Banco de baterias de um sistema autônomo	27
Figura 14 – Sistema <i>on-grid</i>	28
Figura 15 – Inversor e caixa de junção de um sistema conectado à rede	28
Figura 16 – Componentes do sistema <i>on-grid</i>	29
Figura 17 – Componentes do sistema <i>off-grid</i>	29
Figura 18 - Estacionamento fotovoltaico da Universidade Federal do Rio de Janeiro	32
Figura 19 - Estacionamento fotovoltaico da Universidade Federal do Paraná.....	32
Figura 20 - Hospital Universitário Regional Wallace Thadeu de Mello e Silva.....	33
Figura 21 – Fluxograma do projeto	34
Figura 22 – Distribuição de vagas do Hospital Regional de Ponta Grossa	38
Figura 23 – Carros ocupando vagas reservadas para motos.....	38
Figura 24 – Carros invadindo meio-fio e gramado.....	39
Figura 25 – Carros estacionando fora das vagas delimitadas.....	39
Figura 26 – Dimensões do estacionamento do hospital regional	40
Figura 27 – Exemplo de poste de luz no estacionamento	40
Figura 28 – Espera para instalação de poste de luz no estacionamento	40
Figura 29 – Distribuição de postes e esperas no estacionamento do Hospital Regional.....	41
Figura 30 – Mapa solar da região do estacionamento do Hospital Regional de Ponta Grossa	43
Figura 31 – Definição do posicionamento dos painéis no programa Solarius PV	46
Figura 32 – Catálogo de módulos no programa Solarius PV.....	47
Figura 33 – Exemplo das especificações de um módulo no programa Solarius PV	47
Figura 34 – Modelo da estrutura coberta com painéis fotovoltaicos.....	51
Figura 35 – Exemplo de região do estacionamento modelada em Revit	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Oferta interna de energia elétrica em 2020 – Fontes não renováveis	15
Gráfico 2 - Oferta interna de energia elétrica em 2020 – Fontes renováveis	15
Gráfico 3 - Oferta interna de energia elétrica em 2020 – Total.....	16
Gráfico 4 - Médias mensais de energia produzida em MWh (<i>Global Solar Atlas</i>).....	45
Gráfico 5 - Médias mensais de energia produzida em MWh (Solarius PV).....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Eficiência energética dos painéis fotovoltaicos.....	22
Quadro 2 - Possíveis <i>softwares</i> de simulação e <i>design</i> de sistema solar fotovoltaico.....	35
Quadro 3 – Valores padrões adotados pelo <i>Global Solar Atlas</i> para o sistema comercial médio	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivo geral	11
1.1.2	Objetivos específicos	12
1.2	JUSTIFICATIVA	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	14
2.2	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL.....	15
2.2.1	Resoluções Normativas nº 482 e nº 687	17
2.3	VANTAGENS E DESVANTAGENS DA IMPLEMENTAÇÃO NO BRASIL.....	17
2.4	TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	19
2.4.1	Silício monocristalino.....	20
2.4.2	Silício policristalinino	20
2.4.3	Filmes finos	21
2.5	FUNCIONAMENTO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	22
2.6	INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS E GEOGRÁFICAS.....	23
2.7	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS.....	26
2.8	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE	27
2.9	COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	28
2.9.1	Painéis solares.....	29
2.9.2	Inversor	29
2.9.3	Caixa de junção / <i>String box</i>	30
2.9.4	Estruturas de suporte e ancoragem	30
2.9.5	Cabos e conectores	30
2.9.6	Baterias	30
2.9.7	Gerenciador de carga.....	31

2.10	PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	31
2.11	PROJETOS DE APROVEITAMENTO SOLAR	31
3	METODOLOGIA	33
3.1	MATERIAL.....	33
3.2	MÉTODO.....	33
3.2.1	Verificação da disponibilidade do edital de eficiência energética.....	34
3.2.2	Estudo do local, visitas técnicas e medições	35
3.2.3	Escolha do <i>software</i> de dimensionamento.....	35
3.2.4	Pesquisa de mercado e escolha do modelo.....	36
3.2.5	Simulação de custo e retorno energético	36
3.2.6	Comparação com custos de projetos anteriores	36
3.2.7	Modelagem da disposição arquitetônica	36
4	RESULTADOS.....	37
4.1	VERIFICAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DO EDITAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	37
4.2	ESTUDO DO LOCAL, VISITAS TÉCNICAS E MEDIÇÕES	38
4.3	ESCOLHA DO <i>SOFTWARE</i> DE DIMENSIONAMENTO	41
4.4	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO, ESCOLHA DA POSIÇÃO DOS PAINÉIS, PESQUISA DE MERCADO E ESCOLHA DO MODELO	42
4.4.1	Global Solar Atlas.....	42
4.4.2	Solarius PV	45
4.5	SIMULAÇÃO DE CUSTO E RETORNO ENERGÉTICO	49
4.6	COMPARAÇÃO COM CUSTOS DE PROJETOS ANTERIORES	50
4.7	MODELAGEM DA DISPOSIÇÃO ARQUITETÔNICA.....	50
5	CONCLUSÃO	53
5.1	CONCLUSÕES	53
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	54
6	REFERÊNCIAS.....	55

7	ANEXOS	59
7.1	ANEXO I – QRCODE DE ACESSO AO DRIVE COM A CONTA DE ENERGIA DO HOSPITAL	59
7.2	ANEXO II – QRCODE DE ACESSO AO DRIVE COM O RELATÓRIO DO GLOBAL SOALR ATLAS.....	59
7.3	ANEXO III – QRCODE DE ACESSO AO DRIVE COM AS ESPECIFICAÇÕES DO PAINEL SOLAR	59
7.4	ANEXO IV – QRCODE DE ACESSO AO DRIVE COM O RELATÓRIO TÉCNICO FEITO NO SOLARIUS E FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA	60
7.5	ANEXO V – QRCODE DE ACESSO AO DRIVE COM AS ESPECIFICAÇÕES DO INVERSOR	60
7.6	ANEXO VI – QRCODE DE ACESSO AO DRIVE COM OS ORÇAMENTOS..	60
7.7	ANEXO VII – QRCODE DE ACESSO AO DRIVE COM O RELATÓRIO ECONÔMICO GERADO PELO SOLARIUS.....	61
7.8	ANEXO VIII – QRCODE DE ACESSO AO DRIVE COM A PRANCHA DO PORJETO DO ESTACIONAMENTO	61

1 INTRODUÇÃO

Devido às suas atividades, os hospitais são grandes consumidores de energia elétrica, considerando que devem atender uma grande quantidade de pessoas constantemente. Para isso, se faz necessário o uso de equipamentos que forneçam uma climatização adequada para pacientes e medicamentos, além de outros maquinários (DEVENS, 2016).

Através de dados obtidos junto à Prefeitura do Campus da Universidade Estadual de Ponta Grossa (PRECAM-UEPG), o Hospital Universitário Regional Wallace Thadeu de Mello e Silva (HU-UEPG), localizado na cidade de Ponta Grossa, apresentou, no ano de 2021, um consumo entre 150 e 180 mil kWh/mês, uma demanda entre 250 e 550 kW, tendo o valor de sua fatura variando entre R\$ 95.000,00 e R\$ 140.000,00, aproximadamente (ANEXO I).

Além disso, Ponta Grossa passou por um período de escassez hídrica no ano de 2021, o que causou uma redução no fornecimento de energia elétrica e um aumento no valor da conta de energia (SANT'ANA, 2021). As diversas crises hídricas que tem ocorrido por todo o país também impulsionaram o crescimento de usinas termelétricas que utilizam como base combustíveis fósseis, como carvão mineral e gás natural, tendo um aumento de 77% na sua geração de energia, segundo os estudos do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), o que agrava problemas ambientais, como a poluição e a emissão de gases do efeito estufa (CORSINI; BRASIL, 2022).

Sendo assim, o uso de painéis fotovoltaicos, apesar de exigir um elevado investimento inicial, oferece um retorno futuro e tem grande durabilidade, além de ter um potencial de redução das tarifas cobradas por empresas elétricas, como apresentado nos estudos de Dantas e Pompermayer (2018).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral a análise do potencial de geração energética da implantação de um estacionamento coberto com placas fotovoltaicas no Hospital Universitário Regional de Ponta Grossa.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Analisar o potencial energético da implementação de um estacionamento coberto com placas solares;
- b) Estimar o custo inicial de um sistema fotovoltaico aplicado à cobertura de um estacionamento;
- c) Prever o retorno energético de um projeto de um estacionamento coberto com placas solares;
- d) Prever o tempo necessário para o projeto começar a dar retorno financeiro;
- e) Analisar a viabilidade prévia de financiamento de um projeto de um estacionamento coberto com placas solares.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo Mauad, Ferreira e Trindade (2017), a população mundial está crescendo constantemente, gerando cada vez mais demandas energéticas, colocando em dúvida sua disponibilidade para as gerações futuras, considerando que a maior parte dos recursos provém de fontes não-renováveis exploradas intensivamente.

Visando ampliar a disponibilidade energética e amenizar os impactos, principalmente ambientais, causados pela extração e aplicação dos materiais e emissão de resíduos, novas fontes têm sido pesquisadas, com destaque para as fontes renováveis, em especial para as pouco poluentes (MAUAD; FERREIRA; TRINDADE, 2017).

Segundo Dantas e Pompermayer (2018), a energia solar é uma fonte renovável que está crescendo nos últimos anos. Brasil (2021) aponta que a energia solar foi a fonte que apresentou o maior crescimento nos últimos anos dentro da matriz brasileira. Devido aos avanços tecnológicos e aumento da produção e da demanda de painéis fotovoltaicos, os preços por esses sistemas têm apresentado uma redução (DANTAS; POMPERMAYER, 2018). Os sistemas fotovoltaicos são formados por materiais semicondutores que geram energia elétrica quando expostos a luz, sendo o Sol a maior fonte de luz disponível em todo o planeta (DANTAS; POMPERMAYER, 2018).

O governo ainda oferece incentivos para a propagação de projetos mais sustentáveis utilizando como base as fontes renováveis através da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, como o Programa de Eficiência Energética (PEE) da Copel

(Companhia Paranaense de Energia), empresa responsável pelo atendimento energético da cidade de Ponta Grossa, regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que disponibiliza editais anualmente para propostas de projetos energéticos que podem ser financiados caso atendam aos critérios estabelecidos (COPEL, 2021).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A energia solar é o maior recurso energético disponível para a humanidade, oriunda das radiações solares, sendo uma fonte limpa e renovável. Apesar de seu grande desenvolvimento ao longo dos anos, grande parte dos países ainda utiliza de fontes não renováveis, degradando assim o ambiente através de sua extração e lançando resíduos tóxicos e causadores do efeito estufa no meio ambiente (MOREIRA *et al.*, 2021).

Segundo Corsini e Brasil (2022), o Brasil que utiliza a energia hidrelétrica (outra fonte renovável) como base de sua matriz energética passou por uma crise hídrica em 2021, o que trouxe novamente o destaque para as termelétricas e seus combustíveis não renováveis e poluidores. Entretanto, o uso da energia fotovoltaica também vem crescendo nos últimos anos, mesmo que sua participação não seja extremamente significativa (BRASIL, 2021a).

Neste capítulo serão abordadas as situações da energia solar no Brasil e no mundo, seu desenvolvimento, suas vantagens e desvantagens e suas formas de aplicação.

2.1 DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Segundo Nascimento (2004, p.11), o efeito fotovoltaico é a conversão de luz em energia elétrica e pôde ser observado pela primeira vez em 1839, por Edmond Becquerel, que notou “uma diferença de potencial nas extremidades de uma estrutura semicondutora, quando incidia uma luz sobre ela”. No entanto, foi apenas em 1956, após avanços na tecnologia, que as primeiras células fotovoltaicas foram fabricadas e ainda assim eram muito pouco usadas, devido ao seu elevado custo de produção (NASCIMENTO, 2004).

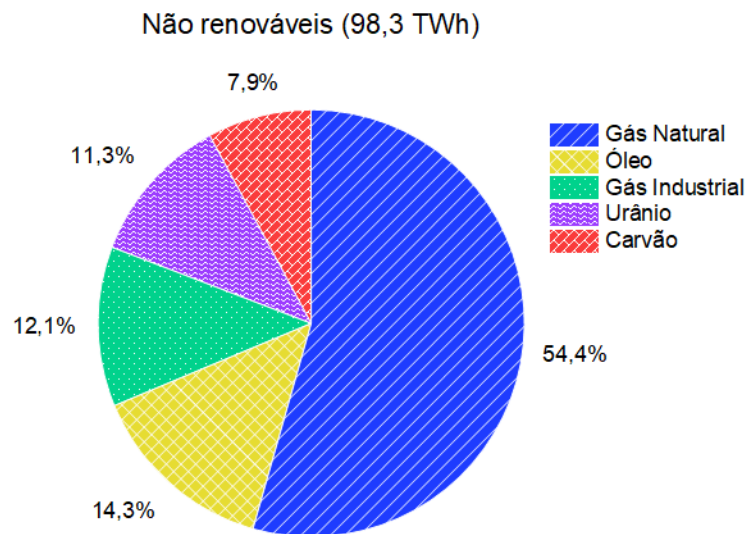
Com a crise do petróleo entre as décadas de 1970 e 1990, a energia solar voltou a chamar a atenção e novos avanços surgiram, porém com o fim da crise em 1998 essa tecnologia foi deixada de lado novamente (NASCIMENTO, 2004; VILLALVA; GAZOLI, 2012; VIAN *et al.*, 2021).

Já no início do século XXI, com a busca por fontes limpas e renováveis e como grande parte da população não tinha acesso à eletricidade, os sistemas fotovoltaicos reapareceram para suprir essas necessidades, tendo diversos incentivos governamentais, além de uma redução nos custos de aquisição (NASCIMENTO, 2004; VILLALVA; GAZOLI, 2012; VIAN *et al.*, 2021).

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

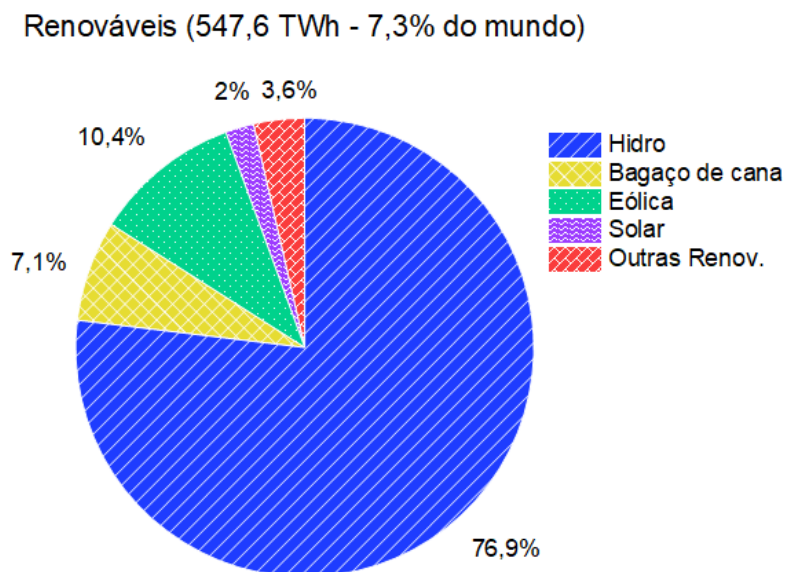
Segundo o Ministério de Minas e Energia (2021, p.7) através do documento “Resenha Energética Brasileira”, tomando como base de estudo o ano de 2020, “a geração solar teve aumento de 61,5% (92,2% em 2019, 316% em 2018 e 876% em 2017), mas ainda com baixa representatividade”, sendo responsável por apenas 2% da matriz energética do país em 2020, como pode ser observado nos Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3.

Gráfico 1 - Oferta interna de energia elétrica em 2020 – Fontes não renováveis



Fonte: Adaptado de Brasil, 2021a

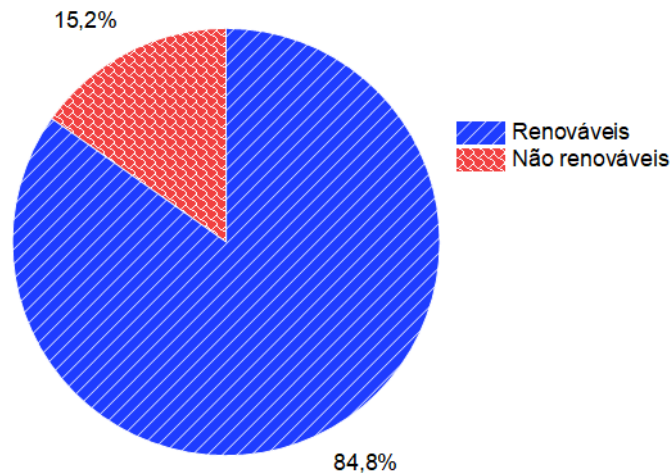
Gráfico 2 - Oferta interna de energia elétrica em 2020 – Fontes renováveis



Fonte: Adaptado de Brasil, 2021a

Gráfico 3 - Oferta interna de energia elétrica em 2020 – Total

Total (645,9 TWh - 2,4% do mundo)



Fonte: Adaptado de Brasil, 2021a

Entretanto, Villalva e Gazoli (2012) apontam que o Brasil apresenta um potencial de utilização muito maior devido a sua privilegiada posição geográfica, recebendo altas taxas de irradiação solar (cerca de 4500 a 6000 Wh/m² diárias na maior parte do país). Para efeito de comparação, a Alemanha, que está entre os cinco países que mais utilizam energia solar, recebe taxas de insolação diárias máximas de 3500 Wh/m² (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Esse potencial começou a ser mais aproveitado com o lançamento da Resolução Normativa nº 482/2012, publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em abril de 2012, e da Resolução Normativa nº 687/2015, também publicada pela ANEEL, em novembro de 2015, que serviu como atualização para alguns dos critérios estabelecidos na normativa nº 482 (DANTAS; POMPERMAYER, 2018). Essas normativas permitiam a geração de energia fotovoltaica e a redução de gastos com a conta de energia (ANEEL, 2012; ANEEL, 2015).

Segundo Topsun Energia Solar (2022), no ano de 2020 o Brasil ocupou o 9º lugar no *ranking* dos países que mais instalaram energia solar, com mais de 3 mil megawatts de potência instalada, somando 2,5 GW em capacidade. O mesmo autor informa que os 5 países líderes nesse ano foram China, Estados Unidos, Vietnã, Japão e Alemanha, respectivamente.

2.2.1 Resoluções Normativas nº 482 e nº 687

Como citado anteriormente, em 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica (2012, p.1) publicou a Resolução Normativa nº 482, estabelecendo assim “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”. Microgeradores e minigeradores são definidos como as centrais geradoras de eletricidade que utilizam fontes renováveis conectadas a rede, diferenciando-se entre si pela potência instalada (ANEEL, 2012).

Porém, essa normativa passou por diversas revisões, entre elas a de 2015 com o lançamento da resolução nº 687 (ANEEL, 2012; ANEEL, 2015). Aneel (2015) corrigiu alguns termos, dentre eles os de microgeração e minigeração, alterando a potência em que cada um se enquadra (menor ou igual a 75 kW, para microgeradores e maior que 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada para minigeradores). O mesmo texto também acrescentou alguns conceitos, como autoconsumo remoto, possibilitando o consumidor utilizar a energia em um local diferente do qual ela foi gerada, e geração compartilhada, permitindo que grupos de pessoas compartilhem a energia gerada, dando a esses novos grupos o direito ao sistema de compensação de energia elétrica.

Com esse sistema, o consumidor cede a energia gerada por fontes renováveis à distribuidora local e é compensado com o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2012; ANEEL, 2015). Sendo assim, caso o consumidor gere mais energia do que consoma, o excedente chamado de crédito de energia pode ser usado nos próximos 60 meses, pagando assim apenas a tarifa básica, que varia conforme a tarifa vigente e o padrão de entrada, afirmam os mesmos autores. Porém, se o consumo for maior, será paga a diferença entre consumo e geração (DANTAS; POMPERMAYER, 2018).

2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA IMPLEMENTAÇÃO NO BRASIL

Segundo Pereira (2019), os custos elevados dos sistemas solares ainda são uma de suas principais desvantagens, mesmo com a redução de seus preços ao longo dos anos. Vian *et al.* (2021) apontam que em 2018, os sistemas fotovoltaicos residenciais apresentavam um custo médio de 1 a 3 €/Wp (Euro/ Watt-pico), enquanto os sistemas fotovoltaicos de grande porte, cuja potência instalada é maior do que 1 MW tinham um custo médio de 0,7 €/Wp. Para estabelecer o custo total do sistema é necessário avaliar o custo dos painéis e os custos complementares (*balance of system*

e custos *soft*). Também é preciso verificar a taxa de desconto, os custos de operação e manutenção, o nível de irradiação solar do local e o rendimento das células solares (VIAN *et al.*, 2021).

Segundo Vian *et al.* (2021), o custo dos painéis engloba a matéria-prima, a fabricação e a montagem do sistema. Esses autores indicam que os custos do BoS (*balance of system*) abrangem as estruturas de suporte, equipamentos elétricos para conexão e operação e em alguns casos sistemas de rastreamento solar. Com esses sistemas, os módulos se movimentam, seguindo a radiação solar e aumentando o rendimento energético em até 20%, mas também encarecendo o projeto, sendo mais utilizados quando se necessita de uma carga uniforme o dia todo (BALFOUR; SHAW; NASH, 2019).

Um dos maiores gastos citados acima, segundo Vian *et al.* (2021), são os sistemas de armazenamento de energia, utilizados quando o sistema não é conectado à rede de distribuição local, sendo necessária uma grande quantidade de baterias para alimentá-lo e, embora existam diferentes aparelhos que podem realizar essa função, todos apresentam um preço muito elevado. Os autores ainda informam que, dentro dos custos *soft*, se enquadram a preparação da área e o projeto e gerenciamento de obra, que envolvem a instalação, impostos, licenças, alvarás, autorizações e documentações no geral. Em grande parte das vezes os custos *soft* exigem os maiores investimentos, sendo muitas vezes responsáveis por mais de 50% dos gastos totais de aplicação do sistema fotovoltaico (VIAN *et al.*, 2021).

Além disso, Oliveira Neto (2016) e Pereira (2019) apontam que os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem interferir no sistema de rede já instalado, visto que este pode não estar preparado para uma nova ingestão, correndo o risco de gerar um fluxo de potência reverso. Na ocorrência desse fenômeno, o sentido da potência se torna bidirecional, podendo prejudicar o sistema, aumentando a tensão no terminal onde está conectado o gerador fotovoltaico, causando problemas de coordenação e operação com sistema de proteção das redes de distribuição (OLIVEIRA NETO, 2016; PEREIRA, 2019). Villalva e Gazoli (2012) ainda afirmam que a disponibilidade de recursos hidrelétricos ainda não explorados torna os sistemas fotovoltaicos menos atrativos, considerando que a maior parte do fornecimento energético brasileiro provém de usinas hidrelétricas.

Mesmo com as adversidades citadas, pode-se observar que o uso de sistemas fotovoltaicos apresenta diversas vantagens. A energia solar é renovável, não

poluente e silenciosa (VIAN *et al.*, 2021). Além disso, as placas solares são resistentes aos fatores ambientais, necessitando assim de pouca manutenção e possuem uma vida útil de 25 anos, podendo pagar os custos dos seus investimentos em poucos anos e reduzindo o preço da conta de energia elétrica, sendo que também pode ser utilizado em ambientes sem abastecimento de rede elétrica e ao final de sua vida útil os equipamentos do sistema podem ser reciclados (PORTAL SOLAR, 2022b; VILLALVA; GAZOLI, 2012). Como é um sistema moderno com baixa representatividade na matriz brasileira, o aumento no uso dessa tecnologia ajuda a impulsionar o desenvolvimento tecnológico na busca de melhores soluções de equipamentos e a gerar novos empregos nas áreas de pesquisa e instalação (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

2.4 TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A estrutura básica de um painel fotovoltaico pode ser observada na Figura 1. Existem diversos tipos de células e módulos fotovoltaicos, porém os mais utilizados e mais comuns de serem encontrados no mercado são os de silício monocristalino, silício policristalino e filmes finos (BALFOUR; SHAW; NASH, 2019; VIAN *et al.*, 2021). Na sequência serão apresentadas as características de cada tipo de material e seus componentes.

Figura 1 – Composição de um painel fotovoltaico



Fonte: Portal Solar, 2022a.

2.4.1 Silício monocristalino

Os painéis de silício monocristalino são os mais eficientes, mas também os mais caros (BALFOUR; SHAW; NASH, 2019; PORTAL SOLAR, 2022c). Sua eficiência varia entre 15 e 21% para Balfour, Shaw e Nash (2019), porém Portal Solar (2022c) afirma que sua eficiência pode chegar a 22%, mas é sempre recomendado consultar as especificações do fabricante. Segundo Portal Solar (2022c) e Villalva e Gazoli (2012), os painéis de silício monocristalino são fáceis de reconhecer, devido ao seu padrão de cor uniforme devido à pureza do silício, geralmente azul escuro ou preto, com cantos arredondados, como observado na Figura 2.

Figura 2 – Painel solar de silício monocristalino



Fonte: Portal Solar, 2022c.

2.4.2 Silício policristalino

Os painéis de silício policristalino são um pouco menos eficientes se comparadas aos monocristalinos, porém seu custo também é menor (BALFOUR; SHAW; NASH, 2019; PORTAL SOLAR, 2022c). Sua eficiência varia entre 13 e 16% para Balfour, Shaw e Nash (2019), porém Portal Solar (2022c) afirma que sua eficiência varia entre 14 e 20%. Vale ressaltar que é sempre recomendado consultar as especificações do fabricante. Segundo Portal Solar (2022c) e Villalva e Gazoli (2012), esses painéis possuem aparência heterogênea e cor azulada, como observado na Figura 3, além de serem fabricados de uma forma um pouco diferente dos monocristalinos.

Figura 3 – Painel solar de silício policristalino



Fonte: Portal Solar, 2022c.

2.4.3 Filmes finos

Segundo Balfour, Shaw e Nash (2019), Portal Solar (2022c) e Villalva e Gazoli (2012), os painéis de filmes finos são os menos eficientes dentre os três apresentados, mas também os mais baratos e os que menos sofrem com as perdas de rendimento devido ao sombreamento, fenômeno no qual a luz solar é bloqueada por meios físicos, como vegetações e construções elevadas, reduzindo o potencial de aproveitamento solar das placas. Entretanto sofrem uma degradação mais acelerada em relação aos cristalinos. Podem ser utilizados como materiais fotovoltaicos para fabricação desses painéis o silício amorfo (a-Si), o telureto de cádmio (CdTe), o cobre, índio e gálio seleneto (CIS / CIGS) ou células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV). Sua eficiência varia entre 7 e 16% dependendo do material utilizado (PORTAL SOLAR, 2022c; VILLALVA; GAZOLI, 2012). Vale ressaltar que é sempre recomendado consultar as especificações do fabricante. Os mesmos autores ressaltam que esses painéis possuem aparência homogênea e são fabricados em uma única célula de grande área, como observado na Figura 4.

Figura 4 – Painel solar de filmes finos



Fonte: Portal Solar, 2022c.

Comparando os valores das eficiências de cada painel tem-se os seguintes valores, apresentados no Quadro 1Quadro 1.

Quadro 1 – Eficiência energética dos painéis fotovoltaicos

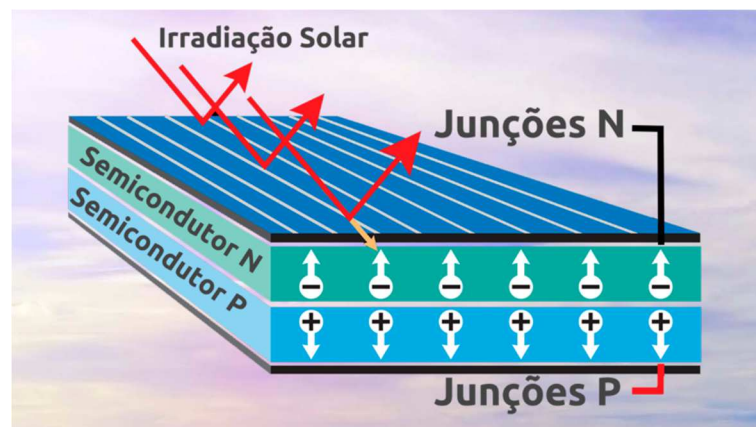
Tipo de painel	Eficiência energética
Silício monocristalino	15 a 22%
Silício policristalino	13 a 20%
Filmes finos	7 a 16%

Fonte: Adaptado de Balfour, Shaw e Nash, 2019 e Portal Solar, 2022c.

2.5 FUNCIONAMENTO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Segundo Nicola *et al.* (2018) as células fotovoltaicas são feitas de materiais semicondutores, sendo o silício o material mais empregado, que geram uma corrente elétrica através da circulação de elétrons quando a radiação solar atinge o painel (efeito fotovoltaico), como observado na Figura 5.

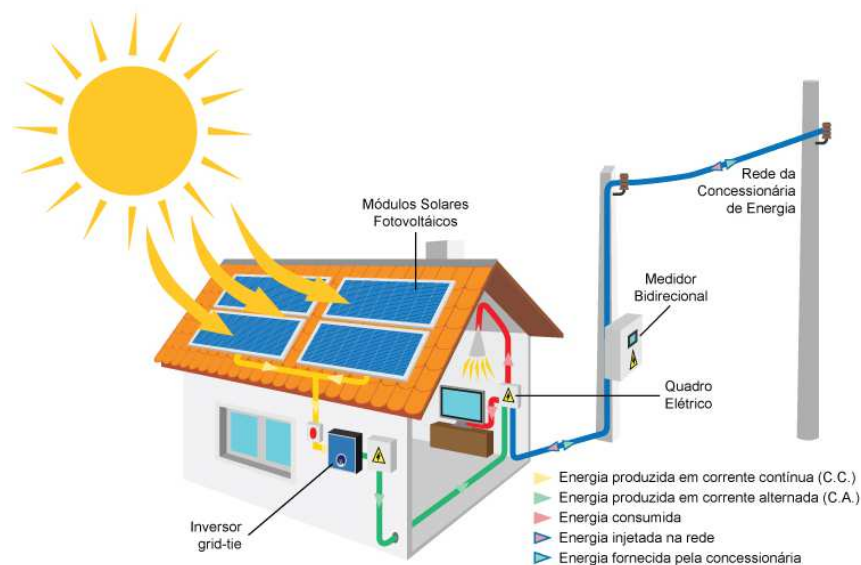
Figura 5 – Efeito fotovoltaico em uma célula solar



Fonte: Ribas, 2022.

Nicola *et al.* (2018) e Luz Solar (2022) apontam que, para que a corrente gerada possa ser utilizada na rede local é necessário converter a corrente contínua produzida em corrente alternada, visto que a corrente alternada pode transmitir a energia por maiores distâncias sem perder tanta energia. Em seguida, é preciso sincronizar a frequência e adequar os níveis de tensão elétrica com os da concessionária para que não a danifique e para isso são utilizados inversores de frequência (NICOLA *et al.*, 2018; LUZ SOLAR, 2022). Os mesmos autores relatam que, depois, a energia é destinada para os quadros de distribuição das edificações, alimentando assim cada ambiente, enquanto seu excedente é destinado para as concessionárias (sistema *on-grid*). Em alguns casos, em vez de o excedente energético ser destinado às redes, ele é armazenado em baterias (sistema *off-grid*), com reguladores de carga para controlar a entrada e saída de eletricidade (COSTA, 2020). Os diferentes sistemas serão abordados nos próximos tópicos. A Figura 6 representa de forma simplificada o funcionamento dessas células em um sistema residencial, indicando os passos citados anteriormente.

Figura 6 – Exemplo de funcionamento de um sistema fotovoltaico



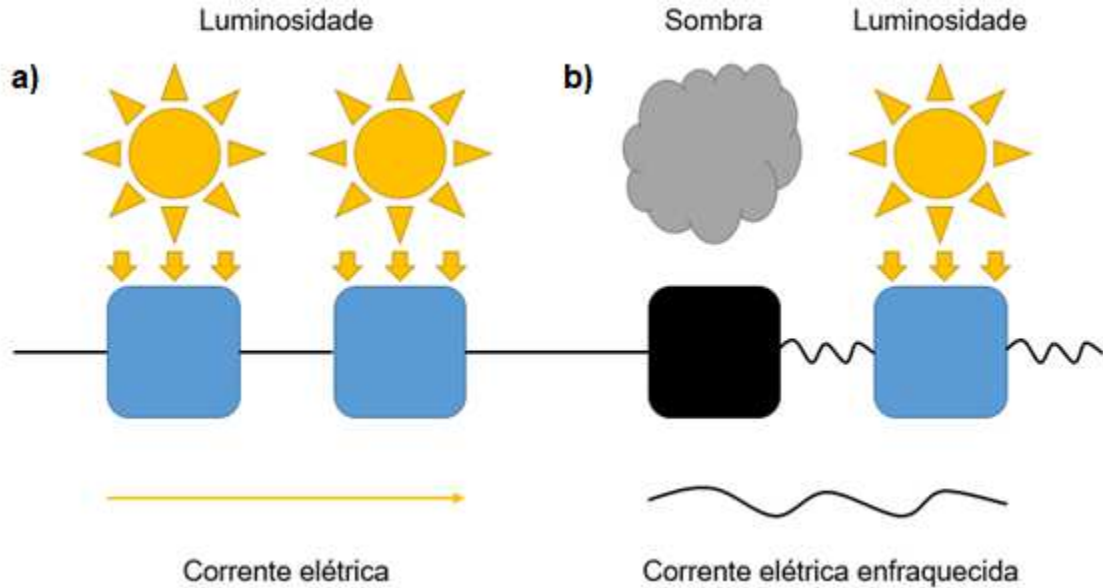
Fonte: Adaptado de Bk Kent Week, 2022.

2.6 INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS E GEOGRÁFICAS

Segundo Villalva e Gazoli (2012), a eletricidade fornecida pelos módulos fotovoltaicos depende diretamente da intensidade da radiação solar que atinge os painéis. Se as células recebem pouca luz, sua eficiência é menor. Mesmo que apenas

uma célula esteja sobre o efeito de sombreamento todo o sistema pode ser afetado, principalmente se estiver conectado em série, como observado na Figura 7.

Figura 7 – Sistema fotovoltaico sobre o efeito de sombreamento

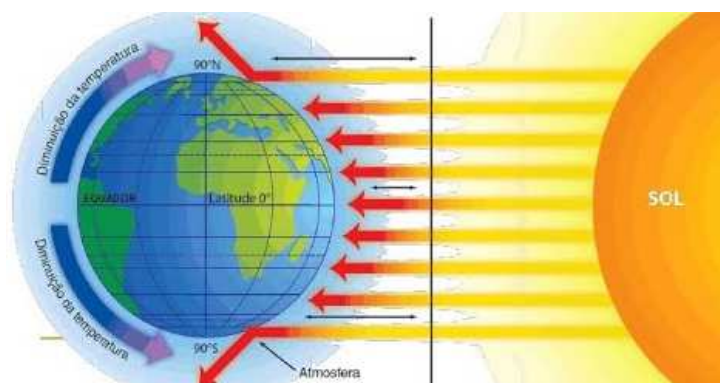


Fonte: Adaptado de Villalva e Gazoli, 2012.

Além disso, Villalva e Gazoli (2012) apontam que temperaturas mais elevadas diminuem a potência fornecida, visto que reduzem a tensão dos módulos. Entretanto, locais com temperaturas mais baixas estão sujeitos a maiores formações de nuvens e chuvas, o que também pode prejudicar a eficiência dos painéis. Por isso o local de instalação deve ser escolhido após estudos minuciosos (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Diversos fatores podem influenciar na eficiência dos painéis solares, como a posição geográfica (COSTA, 2020). O mesmo autor afirma que regiões polares estão mais afastadas da Linha do Equador e por isso recebem menos luz solar e apresentam temperaturas mais baixas, ao contrário das regiões tropicais e temperadas, que possuem uma insolação mais acentuada e temperaturas mais elevadas (Figura 8).

Figura 8 – Incidência solar na Terra



Fonte: Brainly, 2022.

Segundo Costa (2020) e Vian *et al.* (2021) as estações do ano, além de apresentarem condições climáticas variadas, definem quão próximo o sol está da Terra, sendo que quando a distância entre os astros for menor, a irradiação e, portanto, a disponibilidade de energia será maior (Figura 9). Devido à rotação da Terra, a hora do dia também vai influenciar na incidência solar (VIAN *et al.*, 2021).

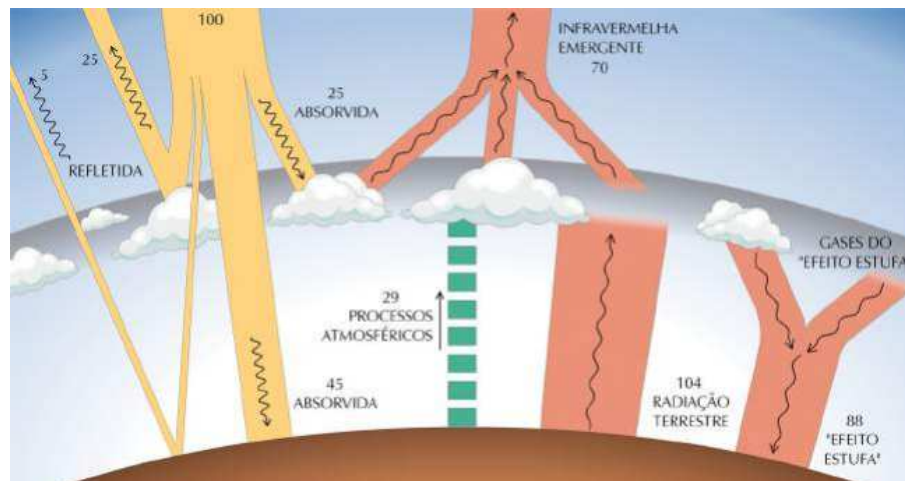
Figura 9 – Estações do ano



Fonte: Gonçalves *et al.*, 2017.

As condições climáticas e meteorológicas também são grandes limitantes, afirma Costa (2020), sendo que áreas repletas de nuvens e chuvas intensas têm sua capacidade de aproveitamento fotovoltaico muito reduzida (Figura 10). A localização das regiões de instalação também é um fator muito relevante, já que regiões cercadas por vegetações ou edificações altas sofrerão mais perdas devido ao efeito de sombreamento (VIAN *et al.*, 2021; VILLALVA; GAZOLI, 2012). As regiões urbanas ainda podem sofrer perdas devido aos gases e aerossóis resultantes da poluição, como demonstrado na Figura 10 (GONÇALVES *et al.*, 2017; VIAN *et al.*, 2021).

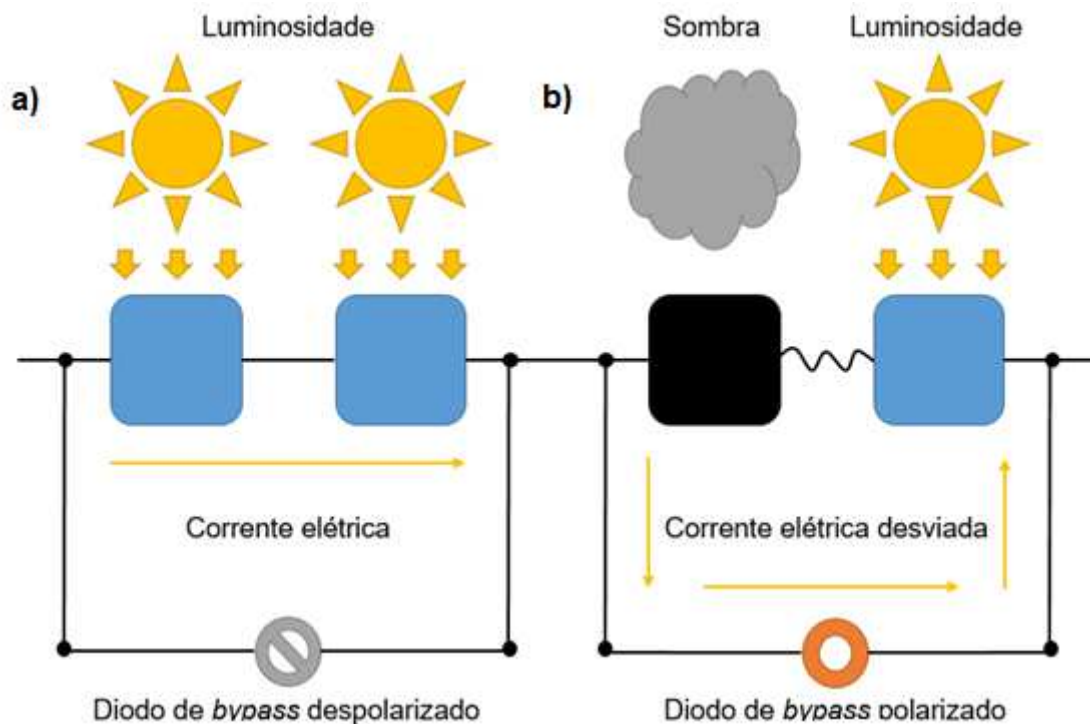
Figura 10 – Sombreamento devido a nuvens e à poluição



Fonte: Gonçalves *et al.*, 2017.

Para reduzir possíveis perdas, os fabricantes adicionam diodos de *bypass* (ou de passagem) conectados em paralelo para desviar a corrente das células escurecidas (Figura 11). Porém, eles só funcionam até um certo valor de tensão e, quanto maior o número de diodos, mais caro se torna o projeto (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Figura 11 – Sistema fotovoltaico sobre o efeito de sombreamento com diodos de *bypass*

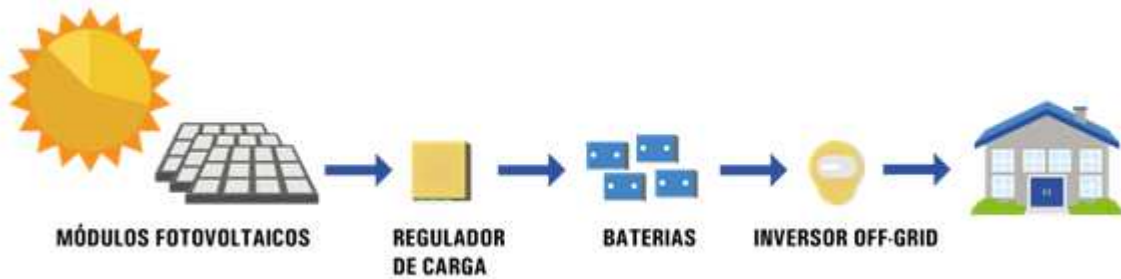


Fonte: Adaptado de Villalva e Gazoli, 2012

2.7 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS

Os sistemas autônomos, também chamados de sistemas *off-grid* ou sistemas isolados, geralmente são instalados em regiões sem atendimento de redes elétricas, como regiões rurais ou em iluminações públicas de estradas (VILLALVA, 2012). Segundo Costa (2020), a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos é armazenada em um banco de baterias, porém, como devem suprir toda a demanda energética consumida, é necessário um elevado investimento nesse banco. Um esquema desse sistema pode ser observado na Figura 12, enquanto o banco de baterias, o inversor e o regulador já instalados em uma residência podem ser vistos na Figura 13.

Figura 12 – Sistema *off-grid*



Fonte: Gridpower, 2022.

Figura 13 – Banco de baterias de um sistema autônomo

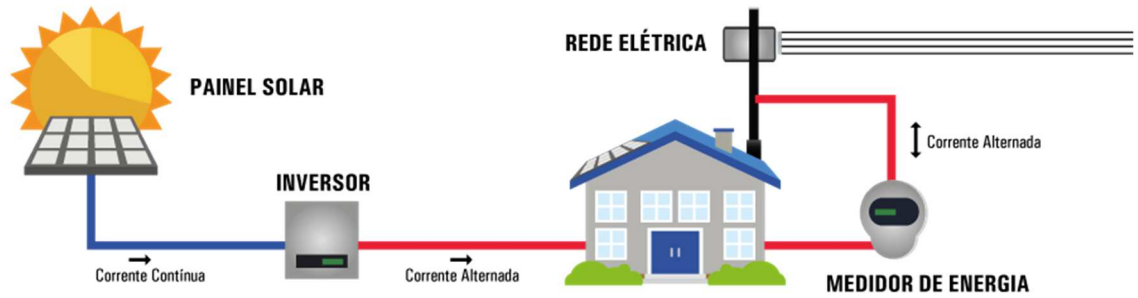


Fonte: Habitissimo, 2022a.

2.8 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

Os sistemas conectados à rede, também chamados de sistemas *on-grid* apresentam um custo de implantação menor se comparado ao *off-grid*, já que funcionam através da rede da própria concessionária (COSTA, 2020). Para isso, é utilizado o sistema de compensação de energia elétrica, fornecendo a energia gerada para a concessionária, podendo utilizá-la posteriormente e pagando valores reduzidos na conta de energia (COSTA, 2020; DANTAS; POMPERMAYER, 2018). Um esquema desse sistema pode ser observado na Figura 14. Já um exemplo real de um inversor e de uma caixa de junção já instalados em uma residência podem ser vistos na Figura 15.

Figura 14 – Sistema *on-grid*



Fonte: Gridpower, 2022.

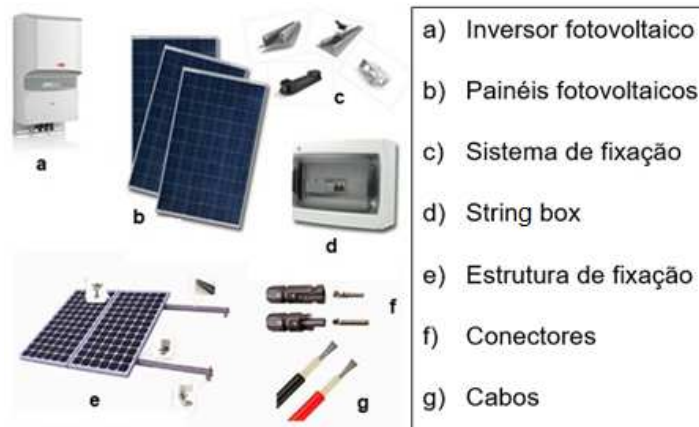
Figura 15 – Inversor e caixa de junção de um sistema conectado à rede



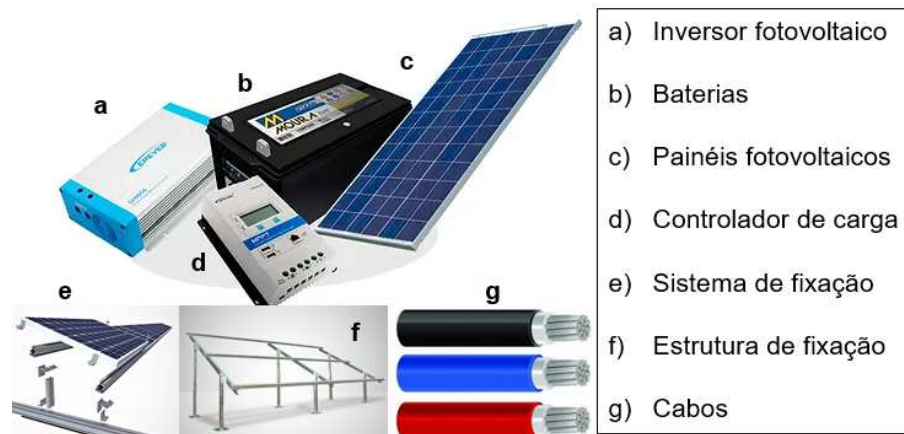
Fonte: Habitissimo, 2022b.

2.9 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Segundo Blue Sol (2022), os componentes que formam um sistema fotovoltaico *on-grid* são os painéis fotovoltaicos, os inversores de energia, a caixa de junção, também chamada de *string box*, as estruturas de suporte e ancoragem e os cabos e conectores, como pode ser observado na Figura 16. O sistema *off-grid* possui os mesmos equipamentos, exceto a *string box*, além de exigir um conjunto de baterias para armazenagem e um gerenciador de carga, como pode ser observado na Figura 17 (VIAN *et al.*, 2021).

Figura 16 – Componentes do sistema *on-grid*

Fonte: Adaptado de MkrSolar, 2022.

Figura 17 – Componentes do sistema *off-grid*

Fonte: Adaptado de Joi, 2022 e Energy Solver, 2022.

2.9.1 Painéis solares

Os painéis solares são um conjunto de células fotovoltaicas ligadas em série ou em paralelo, geralmente constituídas de silício, responsáveis por gerar energia a partir da conversão de radiação solar em eletricidade, sendo orientados de forma a receber o máximo de irradiação solar (BALFOUR; SHAW; NASH, 2019; VIAN *et al.*, 2021; BLUE SOL, 2022).

2.9.2 Inversor

O inversor fotovoltaico é, segundo Balfour, Shaw e Nash (2019), Vian *et al.* (2021) e Blue Sol (2022) o equipamento responsável por adaptar a energia gerada pelos painéis (corrente contínua) e torná-la compatível com a energia da distribuidora (corrente alternada), afim de não danificar o sistema público. O tipo e o tamanho do inversor escolhido variam conforme a quantidade de energia que precisa ser

convertida, o pico estimado em Watts, o tipo de forma de onda e o tipo de sistema (*on-grid* ou *off-grid*) (BALFOUR; SHAW; NASH, 2019; VIAN *et al.*, 2021; BLUE SOL, 2022).

2.9.3 Caixa de junção / *String box*

A caixa de junção (*string box*) é, segundo Blue Sol (2022, p.1), um “conjunto de componentes de proteção do sistema contra surtos de redes e demais danos elétricos”. Ela pode ser integrada ao inversor e deve estar de acordo com as exigências locais (VIAN *et al.*, 2021). O sistema de proteção pode ser formado apenas por condutores, sendo que nesse caso eles serão dimensionados para a máxima corrente de curto-circuito dos módulos, mas também pode conter outros equipamentos, como interruptores, disjuntores e fusíveis (VILLALVA; GAZOLI, 2012; BALFOUR; SHAW; NASH, 2019).

2.9.4 Estruturas de suporte e ancoragem

As estruturas de suporte mecânico, onde os painéis serão fixados, são feitas geralmente de alumínio e ditam a inclinação dos módulos fotovoltaicos, objetivando maximizar a geração de energia, variando conforme o local onde os painéis serão instalados, visto que podem ser colocados no solo, em postes, nos telhados ou em estruturas elevadas (BALFOUR; SHAW; NASH, 2019; VIAN *et al.*, 2021).

2.9.5 Cabos e conectores

Os cabos e conectores ligam todos os componentes do sistema fotovoltaico e devem possuir uma isolação adequada para resistir ao clima, à radiação ultravioleta e à temperatura (VIAN *et al.*, 2021; BLUE SOL, 2022). Porém, segundo Balfour, Shaw e Nash (2019), não se utiliza o mesmo tipo de cabo em todo o sistema, variando em tamanho, material e função de acordo com os requisitos necessários. Os cabos mais utilizados são as fiações dos módulos, o cabo principal de corrente contínua e o cabo de conexão de corrente alternada (BALFOUR; SHAW; NASH, 2019).

2.9.6 Baterias

O conjunto de baterias está presente no sistema *off-grid* e é responsável por armazenar a eletricidade não utilizada, podendo ser aplicada em momentos de menor incidência, como a noite ou em dias chuvosos, devendo suportar diversos ciclos

repetitivos de carga-descarga. São componentes caros e que exigem muito espaço, além de uma proteção adequada e manutenção constante, que deve ser feita por profissionais qualificados (BALFOUR; SHAW; NASH, 2019; VIAN *et al.*, 2021).

2.9.7 Gerenciador de carga

O gerenciador de carga controla a entrada e saída de energia para evitar a sobrecarga das baterias, desperdícios ou a falta de energia, otimizando assim o desempenho do sistema. Eles reduzem a taxa de carregamento das baterias ou interrompem a alimentação quando as baterias estão cheias ou desconectam a carga do sistema quando as baterias estão com pouca energia, sendo que, sem os controladores, a vida útil das baterias seria muito menor (BALFOUR; SHAW; NASH, 2019; VIAN *et al.*, 2021; HCC ENERGIA SOLAR, 2022).

2.10 PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo Senai (2022, p.1), o Programa de Eficiência Energética (PEE) “obriga todas as Concessionárias de Energia Elétrica a destinar 0,5% do seu faturamento anual para financiar projetos de eficiência energética”. Este programa é regido por Leis Federais e objetiva estimular o uso eficiente e racional da energia elétrica, através de projetos viáveis economicamente, que reflitam seus benefícios e incitem o desenvolvimento de novas tecnologias. São feitas chamadas públicas anualmente, sendo que os projetos devem ser enviados no máximo 60 dias após a publicação dos editais.

2.11 PROJETOS DE APROVEITAMENTO SOLAR

Segundo Benevenuto (2016), uma forma de aplicar os recursos fornecidos pelos programas de incentivo seria um estacionamento coberto com placas solares, que, além de gerar energia, serviria como sombreamento e cobertura para veículos e usuários da edificação. Um exemplo é o estacionamento fotovoltaico da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), como observado na Figura 18. O projeto apresenta uma área de 683,1 m² e custou cerca de R\$1,6 milhões e gera aproximadamente 138,7 MWh/ano, permitindo uma economia de, aproximadamente, R\$ 63.000,00/ano (BENEVENUTO, 2016).

Figura 18 - Estacionamento fotovoltaico da Universidade Federal do Rio de Janeiro



Fonte: Campinas, 2022.

Outro exemplo de estacionamento coberto com placas solares está presente na Universidade Federal do Paraná (UFPR), como observado na Figura 19, o qual apresenta “2.376 painéis sobre as 375 vagas do estacionamento do Setor de Ciências Biológicas, além de outros 538 painéis sobre os telhados dos prédios de Engenharia Química e Engenharia Elétrica”, produzindo cerca de 1,3 mil MWh/ano e proporcionando uma economia de aproximadamente R\$ 1,5 milhão por ano (UFPR, 2022, p.1).

Figura 19 - Estacionamento fotovoltaico da Universidade Federal do Paraná



Fonte: Maggioni, 2022.

Como proposta semelhante ainda se tem o projeto para o Hospital Universitário da Universidade Federal de São Carlos (HU-UFSCar), localizado na cidade de São Carlos, Brasil, que prevê o fornecimento de 25% do consumo total de energia do HU-UFSCar no seu primeiro ano de funcionamento (FERRAZ *et al.*, 2020).

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAL

Para o trabalho proposto foi utilizado como objeto de estudo o prédio do Hospital Universitário Regional Wallace Thadeu de Mello e Silva (HU-UEPG), localizado na Rua Prof. Gabriel de Paula Machado, 601 - Uvaranas, Ponta Grossa, Paraná. Observando a Figura 20 e analisando a região onde os carros costumam estacionar e extraíndo dados do projeto fornecido pela Pró-Reitoria de Planejamento da Universidade Estadual de Ponta Grossa (PROPLAN UEPG), notou-se a presença de 146 vagas de 2,5 x 5,0 m, tendo assim uma área de aproximadamente 1825 m² ocupada por vagas e disponível para implantação do projeto. Entretanto, vale ressaltar que mais vagas foram adicionadas ao terreno desde a elaboração do projeto.

Figura 20 - Hospital Universitário Regional Wallace Thadeu de Mello e Silva

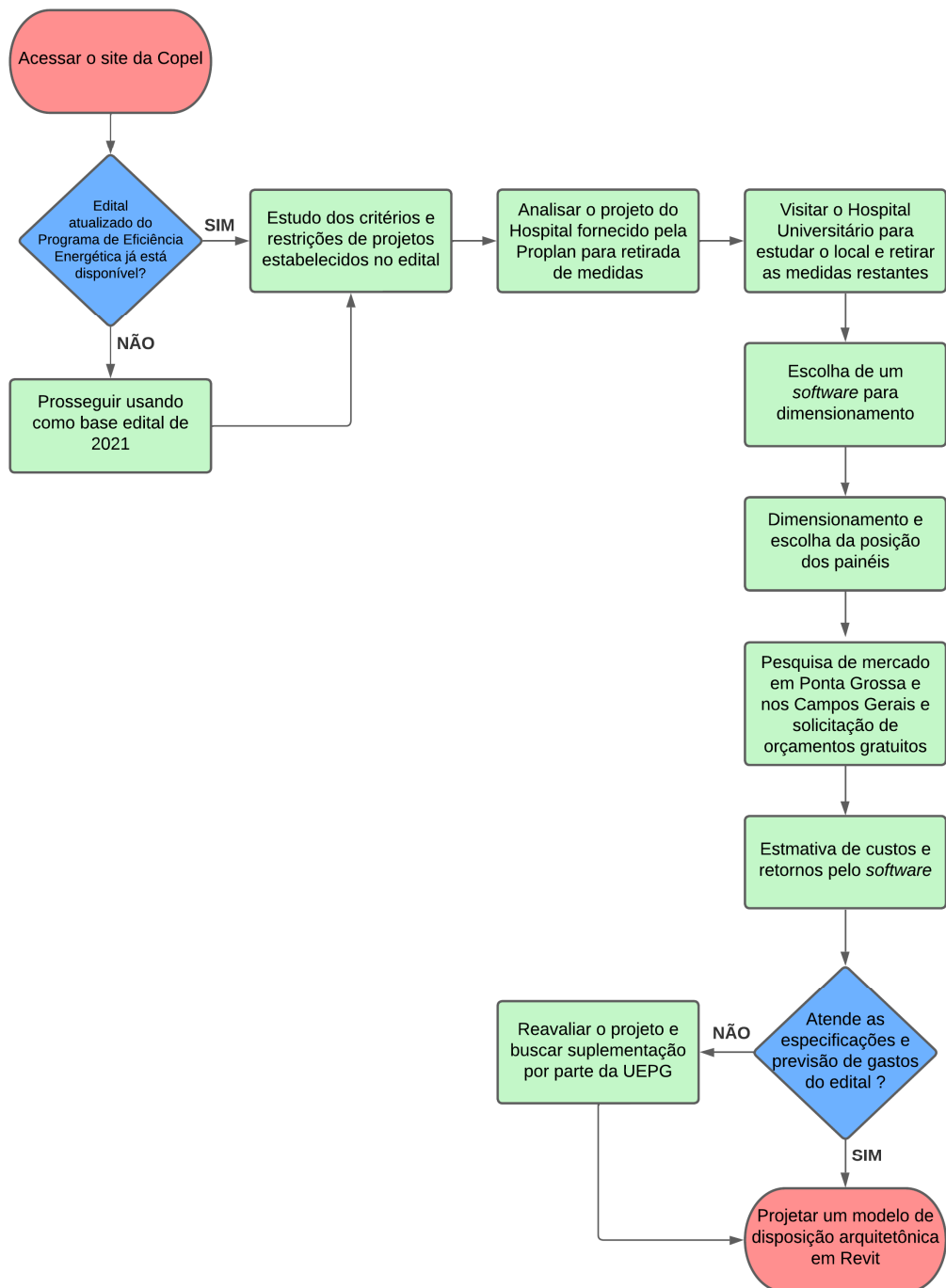


Fonte: Google Earth, 2021

3.2 MÉTODO

Para visualização das etapas do desenvolvimento foi elaborado o fluxograma apresentado na Figura 21, sendo descritas posteriormente.

Figura 21 – Fluxograma do projeto



Fonte: O autor, 2022.

3.2.1 Verificação da disponibilidade do edital de eficiência energética

Nesta etapa foi verificado qual o edital de eficiência energética da Copel mais recente disponível, para avaliação dos critérios e restrições dos projetos, assim como se haveria a necessidade de utilizar documentações do ano de 2021. Esses editais são disponibilizados anualmente e podem ser encontrados no site da Copel.

3.2.2 Estudo do local, visitas técnicas e medições

Foram realizadas visitas no hospital para estudo da região e escolha das melhores posições disponíveis para a implementação de um estacionamento coberto com placas solares, levando em consideração a área disponível, o relevo da região e possíveis efeitos de sombreamento. Para a análise da área e do relevo foram utilizadas medições com uma trena e fotos tiradas no local, além do estudo dos projetos fornecidos pela PROPLAN.

3.2.3 Escolha do *software* de dimensionamento

Para realização de trabalho, buscou-se um *software* que possuísse informações de irradiação solar brasileira, mais especificamente na cidade de Ponta Grossa, assim como um banco de dados com alguns equipamentos utilizados no país, com destaque para os painéis fotovoltaicos. Esperava-se também que a ferramenta auxiliasse na sugestão de um posicionamento adequado para os módulos, a quantidade deles possível de se implementar na região e que permitisse uma simulação inicial dos custos do projeto. Para isso, foi feita uma pesquisa bibliográfica abordando os principais conceitos desse tema e uma busca por *softwares* que trabalhem com isso, apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Possíveis *softwares* de simulação e *design* de sistema solar fotovoltaico

1	Homer Pro
2	PV F-Chart
3	pvPlanner
4	PVsyst
5	RETscreen
6	System Advisor Model (SAM)
7	Solar Pro
8	Solarius PV
9	Solergo
10	Helioscope
11	PV*SOL
12	SolarEdge Designer
13	Global Solar Atlas

Fonte: O autor, 2022.

3.2.4 Pesquisa de mercado e escolha do modelo

Para escolha dos modelos, foi feita uma pesquisa de mercado na cidade de Ponta Grossa e regiões dos Campos Gerais sobre os tipos de painéis disponíveis, com suas especificações técnicas, custos e eficiência energética, para a escolha do modelo de instalação mais adequado. Ao final da simulação, foi possível gerar um relatório com os equipamentos utilizados, energia fornecida, custos e retornos.

3.2.5 Simulação de custo e retorno energético

Como análise dos custos foram realizados orçamentos em empresas locais. Também foram analisadas as médias mensais de gastos e da demanda energética, obtidas nas contas de energia elétrica fornecidas pela PRECAM, disponível no Anexo I. Os valores obtidos foram utilizados para obtenção do tempo de retorno dos investimentos através da inserção dos mesmos no *software*.

3.2.6 Comparação com custos de projetos anteriores

Com os custos aproximados do sistema em mãos, foram avaliados os critérios do edital de eficiência energética da Copel, além de analisar os investimentos de projetos anteriores, disponíveis em editais e trabalhos científicos, para ter uma base comparativa de uma faixa de investimento padrão.

3.2.7 Modelagem da disposição arquitetônica

Por fim, foi projetada com a ajuda do *software* Revit 2020 e do *software* de dimensionamento solar uma disposição arquitetônica do estacionamento, com os painéis instalados em suas devidas posições. Não foi feito um projeto elétrico de todo o sistema, sendo esse muitas vezes realizado pelas empresas responsáveis pela instalação. O projeto arquitetônico não é focado em questões estruturais, como dimensões de vigas e pilares, sendo que seu foco abrange a localização adequada do sistema e inclinação das placas solares. Entretanto, para que um projeto seja financiado através do programa de eficiência energética, é necessária a avaliação das questões elétricas e estruturais, além de outros pontos, porém este trabalho trata apenas de elementos que servirão como base para uma possível concorrência em uma licitação futura.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos de forma mais aprofundada, detalhando o potencial de geração, os gastos, os programas e procedimentos de execução das análises.

4.1 VERIFICAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DO EDITAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Foi utilizada como base a 3ª Chamada do Edital de Eficiência Energética da Copel de 2021, considerando que o documento de 2022 ainda não estava disponível, e a Resolução Normativa Aneel Nº 920, de 23 de fevereiro de 2021, que aprova os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética.

Um ponto interessante a se destacar é que o próprio edital deu atenção para projetos voltados para hospitais públicos, afirmando que seus gastos são pagos com recursos públicos e que projetos voltados para esse tipo de instituição trazem grande visibilidade e servem de exemplo para outros setores.

Após a leitura dos documentos, constatou-se que a ideia para o projeto do Hospital Regional se enquadra no tipo de obra exigido, sendo considerado um projeto de geração com fontes incentivadas (geradores de energia definidos pela Resolução Normativa nº 482 da Aneel) para uma instituição pública de saúde.

Com o projeto, atendem-se os objetivos estabelecidos no edital de economizar energia, reduzir a demanda em horários de pico e aproveitar fontes renováveis. Porém, sua viabilidade econômica deve ser analisada de forma mais aprofundada, sendo que a proposta deverá passar por um diagnóstico prévio feito por um especialista. Alguns dos pontos mencionados acima serão abordados novamente e com mais destaque nos próximos tópicos.

O projeto ainda precisaria passar por diversas medições e verificações que devem seguir os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética e o Guia de Medição e Verificação Para o Programa de Eficiência Energética Regulado Pela ANEEL. Essa etapa deve ser feita por um profissional qualificado que pode estar ligado à distribuidora, ao consumidor, à empresa executora do projeto ou ser um funcionário independente. Contudo, essas análises abrangem questões relacionadas a projetos elétricos que não se enquadram na ideia do trabalho, que é apresentar uma ideia e estimar o potencial de geração do local, sendo sua execução necessária posteriormente.

4.2 ESTUDO DO LOCAL, VISITAS TÉCNICAS E MEDIÇÕES

Durante as visitas ao local, foi feita a contagem de vagas, totalizando 201 vagas para carros, além de um espaço reservado para motos estacionarem, distribuídas conforme a Figura 22.

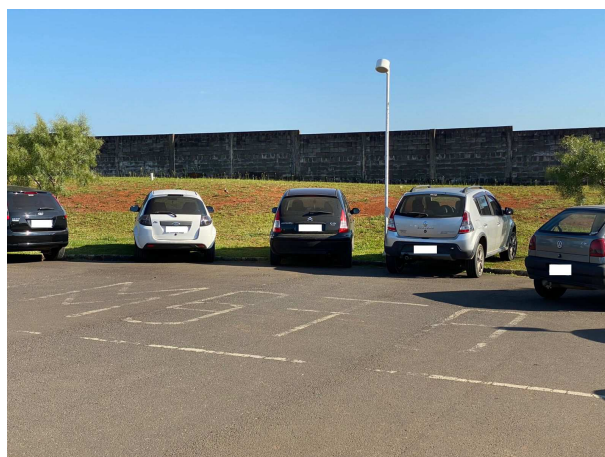
Figura 22 – Distribuição de vagas do Hospital Regional de Ponta Grossa



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2022.

Porém, notou-se que a delimitação dessas vagas não é sempre respeitada. Alguns motoristas param seus carros nos locais reservados para motos, como indicado na Figura 23, alguns invadem o meio-fio, representado na Figura 24, e outros param em locais onde não há vagas delimitadas, como demonstrado na Figura 25.

Figura 23 – Carros ocupando vagas reservadas para motos



Fonte: O autor, 2022.

Figura 24 – Carros invadindo meio-fio e gramado



Fonte: O autor, 2022.

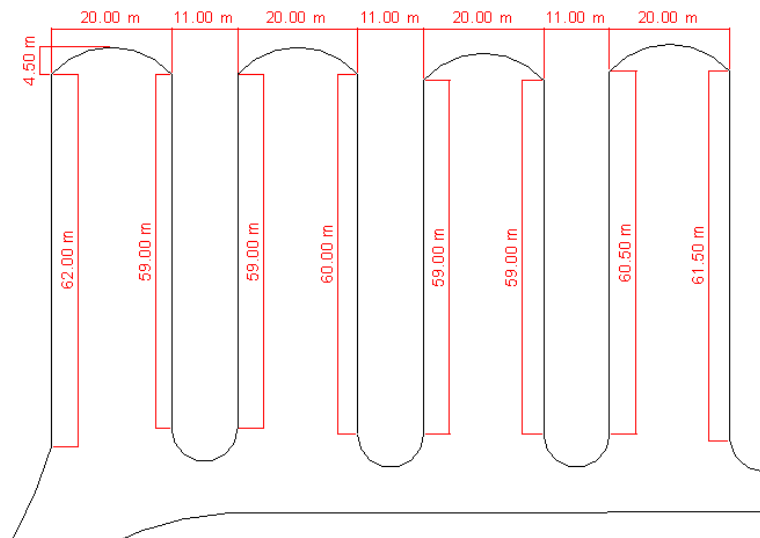
Figura 25 – Carros estacionando fora das vagas delimitadas



Fonte: O autor, 2022.

Nas visitas, também foram feitas medições do local, verificando que as quatro regiões do estacionamento possuem largura de 20 metros cada, comprimento variando entre 63,5 a 66,5 metros, estando espaçados a 11 metros um do outro, como indicado na Figura 26. Cada região possui seis esperas de cada lado e uma no centro da parte superior para colocação de postes de luz. Alguns postes já estão instalados, representados na Figura 27, e outros não, como indicado na Figura 28. Eles estão distribuídos conforme a Figura 29 (fora de escala para facilitar a visualização), onde os círculos equivalem aos postes e os quadrados às esperas.

Figura 26 – Dimensões do estacionamento do hospital regional



Fonte: O autor, 2022.

Figura 27 – Exemplo de poste de luz no estacionamento



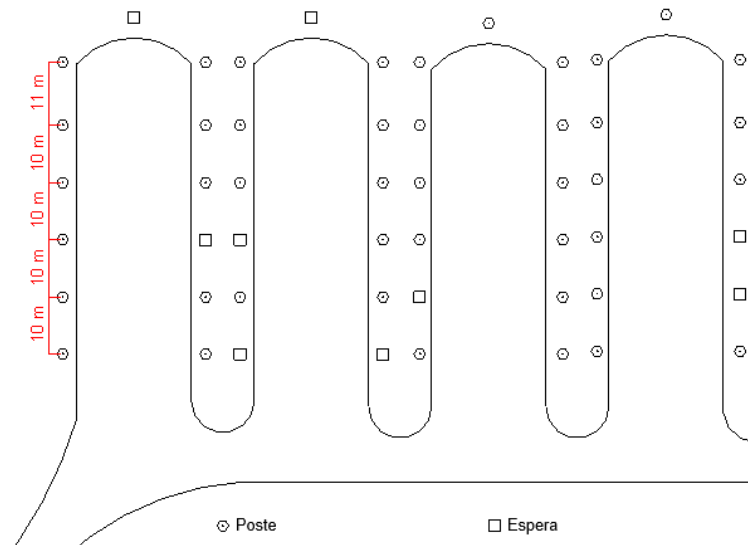
Fonte: O autor, 2022.

Figura 28 – Espera para instalação de poste de luz no estacionamento



Fonte: O autor, 2022.

Figura 29 – Distribuição de postes e esperas no estacionamento do Hospital Regional



Fonte: O autor, 2022.

4.3 ESCOLHA DO SOFTWARE DE DIMENSIONAMENTO

Dentre todos os *softwares* apontados para o dimensionamento, apenas dois foram escolhidos, enquanto os outros foram descartados por diversas razões. O Homer Pro, o PV F-Chart, o RETScreen e o System Advisor Model (SAM) foram descartados devido à necessidade de inserção de muitos valores manualmente, além de apresentarem os resultados na forma de tabelas e planilhas apenas, não permitindo visualizações 2D e 3D.

O pvPlanner e o PVSyst, apesar de serem mais intuitivos e apresentarem resultados gráficos e análises mais completas que os programas citados anteriormente, também não possuem uma visualização e modelagem 3D do sistema. Já os programas Solar Pro, Solergo e Helioscope possuíam ferramentas de trabalho tridimensional, porém não possuíam capacitações gratuitas muito completas disponíveis, sendo necessário adquirir um material mais completo por um custo.

Por fim, o SolarEdge Designer, apesar de ser bem intuitivo, completo e gratuito, exigia a liberação através de uma chave de acesso disponibilizada por um engenheiro que atuasse na área. Sendo assim, foram escolhidas as ferramentas *Global Solar Atlas* por sua facilidade de acesso e o *Solaris PV* pelas várias possibilidades de trabalho disponíveis, assim como uma capacitação *online* gratuita.

Para análise prévia do local, foi utilizada a ferramenta online *Global Solar Atlas*, que possui um aglomerado de dados regionais e nacionais, mapas interativos, além de um simulador simplificado que indica o potencial energético solar de um local

selecionado e fornece recomendações iniciais para o projeto. Ele também permite a alteração entre quatro tipos de sistemas: pequeno residencial, comercial de médio porte, grande escala montado no solo e grande escala flutuante.

Essa ferramenta foi fornecida gratuitamente pelo Banco Mundial e a Corporação Financeira Internacional e utiliza dados solares fornecidos pela Solargis. A incerteza com relação aos dados obtidos é de $\pm 4\%$ para valores a Irradiação Horizontal Global (GHI) e $\pm 9\%$ para valores da Irradiação Normal Direta (DNI) para as regiões brasileiras.

Para um dimensionamento mais detalhado foi utilizada a versão de teste de 30 dias do *software* Solarius PV. Ele calcula a irradiação solar a partir de dados climáticos extraídos do banco de dados *Meteonorm* assim que forem inseridas as coordenadas do local desejado e permite o estudo do sombreamento a partir de um coeficiente definido manualmente ou calculado a partir de um levantamento fotográfico e posterior definição de obstáculos.

Nesse *software* também é possível realizar uma modelagem BIM 3D simplificada, assim como importar arquivos DWG e IFC de outros aplicativos, como AutoCAD e Revit. Ele também possui uma biblioteca de blocos 3D que podem ser utilizados e um catálogo com diversos equipamentos disponíveis em todo o mundo. Tendo um objeto 3D modelado ou carregado, pode-se inserir a região de instalação dos módulos fotovoltaicos e editá-la posteriormente, já tendo recomendado ângulos e seus respectivos rendimentos.

No aplicativo, ainda existe a possibilidade de simular os custos com algumas entradas de dados manuais ou a partir de planilhas e gerar relatórios econômicos e de rendimento. O Solarius PV ainda apresenta algumas configurações para projetos elétricos, como diagramas unifilares automatizados, porém não são focos do trabalho.

4.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO, ESCOLHA DA POSIÇÃO DOS PAINÉIS, PESQUISA DE MERCADO E ESCOLHA DO MODELO

4.4.1 Global Solar Atlas

Inserindo as coordenadas do estacionamento do Hospital Regional de Ponta Grossa no *software Global Solar Atlas* observou-se que essa região recebe taxas de radiação solar entre 1500 e 1800 kWh/m², como indicada na Figura 30, considerando

o terreno em uma elevação média de 897 m e à uma temperatura de 18,4 °C, sugerindo como inclinação ótima dos painéis um ângulo de 25 ° e um azimute de 0 °.

Apesar de os valores de radiação solar resultantes serem menores que os presentes da Alemanha (3500 kWh/m²) mencionados no tópico 2.2 do presente trabalho, vale lembrar que essa é uma simulação em um caso específico e que as taxas superiores são casos genéricos no Brasil para facilitar a compreensão.

Figura 30 – Mapa solar da região do estacionamento do Hospital Regional de Ponta Grossa



Fonte: Adaptado de Banco Mundial e Corporação Financeira Internacional, 2019.

Entretanto, devido a questões estéticas e pelo sombreamento que a instalação do sistema nessa posição poderia causar, foi adotada uma inclinação de 10 ° e azimutes de 90 ° e 270 °. Os azimutes foram adotados considerando a disposição da cobertura e a inclinação com base em um bom rendimento (mais de 90%) segundo o Solarius PV. Para os cálculos dos fatores solares, o *Global Solar Atlas* utiliza entradas de dados de satélites geoestacionários e modelos meteorológicos. Ele também calcula o sombreamento do terreno, mas desconsidera a vegetação e as edificações. Para outras perdas, como sujeira, são adotados valores genéricos.

Para análise do potencial de geração da região, considerando que o estacionamento deverá atender à pelo menos parte da demanda do hospital, foi adotado um sistema comercial de tamanho médio. O *software* considera essa configuração como sendo instalada no telhado, geralmente montados em fileiras, com orientação em paisagem e podendo gerar entre 10 e 100 kWp como padrão, apesar de esses valores serem passíveis de alteração manual, tendo sido inserido 422 kWp,

valor estimado a partir do Solarius PV. Já para os inversores, sua eficiência é estimada com base no ponto de potência máxima do conjunto de painéis conectados.

Os dados adotados por essa ferramenta estão apresentados no Quadro 3.

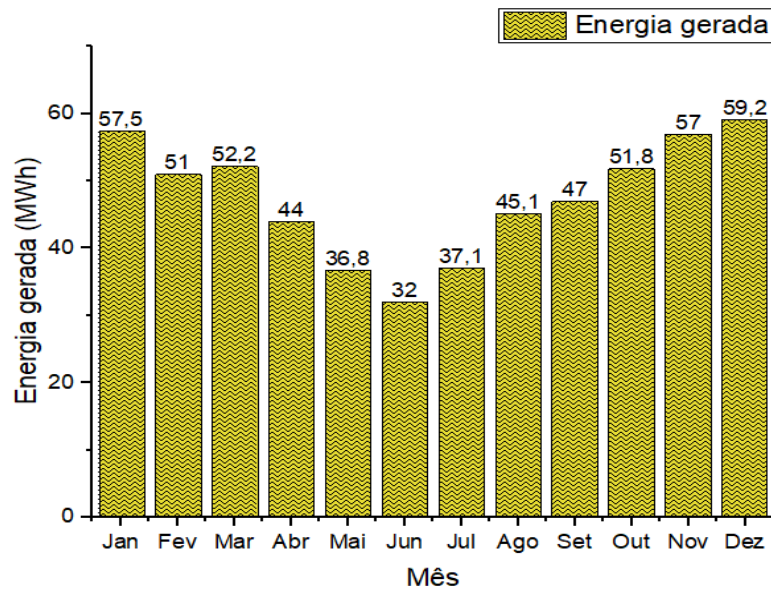
Quadro 3 – Valores padrões adotados pelo *Global Solar Atlas* para o sistema comercial médio

	Comercial de médio porte
Poder instalado (kWp)	Definido pelo usuário
Orientação do módulo fotovoltaico	Paisagem
Autosombreamento do campo fotovoltaico (%)	2,0
Espaçamento relativo entre linhas	2,5
Temp. nominal da célula de operação (°C)	49,2
Eficiência do inversor EURO (%)	96,4
Perdas DC: Sujeira (%)	4,0
Perdas DC: Cabos (%)	1,0
Perdas DC: Incompatibilidade (%)	0,5
Perdas CA: Transformador (%)	1,0
Perdas CA: Cabos (%)	0,4
Disponibilidade (%)	98,0

Fonte: Adaptado de Banco Mundial e Corporação Financeira Internacional, 2019.

Ao fim da simulação, obteve-se que o sistema geraria cerca de 570,688 MW por ano, recebendo irradiações de 1715,2 kWh/m², sendo que os meses de maio a julho geram as menores quantidades de energia (entre 170 e 185 kWh), enquanto os meses entre dezembro e fevereiro geram as maiores (entre 240 e 250 kWh), como demonstrada no Gráfico 4. Tanto os valores das altas energéticas quanto os valores das baixas estão relacionados com a proximidade da região em relação ao sol, que varia ao longo do ano.

A descrição mais detalhada dos resultados pode ser vista no relatório completo apresentado no Anexo II. Vale lembrar que essa ferramenta é utilizada para estimativas iniciais por utilizar de muitos valores genéricos, mas é interessante para se ter uma base de dados e um efeito comparativo.

Gráfico 4 - Médias mensais de energia produzida em MWh (*Global Solar Atlas*)

Fonte: Adaptado de Banco Mundial e Corporação Financeira Internacional, 2019.

4.4.2 Solarius PV

Foi inserido o endereço do Hospital Regional de Ponta Grossa no *software* Solarius PV, tendo assim obtido as coordenadas do projeto, uma taxa de irradiação solar média anual de 1.644,22 kWh/m², considerando o terreno em uma elevação média de 892 m, com base no banco de dados *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS).

Em seguida, para obter um índice de sombreamento, foram adicionadas no programa fotos tiradas no local e modelados de forma simplificada os obstáculos da região. Depois, ajustou-se o Norte no diagrama e um ângulo de visão de 8 ° (campo de visão humana aproximada recomendado pelo *software*). O coeficiente de sombreamento resultante foi de 0,91.

Também foi adotada uma refletância de superfícies adjacentes padrão de 0,31, que seria a média entre as refletâncias das superfícies ao redor do Hospital Regional: asfalto envelhecido (0,10), grama verde (0,26), superfícies escuras de edifícios (0,27) e superfícies claras de edifícios (0,60). Esses valores também já vêm carregados no *software*, sendo o valor final adotado passível de edição.

O próximo passo foi a projeção do local. Para isso, o programa necessita que sejam inseridos campos fotovoltaicos onde serão colocados os painéis. Esses campos podem ser desenhados do zero ou gerados automaticamente clicando em uma superfície já existente. O método escolhido foi o de geração automática com base em

uma estrutura simplificada modelada em Revit, de dimensões 5 por 5 m, posteriormente ajustadas para os tamanhos dos módulos.

Apesar de, como mencionado anteriormente, não serem dimensionados os elementos estruturais do projeto, foi observado em obras semelhantes, como o estacionamento da UFRJ e da UFPR, que geralmente se utilizam apenas estruturas metálicas elevadas, sem estarem apoiadas em lajes. O Solarius PV já possui uma biblioteca 3D com alguns itens, como estruturas de telhados prontos, porém se fosse adotado algum dos modelos já disponíveis a disposição das vagas necessitaria de mudanças.

Com os campos ajustados, foi iniciada a simulação. O primeiro passo foi a escolha de angulação dos módulos, sendo adotadas inclinações de 10° para se obter um alto rendimento. A partir das fotos e do diagrama nelas configurado, o *software* detectou automaticamente os azimutes a partir do modelo 3D como sendo 90° e 270° (-90°) e forneceu uma tabela com os rendimentos para cada inclinação em cada azimute. Adotando-se a inclinação de 10° para as placas, os rendimentos foram de 95,17% para o azimute de 90° e 93,87% para o azimute de 270° , recebendo uma irradiação anual de 1.488,23 kWh/m². Os procedimentos descritos nesse parágrafo estão representados na Figura 31.

Figura 31 – Definição do posicionamento dos painéis no programa Solarius PV



Fonte: Adaptado de ACCA Software, 2021.

Em seguida, deveriam ser escolhidos os modelos de módulos para a simulação. Como citado nas etapas anteriores, o programa já possui diversos equipamentos e suas especificações técnicas cadastrados em seu banco de dados, como demonstrado na Figura 32 e na Figura 33.

Figura 32 – Catálogo de módulos no programa Solarius PV

Marca	Série	Modelo	Tipo
Lubi Solar	LE24M360-380	LE24M380	Silício monocrista...
Lubi Solar	LE24M360-380	LE24M375	Silício monocrista...
Lubi Solar	LE24M360-380	LE24M370	Silício monocrista...
Lubi Solar	LE24M360-380	LE24M365	Silício monocrista...
UR Energy LLC	URE-6MA Series (350-360W)	URE-360-6MA	Silício monocrista...
Lubi Solar	LE24M360-380	LE24M360	Silício monocrista...
AIONRISE	AION414SH Series 635-675 Wp	675W	Silício monocrista...
Sunergy Solar	MONO450W-480Wp-550W-6...	SSM670-132	Silício monocrista...
Cell Solar Energy Co., Limited	Mono450W-Mono 540-550W...	CSM670-132	Silício monocrista...
AIONRISE	AION414SH Series 635-675 Wp	670W	Silício monocrista...
UR Energy LLC	URE-6MA Series (350-360W)	URE-355-6MA	Silício monocrista...
AIONRISE	AION414SH Series 635-675 Wp	665W	Silício monocrista...
AIONRISE	AION414SH Series 635-675 Wp	660W	Silício monocrista...

Fonte: Adaptado de ACCA Software, 2021.

Figura 33 – Exemplo das especificações de um módulo no programa Solarius PV

Dados gerais			
Código	M.27007	Tipo material	Silício monocristalino
Marca	JA Solar Holdings Co., Ltd.	Série	JAM72S30 525-550/MR
Modelo	JAM72S30-550/MR	Nação produtor	China
Preço [R\$]	0.00	Anos de garantia	12
Características elétricas em condições STC		Características mecânicas	
Potência de pico [W]	550.0	Comprimento [mm]	2 279
Im [A]	13.11	Espeçura [mm]	35
Isc [A]	14.00	Largura [mm]	1 134
		Superfície [m ²]	2.584
		Peso [kg]	28.60
		Número células	144
Outras características elétricas		Notas	
Coef. Voc [%/°C]	-0.2750	NOCT [°C]	45±2
Coef. Isc [%/°C]	0.045	Vmax [V]	1 500.00

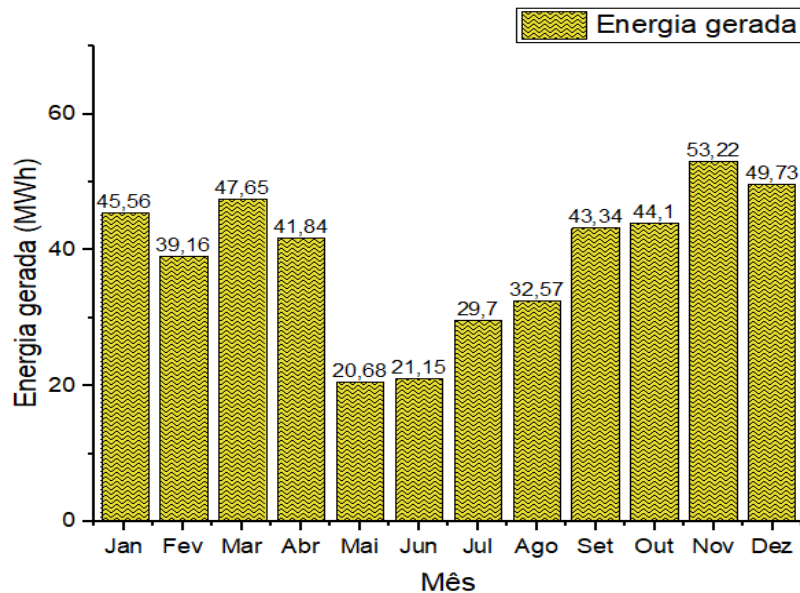
Fonte: Adaptado de ACCA Software, 2021.

Após consultas com membros das empresas Solarini, BlueSol, MDA Solar, Solar Ponta, Imperium Solare, Gerassol e EcoPower Órfãs, foi constatado que a grande maioria dos painéis utilizados são monocristalinos, devido a sua maior eficiência, durabilidade e disponibilidade, sendo que os policristalinos e de filmes finos estão caindo em desuso. Dentro das fabricantes citadas pelas empresas, as mais comuns entre elas e consideradas de melhor qualidade pelas mesmas foram as marcas Canadian, Risen, JA Solar e Trina Solar.

O painel escolhido foi o JAM72S30 525-550/MR, da empresa JA Solar Holdings Co., Ltd. Esse modelo é de silício monocristalino, apresenta uma potência de pico de 550 W e uma área de 2,584 m², tendo sido recomendado pela MDA Solar em uma das conversas por apresentar um preço mais vantajoso para o tamanho do projeto. As especificações do modelo adotado podem ser observadas na ficha do produto disponível no Anexo III. Cada estrutura projetada em Revit comportaria 8 painéis desse modelo, colocados verticalmente.

Ao fim da configuração de campos e placas solares, obteve-se um total de 8 fileiras de coberturas, cada uma contendo 12 estruturas que abrigam 8 painéis solares monocristalinos, totalizando 768 módulos, ocupando uma área de 1984,51 m², proporcionando uma potência de 422,4 kW e com potencial para gerar 468.728,16kWh por ano. Os valores mensais estão apresentados no Gráfico 5. É interessante observar que, apesar de seus valores serem diferentes, segue-se o padrão obtido com o *Global Solar Atlas* de baixas energéticas entre os meses de maio e julho devido à proximidade solar. A descrição mais detalhada dos resultados pode ser vista no relatório completo apresentado no Anexo IV.

Gráfico 5 - Médias mensais de energia produzida em MWh (Solarius PV)



Fonte: Adaptado de ACCA Software, 2021.

Esse sistema foi distribuído em 4 inversores de 70 kW cada, sendo que cada inversor abrigava 192 módulos. O modelo de inversor recomendado também pela MDA Solar foi o *Growatt On-Grid Max75ktl3-Xl2* 75 kW trifásico 220 V 8MPPT de monitoramento, entretanto como o Solarius PV não apresentava esse modelo em seu banco de dados, foi adotado outro com características semelhantes, também sendo trifásico e com uma potência próxima a desejada: *Autarco BV UX-MII Series On-Grid* 70 kW trifásico 6MPPT de monitoramento. As especificações dos inversores recomendados pela MDA Solar podem ser observadas na ficha do produto disponível no Anexo V.

4.5 SIMULAÇÃO DE CUSTO E RETORNO ENERGÉTICO

Os custos do sistema foram calculados com base em orçamentos gratuitos empresariais e também no programa Solarius PV. Entretanto, o *software* não possui valores de equipamentos cadastrados, sendo necessário inseri-los manualmente. Conversando com as empresas, foi questionado sobre os custos e formas de aquisição dos mesmos.

Nenhuma das empresas consultadas trabalha com a venda direta de módulos solares. Elas também afirmaram que geralmente não se adquirem painéis individualmente. Na maioria dos casos, são comprados *kits* fotovoltaicos (placas solares, inversores, cabos, conectores), muitas vezes personalizados para as necessidades de cada cliente, sendo que, diferente do painel isolado, os kits são isentos do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços).

Solicitando orçamentos gratuitos, obtiveram-se valores consideráveis para o projeto. Através de conversas com um dos funcionários da empresa Solar Ponta, foi realizada uma simulação de custos com base na quantidade de painéis possíveis de se instalar na área desejada. O valor obtido para uma quantidade de 700 placas (valor adotado pela empresa na simulação) foi de R\$ 994.227,76. Dentro desse valor foram enquadrados os módulos fotovoltaicos, cabos, conectores e um kit de estrutura para solo, já que a plataforma utilizada por eles não possuía estrutura coberta em seu catálogo. Valores de inversores e mão de obra não entraram nessa estimativa.

Entrando em contato com um dos membros da equipe da empresa MDA Solar, solicitou-se um orçamento, também feito com base na localização e área disponível, porém agora com 760 painéis devido ao modelo adotado pelo vendedor durante sua simulação e com os custos de inversores e mão de obra inclusos. Com isso, o total estimado foi de aproximadamente R\$1.900.000,00. O atendente ainda mencionou que desse total, cerca de 1 milhão de reais equivale aos custos dos módulos e inversores apenas.

Esse valor de 1 milhão traz uma visão de custo mais alinhada com a da Solar Ponta, que, apesar de desconsiderar os inversores, considera os módulos, assim como a MDA Solar, que, por sua vez, não considera nessa faixa de milhão cabos e conectores. Ambos os orçamentos completos estão disponíveis no Anexo VI.

Considerando que os valores fornecidos pela MDA Solar estariam mais completos e mais alinhados com os resultados obtidos com o Solarius, foi adotado o valor de R\$1.900.000,00 como custo do projeto para inserção e simulação no

software. Já para o consumo, foi feita a somatória dos valores da conta de energia de novembro de 2021 a outubro de 2022, seguida de um cálculo de média mensal, chegando a um valor de 2.034.597,6 kWh anuais. Com esses números, o programa estimou um tempo de *payback* (tempo para o projeto começar a dar retorno) em 8 anos. O procedimento de cálculo do programa, assim como gráficos com indicadores financeiros estão presentes no relatório econômico disponível no Anexo VII.

4.6 COMPARAÇÃO COM CUSTOS DE PROJETOS ANTERIORES

Durante a leitura do Edital de Eficiência Energética de 2021, constatou-se que o valor máximo investido por projeto seria de R\$ 1.200.000,00. Entretanto, o custo do projeto ser menor que o valor apresentado não basta para que seja considerado viável. Devem-se analisar os benefícios que a proposta traria do ponto de vista do sistema elétrico (economia de energia e redução da demanda) e/ou do consumidor (análise do preço pago por ele). Para o tipo de projeto proposto, é permitido analisar os benefícios econômicos a partir da última fatura da Copel (ótica do consumidor), sendo que a relação custo benefício deve ser menor ou igual a 1.

Com os resultados finais da simulação e os dados obtidos com orçamentos disponibilizados por empresas de Ponta Grossa, nota-se que o custo prévio do projeto já extrapolaria o máximo disponibilizado pelo edital, sendo que se optassem por seguir adiante com a obra, seria necessária a suplementação de gastos por parte da UEPG.

Além disso, os cálculos realizados na elaboração dos orçamentos só levaram em consideração os gastos necessários para ligação entre os painéis, não sendo considerados as ligações com as fiações já existentes, por exemplo. O edital da Copel ainda exige que sejam considerados nos cálculos outros custos, como *marketing*, capacitações e o próprio diagnóstico prévio. Sendo assim, mesmo não tendo sido calculado o custo benefício devido à falta de dados completos, é plausível de se afirmar que o projeto terminaria com um valor ainda maior que o estimado.

4.7 MODELAGEM DA DISPOSIÇÃO ARQUITETÔNICA

Com todos os resultados obtidos (8 fileiras de coberturas com 12 estruturas que abrigam 8 painéis e um total de 768 módulos), foi dado início a modelagem 3D final. A estrutura asfáltica e as vagas do estacionamento foram modeladas dentro do próprio Solarius, tendo sido exportadas em formato de arquivo IFC (*Industry Foundation Classes*) para que pudesse ser inserido no programa Revit 2020. Esse

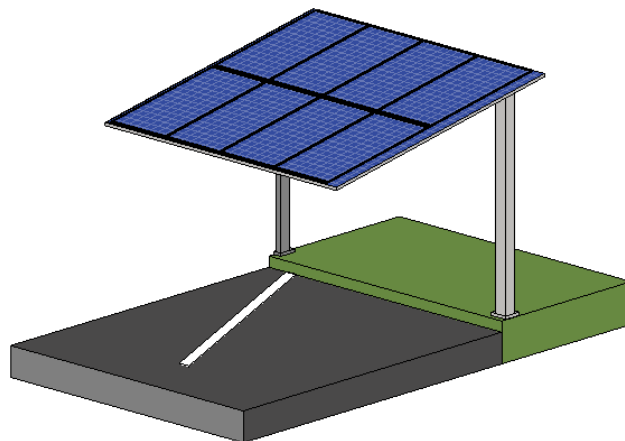
formato de arquivo é um padrão para transferência de modelos BIM, geralmente contendo um modelo 3D do projeto para compatibilização.

Apesar de a região do estacionamento ser inclinada, os pisos foram modelados de forma plana para facilitar a visualização, porém em níveis diferentes. No entorno de cada região, foi feito um piso de gramado mais elevado, na altura do meio-fio, para servir de apoio para as estruturas.

O próximo passo foi o ajuste da estrutura simplificada. Como ela havia sido modelada anteriormente apenas para projeção dos campos fotovoltaicos, não houve uma grande preocupação com as medidas exatas, desde que ocupasse a região das vagas. Com as etapas anteriores finalizadas, os pilares de sustentação foram ajustados para que a menor altura do asfalto até o telhado fosse superior aos 2,85 m mínimos para coberturas apresentado no Código de Obras de Ponta Grossa.

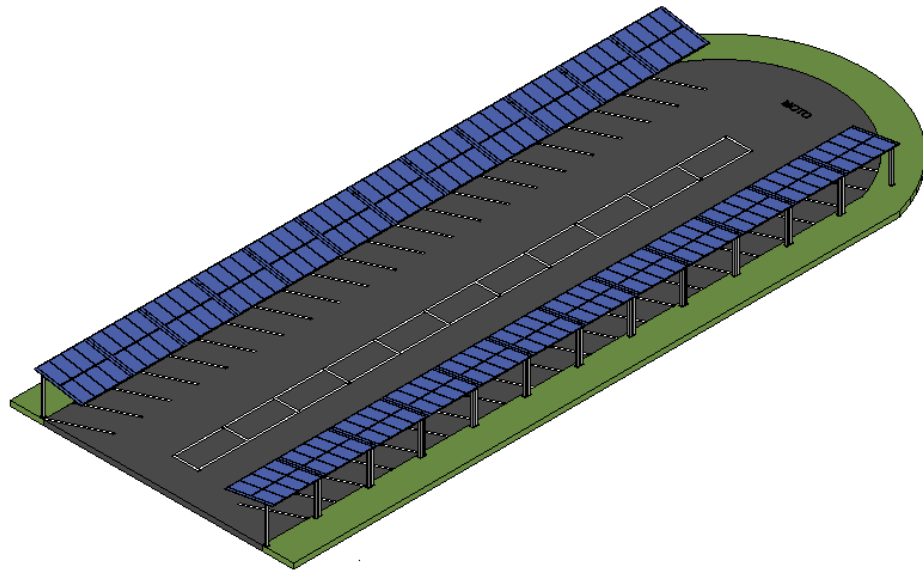
Com as dimensões e inclinação dos painéis obtidas no dimensionamento, foi carregada no Revit uma família de painéis fotovoltaicos e posteriormente editada para apresentar as medidas corretas. As placas foram, então, posicionadas na parte superior da estrutura. Um modelo de uma das estruturas cobertas pode ser observado na Figura 34, enquanto um exemplo de uma das regiões completas modeladas pode ser observado na Figura 35. Os arquivos contendo o projeto completo estão disponíveis no Anexo VIII.

Figura 34 – Modelo da estrutura coberta com painéis fotovoltaicos



Fonte: O autor, 2022.

Figura 35 – Exemplo de região do estacionamento modelada em Revit



Fonte: O autor, 2022.

5 CONCLUSÃO

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões do presente trabalho, assim como sugestões de trabalhos que podem ser desenvolvidos futuramente para continuidade do tema.

5.1 CONCLUSÕES

O Hospital Universitário Regional Wallace Thadeu de Mello e Silva (HU-UEPG) é um grande consumidor de energia elétrica, utilizando entre 150 e 180 mil kWh/mês, completando o ano com mais de 2 milhões de quilowatts gastos. Esse alto consumo é refletido no valor da fatura, que variou entre R\$ 80.000,00 e R\$ 130.000,00, aproximadamente, no ano de 2022.

Para aliviar esses gastos, buscou-se realizar uma base inicial de um projeto de eficiência energética para um possível financiamento, tomando como orientação o edital da Copel de 2021. A ideia se encaixaria como um projeto de geração com fontes incentivadas, tendo a possibilidade de ser investido até 1,2 milhões de reais por parte do Estado para sua conclusão, desde que seja viável e vantajoso.

A partir desses dados e de medições feitas no local, foi projetado nos *softwares* Revit 2020 e Solarius PV um estacionamento coberto com placas fotovoltaicas para o abastecimento parcial do hospital. Esse projeto é composto por 8 fileiras de coberturas, cada uma contendo 12 estruturas que abrigam 8 painéis solares monocristalinos, totalizando 768 módulos fotovoltaicos. Com isso, obteve-se um potencial de geração de 468.368,64 kWh por ano, cerca de 23% do consumo do Hospital Regional.

Após conversas com algumas empresas que trabalham na área de instalação fotovoltaica, verificou-se que o custo da obra seria de aproximadamente 1,9 milhões de reais, valor esse que é superior ao disponibilizado pelo edital em 2021, sendo necessária a suplementação por parte da universidade. Com essas despesas, o tempo de retorno financeiro seria de 8 anos.

Apesar do elevado investimento inicial, torna-se interessante a adoção desse projeto para reduzir os gastos energéticos hospitalares nos próximos anos, porém, para sua total análise de viabilidade de execução e financiamento, seriam necessários estudos mais aprofundados e um projeto completo, incluindo elétrico e instalação.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como mencionado diversas vezes ao longo do trabalho, o projeto elétrico não foi desenvolvido, apenas algumas informações foram simuladas para obter os resultados desejados. Como recomendação tem-se a realização de um projeto elétrico do estacionamento e a ligação de seu sistema elétrico com os equipamentos já existentes no hospital.

Outra sugestão seria uma análise mais completa da viabilidade econômica, com um orçamento mais completo e detalhado da implementação do sistema projetado e uma possível adaptação para que seja aceito seu financiamento por parte do edital e da UEPG.

Por fim, existe a possibilidade da análise mais aprofundada das normas e manuais e de um possível edital mais atualizado para suggestionar o projeto a uma licitação para que possa ser executado.

6 REFERÊNCIAS

ACCA SOFTWARE. **Solarius-PV_vusBIM(b)_PTB_x64.exe**. ACCA, 2021. 6.024 Kb. Plataforma Windows.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482**. Estabelece 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, e dá outras providências. 17 de abril de 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. 24 de novembro de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 920**. Aprova os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE e revoga a Resolução Normativa nº 556, de 18 de junho de 2013, o art. 1º da Resolução Normativa nº 830, de 23 de outubro de 2018, e a Resolução Normativa nº 892, de 11 de agosto de 2020. 23 de fevereiro de 2021.

BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH, N. B. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTD, 2019. 9788521635314. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635314/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

BANCO MUNDIAL; CORPORAÇÃO FINANCEIRA INTERNACIONAL. **Global Solar Atlas**. BANCO MUNDIAL, 2019. Plataforma Windows.

BATISTA, L. **Alta do petróleo fez País viver crise nos anos 1970**. Disponível em: <http://m.acervo.estadao.com.br/noticias/acervo,alta-do-petroleo-fez-pais-viver-crise-nos-anos-1970,10618,0.htm>. Acesso em: 29 jul. 2022.

BENEVENUTO, R. S. **Os benefícios da geração de energia elétrica através do sistema fotovoltaico no estacionamento do centro de tecnologia da UFRJ**. 2016, 61 f. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

BK KENT WEEK. **Como Funciona Sistema Solar Fotovoltaico**. Disponível em: <https://bkkentweek.com/image-collection/como-funciona-sistema-solar-fotovoltaico>. Acesso em: 18 set. 2022.

BLUE SOL. **Energia Solar em Ponta Grossa: quanto custa e como instalar seu sistema**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-em-ponta-grossa/>. Acesso em: 01 abr. 2022.

BRAINLY. **Podemos dizer que a incidência de raios solares ocorre de maneira igualitária na terra? Justifique sua resposta**. Disponível em: <https://brainly.com.br/tarefa/31845329>. Acesso em: 29 jul. 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira**. Brasília, 2021a.

BRASIL. **CHAMADA Nº. 003/2021**. Projeto Prioritário de Eficiência Energética: “Eficiência Energética em Hospitais Públicos ou Certificados pelo CEBAS”. Brasília, DF, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, out. 2021b.

CAMPINAS, C. **UFRJ inaugura estacionamento solar que vai economizar R\$ 40 mil em energia por ano**. Disponível em: <https://cartacampinas.com.br/2015/08/ufrj-inaugura-estacionamento-solar-que-vai-economizar-r-40-mil-em-energia-por-ano/>. Acesso em: 18 set. 2022.

COPEL. **Programa de Eficiência Energética**. Disponível em: <https://copelsustentabilidade.com/programas/programa-de-eficiencia-energetica/>. Acesso em: 08 dez. 2021.

CORSINI, I; BRASIL, F. **Produção de energia por termelétricas cresce 77% em 2021, aponta estudo**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/producao-de-energia-por-termeletricas-cresce-77-em-2021-aponta-estudo/>. Acesso em: 02 jul. 2022.

COSTA, R. E. O. **O uso de placas fotovoltaicas: uma revisão bibliográfica**. 2020, 33f. Monografia (Bacharel em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2020.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico. Rio de Janeiro: 2018. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, Rio de Janeiro, p. 1-42, maio 2003. Resenha.

DEVENS, G. R. **Projeto de Eficiência Energética Aplicado ao Hospital Margarida**. 2016, 104f. Monografia (Título de Engenheiro Eletricista) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2016.

ENERGY SOLVER. **Sistema Off-Grid (Sem conexão à Rede de Distribuição)**. Disponível em: <https://www.energysolver.com.br/single-post/sistema-off-grid>. Acesso em: 02 dez. 2022.

GONÇALVES, A. R. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

GOOGLE EARTH. **Alameda Nabuco de Araújo, 601**. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/Alameda+Nabuco+de+Ara%C3%B4jo,+601+-+Uvaranas,+Ponta+Grossa+-+PR,+84031-510/@-25.0984197,-50.10225766,894.70914237a,433.05161074d,35y,13.24999726h,0t,0r/data=CigiJgokCfMVrppTBDRAEfEVrppTBDTAGZ1H3ztNwiDAIS8dBe75clvA>. Acesso em: 13 ago. 2022.

GRIDPOWER. **Energia Solar**. Disponível em: <http://gridpower.com.br/energia-solar/>. Acesso em: 30 mar. 2022.

HABITISSIMO. **Energia Solar Fotovoltaica - Sistemas Isolados (Off-Grid)**. Disponível em: <https://projetos.habitissimo.com.br/projeto/energia-solar-fotovoltaica-sistemas-isolados-off-grid>. Acesso em: 22 jul. 2022a.

HABITISSIMO. **Sistema de Energia Solar Residencial**. Disponível em: <https://projetos.habitissimo.com.br/projeto/sistema-de-energia-solar-residencial>. Acesso em: 22 jul. 2022b.

HCC ENERGIA SOLAR. **Kit de energia solar**: saiba quais são os equipamentos utilizados. Disponível em: <https://hccenergiasolar.com.br/posts/kit-de-energia-solar-saiba-quais-sao-os-equipamentos-utilizados/>. Acesso em: 01 abr. 2022.

JOI. **DO INÍCIO AO FIM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ON-GRID**. Disponível em: <https://energes.com.br/sistema-solar-on-grid/>. Acesso em: 13 ago. 2022.

LUZ SOLAR. **Como funciona o sistema fotovoltaico**. Disponível em: <https://luzsolar.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 30 mar. 2022.

MAGGIONI, I. **Vagas de carros e usina**: estacionamento da UFPR passa também a produzir energia solar. Disponível em: <https://tribunapr.uol.com.br/noticias/curitiba-regiao/vagas-de-carros-e-usina-estacionamento-da-ufpr-passa-tambem-a-produzir-energia-solar/>. Acesso em: 22 jul. 2022.

MAUAD, F. F.; FERREIRA, L. C.; TRINDADE, T. C. G. **Energia Renovável no Brasil: Análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras**. São Carlos: EESC/USP, 2017. Disponível em: <http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/168/154/740>. Acesso em: 08 dez. 2021.

MOREIRA, J. R. S. *et al.* **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021. 9788521636816. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636816/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

MRKSOLAR. **MRK Solar**. Disponível em: <https://www.mrksolar.com.br/>. Acesso em: 30 mar. 2022.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004, 21f. Monografia (Pós-Graduação *Lato-Sensu* em Fontes Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2004.

NICOLA, V. A. *et al.* Estudo e implementação de um estacionamento solar fotovoltaico conectado à rede elétrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais**. Gramado, 2018. p. 2.

OLIVEIRA NETO, A. **Análise do impacto da geração distribuída em um sistema de distribuição**. Estudo de caso: Alimentador do setor de embaixadas sul, Brasília - DF. 2016, 104f. Monografia (Bacharel em Engenharia de Energia) – Universidade de

Brasília, Brasília, DF, 2016. Disponível em: https://fga.unb.br/articles/0001/6709/TCCArgemiro_VF.pdf. Acesso em 10 jul. 2022.

PEREIRA, N. X. **Desafios e Perspectivas da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Geração Distribuída Vs Geração Centralizada**. 2019, 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2019.

PORTAL SOLAR. **Como funciona o Painel Solar Fotovoltaico (Placas Fotovoltaicas)**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 29 jul. 2022a.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar: Vantagens**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-vantagens>. Acesso em: 22 mar. 2022b.

PORTAL SOLAR. **Tipos de painel solar fotovoltaicos**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 22 mar. 2022c.

RIBAS, L. **Efeito fotovoltaico** - Como a energia é gerada. Disponível em: <https://www.ensolare.com.br/blog/efeito-fotovoltaico-como-a-energia-e-gerada>. Acesso em: 29 jul. 2022.

SANT'ANA, Jéssica. **Governo anuncia bandeira tarifária 'escassez hídrica'; custo será de R\$ 14,20 a cada 100 kWh**, 31 ago. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/crise-da-agua/noticia/2021/08/31/governo-anuncia-criacao-da-bandeira-tarifaria-escassez-hidrica-acima-da-vermelha-patamar-2.ghtml>. Acesso em: 08 dez. 2021.

SENAI. **Programa de Eficiência Energética (PEE)**. Disponível em: <https://www.senaipr.org.br/tecnologiaeinovacao/productividadeeficiencia/programa-de-eficiencia-energetica--pee-1-35989-419524.shtml>. Acesso em: 30 mar. 2022.

TOPSUN ENERGIA SOLAR. **Brasil ocupa 9ª posição no ranking de países que mais instalaram energia solar em 2020**. 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.

UFPR. **Energi UFPR: maior usina solar fotovoltaica em carport do Brasil funcionará em campus de Curitiba**. Disponível em: <https://www.ufpr.br/portafulpr/noticias/energi-ufpr-maior-usina-solar-fotovoltaica-em-carport-do-brasil-esta-em-funcionamento-no-politecnico/>. Acesso em: 18 set. 2022.

VIAN, A. *et al.* **Energia Solar Fundamentos Tecnologia e Aplicações**. São Paulo: Editora Blucher, 2021. 9786555500592. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555500592/>. Acesso em: 02 abr. 2022.

VILLALVA, M.G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2012.

7 ANEXOS

7.1 ANEXO I – QR CODE DE ACESSO AO DRIVE COM A CONTA DE ENERGIA DO HOSPITAL



7.2 ANEXO II – QR CODE DE ACESSO AO DRIVE COM O RELATÓRIO DO GLOBAL SOALR ATLAS



7.3 ANEXO III – QR CODE DE ACESSO AO DRIVE COM AS ESPECIFICAÇÕES DO PAINEL SOLAR



7.4 ANEXO IV – QR CODE DE ACESSO AO DRIVE COM O RELATÓRIO TÉCNICO
FEITO NO SOLARIUS E FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA



7.5 ANEXO V – QR CODE DE ACESSO AO DRIVE COM AS ESPECIFICAÇÕES
DO INVERSOR



7.6 ANEXO VI – QR CODE DE ACESSO AO DRIVE COM OS ORÇAMENTOS



7.7 ANEXO VII – QRCODE DE ACESSO AO DRIVE COM O RELATÓRIO
ECONÔMICO GERADO PELO SOLARIUS



7.8 ANEXO VIII – QRCODE DE ACESSO AO DRIVE COM A PRANCHA DO
PORJETO DO ESTACIONAMENTO

