

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Uso de energia fotovoltaica em edificações de grande porte: estudo de caso do Centro de Cultura e Eventos da UFSCar

Nome do aluno: Mateus dos Santos Quito

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para a conclusão da graduação em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Douglas Barreto

São Carlos, 2021

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo do potencial energético do Centro de Cultura e Eventos da Universidade Federal de São Carlos, a partir da instalação de um sistema fotovoltaico, de forma a apresentar uma alternativa a geração de energia e impactar na diminuição dos gastos de energia do setor público brasileiro. A pesquisa envolveu o uso de softwares como o *SunData* do CRESESB (Centro de Referências para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito) para obtenção de dados como irradiação solar e o GoogleMaps para a obtenção das coordenadas e finalmente, o PVsyst para dimensionamento do sistema além de visitas técnicas e obtenção de medidas por meio do projeto arquitetônico, culminando em um sistema fotovoltaico de aproximadamente 383kW de potência instalada. O resultado disso foi sistema capaz de gerar aproximadamente 563MWh de energia por ano, o que representa aproximadamente 4% da demanda energética da UFSCar. Por fim, realizou-se uma análise financeira do investimento necessário para a implementação deste sistema e constatou-se que seria possível retornar o valor de investido de aproximadamente R\$2.112.660,00 em aproximadamente 6 anos, considerando os valores da tarifa atual de energia. Com este trabalho, espera-se que seja possível caminhar em direção à sustentabilidade econômica e ambiental e contribuir com a transformação do Campus da UFSCar numa usina urbana.

Palavras-chave: Energia solar, Sistema fotovoltaico, Aplicação em universidade, Energia renovável

Use of photovoltaic energy in large buildings: a case study of the UFSCar Culture and Events Center

ABSTRACT

This paper presents an study about the energetic potential of the Culture and Events Center of Federal University of São Carlos, from the photovoltaic system instalation to introduce na alternative to the energy generation and contribute to decrease of energy expanses of the Brazilian public sector. The research involved the use of software such as SunData from CRESESB (Center of References for solar and Wind Energy Sérgio de S. Brito) to obtain data such as solar irradiation and GoogleMaps to obtain the coordinates and finally, the PVsyst for sizing the system beyond technical visits and obtaining measurements through the architectural project, culminating in a photovoltaic system of approximately 383kW of installed power. The result was a system capable of generating approximately 563MWh of energy per year, which represents around 4% of the UFSCar energy demand. Finally, a financial analysis amount for the system implemantation was performed and it was found that it would be possible to return the R\$ 2.112.600,00 invested in approximately 6 years, considering the actual energy tariff. With this study, it is expected that it will be possible to move towards economic and environmental sustainability and contribute to the transformation of the UFSCar Campus into an urban power plant.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos aos meus pais, Marcos e Mônica, por acreditarem no meu potencial e me fornecerem todas condições e oportunidades de chegar até aqui, por me ensinarem o valor da humildade, da educação e do amor.

Aos meus amigos, que tiveram papel essencial em tornar essa jornada mais fácil e prazerosa, me apoiando em todos momentos difíceis e dividindo os momentos bons. Amigos os quais me ajudaram e fizeram parte de quem eu sou hoje, Bruno Lipi, Bruno Furlam, Stefano Amaral, Lucas Holanda, Matheus Inglês, Thales Carneiro, Maria Júlia, Guilherme Souto, Fernando Medeiros, Gustavo Saito, Gabriel Cruz, Ana Sabbadin, Patricia Canavese, Amanda Vivaldini, Breno Oscar, Júlia Neves e Bruno Furlam, por toda ajuda e parceria nos estudos, nada seria possível sem vocês.

Aos meus mestres e professores durante toda a vida, que me ensinaram o valor do estudo e o potencial de transformação que o conhecimento tem. Em especial, ao meu professor e orientador Douglas, por ser um modelo e exemplo de competência e dedicação desde o começo, por toda atenção e cuidado que teve comigo, e por tornar este trabalho possível e fácil de ser feito.

Por fim, agradeço ao Diretor do Centro de Gestão do Espaço Físico da UFG (Cegef), Marco Antônio de Oliveira, por ceder as informações sobre o Centro de Eventos da UFG. Também agradeço à Secretária de Gestão e do Espaço Físico (SEGEF) Profa. Dr. Luciana Márcia Gonçalves e à arquiteta Raquel Januzzi, pelo apoio em fornecer as informações do Centro de Cultura e Eventos da UFSCar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do módulo fotovoltaico	10
Figura 2 - Irradiação solar média diária.....	11
Figura 3 - Geração distribuída solar fotovoltaica por classe de consumo	12
Figura 4 - Potência instalada por UF e renda média mensal	13
Figura 5 - Esquema de sistema <i>on-grid</i>	15
Figura 6 - Sistema fotovoltaico de 10,24 kWp integrado ao Centro de Cultura e Eventos da UFSC e conectado à rede elétrica.....	16
Figura 7 - Composição de custos de um sistema fotovoltaico	18
Figura 8 - Fluxograma das etapas do projeto	22
Figura 9 - Centro de Convenções UFG.	24
Figura 10 - Centro de Cultura e Eventos da UFSCar.	25
Figura 11 – Visão de Satélite do IFSP na parte superior e Campus UFSCar São Carlos na parte inferior da imagem.....	26
Figura 12 - Centro de Cultura e Eventos da UFSCar visto de cima com dimensões aproximadas.....	27
Figura 13 - Centro de Convenções UFG antes da instalação do sistema.	28
Figura 14 - Irradiação solar no plano horizontal para a cidade de São Carlos	29
Figura 15 - Temperaturas de funcionamento do sistema.....	29
Figura 16 - Tela do PVsyst de definição de inclinação e orientação.....	30
Figura 17 - Orientação das Faces do Centro de Convenções.	31
Figura 18 – Tela do PVsyst sub-arranjo Leste	32
Figura 19 - Tela do PVsyst sub-arranjo Oeste.....	32
Figura 20 - Resumo global do sistema gerado pelo PVsyst	33
Figura 21 - Especificações referentes ao módulo escolhido para simulação CS1K-330MS....	33
Figura 22 - Especificações dos inversores escolhidos para a simulação modelo CSI-30KTL-GI-L	34
Figura 23 – Tela do PVsyst para configuração de perdas no sistema devido ao tempo.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ranking mundial de capacidade instalada solar fotovoltaica.....	11
Tabela 2 - Energia efetiva de saída e injetada na rede no período de um ano.....	35
Tabela 3 - Orçamento de um gerador fotovoltaico de 383kWp.	36
Tabela 4 - Custos da UFG para execução do projeto de mudança no consumo energético do campus da UFG.	37
Tabela 5 - Medição do consumo de energia elétrica na UFSCar campus São Carlos de 2017 a 2019.	38
Tabela 6 – Consumo da UFSCar, geração do sistema e diferença entre demanda e geração. .	39
Tabela 7 – Tarifa de energia média por ano e aumento anual.....	40
Tabela 8 - Fluxo de caixa considerando a expectativa de economia do sistema fotovoltaico. .	41
Tabela 9 - Payback para a implantação do sistema fotovoltaico.	42

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Justificativa	8
1.2 Objetivos.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. Fundamentos da energia fotovoltaica	9
2.2. Energia fotovoltaica no Brasil	11
2.3. Vantagens da geração distribuída.....	13
2.4. Sistema <i>on-grid</i>.....	14
2.5. Manutenção e operação do sistema.....	15
2.6. Aplicações	16
2.7. Fatores econômicos.....	17
2.7.1. Estimativa de custos	17
2.7.2. Fluxo de caixa.....	18
2.7.3. Valor presente líquido (VPL)	18
2.7.4. <i>Payback</i> (tempo de retorno do investimento).....	19
2.7.5. Tarifa de energia.....	19
2.8. Softwares e plataformas	20
2.8.1. Google maps	20
2.8.2. PVsyst photovoltaic software	20
2.8.3. Centro de referencias para as energias solar e eólica sérgio de s. brito.....	21
2.8.4. <i>SunData</i>	21
3. METODOLOGIA	22
4. ESTUDO DE CASO	24
4.1. UFG e considerações iniciais para simulação	24
4.2. Características geográficas e de entorno	25
4.3. Simulação do potencial energético	28
4.5. ANÁLISE ENERGÉTICA E FINANCEIRA	37
4.5.1 Demanda energética no <i>campus</i> da ufscar.....	37
4.5.2. Geração do sistema x Consumo no campus da ufscar.....	38
4.5.3. Análise do custo de implantação	39
4.5.3.1. Flexo de caixa.....	39
4.5.3.2. <i>Payback</i>	41
4.6. Considerações sobre a manutenção do sistema	43
4.6.1 Semanalmente.....	43
4.6.2 Mensal e anualmente	43
4.7. Comparação do sistema da ufscar com o da UFG.....	44
5. CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em meados de 1830 por um físico francês chamado Alexandre-Edmond Becquerel (MACHADO; MIRANDA, 2015). Neste contexto surgiram os primeiros estudos que deram origem a tecnologias mais recentes que permitem que seja possível gerar energia de forma sustentável a partir da luz solar. Atualmente, os sistemas de geração de energia solar possuem uma durabilidade relativamente alta, tendo vida útil que pode chegar a mais de 25 anos com uma manutenção adequada e podem, ainda, ser considerado um investimento com retorno garantido, devendo ser analisado o tempo de retorno para cada caso. Em contrapartida, esses sistemas necessitam de um espaço significativo para serem instalados e dependem da existência de uma infraestrutura (rede elétrica).

Dessa maneira, tendo em vista esta grande tendência em utilizar fontes renováveis de energia, e as vantagens e desvantagens desse tipo de sistema, o Centro de Cultura e Eventos da Universidade Federal de São Carlos revela-se um prédio com um grande potencial para se beneficiar da instalação de uma usina deste tipo, haja vista sua grande dimensão e, portanto, capacidade de geração, a necessidade em reduzir os custos das contas da universidade.

Assim, este trabalho busca realizar uma simulação por meio do software PVsyst para estimar o potencial de geração de um sistema instalado na cobertura do Centro de Cultura e Eventos da UFSCar e o impacto financeiro deste sistema no conjunto de consumo de energia elétrica no campus da UFSCar em São Carlos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho representa a continuidade de uma linha de pesquisa que tem como objetivo apresentar alternativas para diversificação da matriz energética brasileira, que atualmente ainda é composta majoritariamente pela fonte hidráulica, apesar do país apresentar um potencial enorme para fontes naturais, sustentáveis, abundantes e não poluentes, como a energia eólica e a energia solar. (NUNES DE ARAÚJO ; TEDESCHI GOMES, 2019)

Segundo dados da ANEEL(2019) e da ABSOLAR(2021), o número de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída do poder público representa apenas 0,03% do total de sistemas no Brasil. Haja vista as inúmeras vantagens econômicas e sociais da implantação

desses sistemas, aumentar o número deles no país é extremamente importante tanto para redução das contas públicas, quanto para conscientização em relação ao crescimento sustentável.

Dessa forma, é evidente a importância de um estudo que contribua com a apresentação de uma alternativa à produção de energia elétrica em prédios públicos de forma técnica e científica, contribuindo para a sustentabilidade econômica, social e ambiental do país.

1.2 OBJETIVOS

Determinar o potencial de geração fotovoltaico e verificar a possibilidade de implantação de um sistema fotovoltaico de geração distribuída no Centro de Cultura e Eventos da UFSCar São Carlos.

Dessa forma, os objetivos específicos estabelecidos para esta verificação foram:

- Reunir informações com relação à localização e estrutura da cobertura do Centro de Cultura e Eventos da UFSCar São Carlos;
- Caracterizar o Centro de Cultura e Eventos com relação ao potencial energético;
- Determinar a existência de limitações estruturais;
- Levantar o potencial de geração desse sistema na edificação;
- Fazer uma análise do potencial de geração no conjunto de consumo de energia elétrica do Campus;
- Realizar uma análise financeira do investimento;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. FUNDAMENTOS DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

Diariamente, o sol fornece à Terra uma quantidade enorme de energia, suficiente para abastecer a população energeticamente, porém grande parte dessa energia não é aproveitada para geração de energia elétrica. Esta produção de energia através da luz já

havia sido observada por cientistas por volta de 1839, porém a primeira célula solar surgiu em março de 1953, sendo ainda muito ineficiente, tendo sido aprimorada nos anos seguintes até ser apresentada à imprensa em abril de 1954, em Washington. Com crise petrolífera de 1973, houve um aumento da produção de células solares, o silício multicristalino começou a ser utilizado além do surgimento de outras inovações fazendo com que os preços diminuíssem em torno de 85% e a eficiência também aumentar. (CÂMARA, 2011)

Hoje em dia, já existem algumas inovações que vem melhorando ainda mais a eficiência das placas fotovoltaicas. Uma delas é a utilização do silício negro, desenvolvido por cientistas da Universidade de Aalto na Finlândia, fazendo com que as placas atinjam uma eficiência de 22%, um valor alto se comparado à eficiência média do sistema que é de 14% a 20%. (ARAÚJO ; GOMES, 2019)

As células fotovoltaicas atualmente são principalmente de silício cristalino (c-Si), que pode ser mono ou policristalino ou silício amorfo, sendo o último menos eficiente. Para a formação dos módulos, as células são conectadas em série encapsuladas em folhas de EVA (Acetato Vinil Etileno), seguido por uma placa frontal de vidro temperado e uma camada protetora. (MACHADO; MIRANDA, 2015). O esquema dos módulos pode ser visualizado na Figura 1 a seguir.

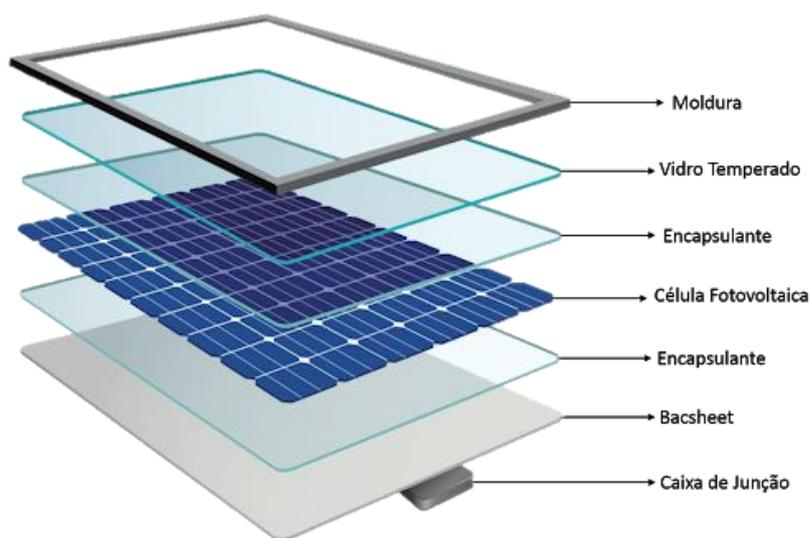


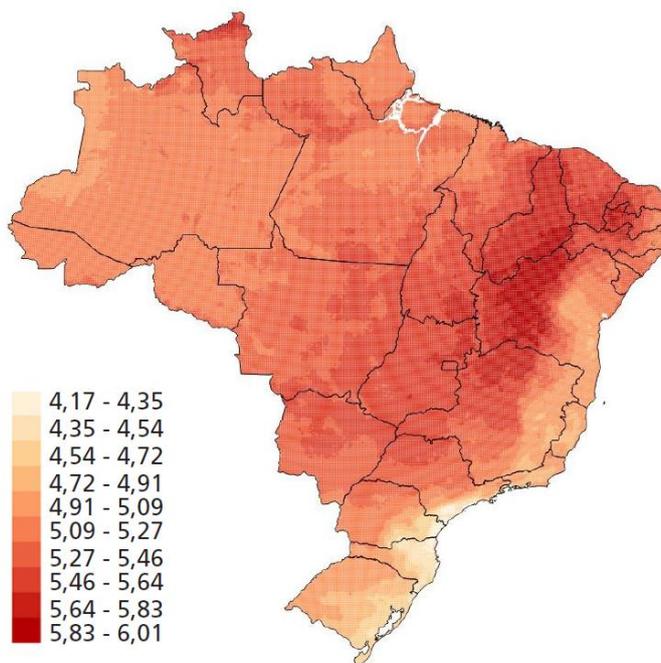
Figura 1 - Esquema do módulo fotovoltaico

Fonte: Portal Solar, 2021.

2.2. ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O Brasil é um país com um alto nível de irradiação solar, principalmente quando comparado à países desenvolvidos por exemplo, tendo, portanto, um grande potencial para geração de energia fotovoltaica. A irradiação solar diária no Brasil varia entre 4,1kWh/m² e 6,5kWh/m² de acordo com o mapa apresentado na Figura 2. Porém mesmo assim o país conta com apenas de 4905 MW de potência instalada por geração distribuída, ou seja, produzida em edificações (residência, empresas, industrias, etc), totalizando 2,8% da potência total instalada (ANEEL 2019), valor esses bem inferiores ao dos países líderes do ranking de produção, como China, Japão e Estados Unidos, como é possível observar na Tabela 1.

Figura 2 - Irradiação solar média diária



Fonte: CPTEC, INPE, 2016.

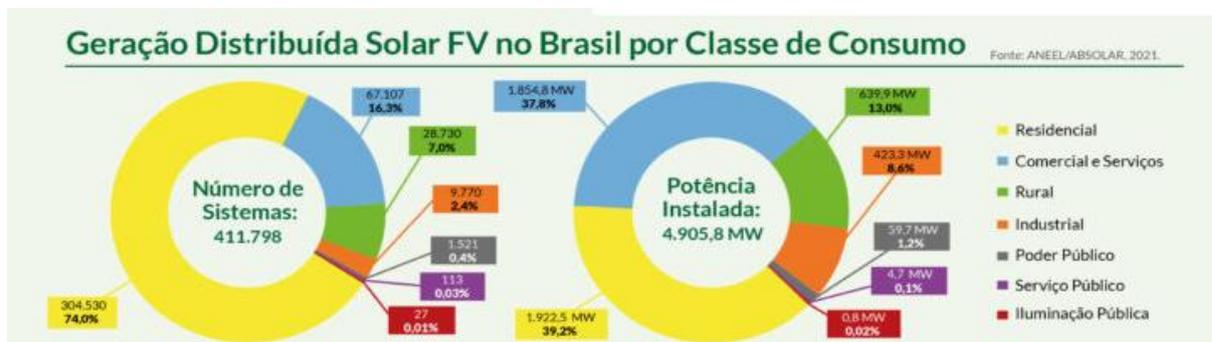
Tabela 1 - Ranking mundial de capacidade instalada solar fotovoltaica.

Posição	País	Potência Acumulada até 2019 (MW)
1°	China	205.072
2°	Japão	61.840
3°	EUA	60.540
4°	Alemanha	49.016
5°	Índia	34.831
6°	Itália	20.900
7°	UK	13.616
8°	Austrália	13.250
9°	França	10.562
10°	Coreia do Sul	10.505
11°	Espanha	8.761
12°	Holanda	6.725
13°	Turquia	5.995
14°	Ucrânia	5.936
15°	Vietnam	5.695
16°	Brasil	4.533
17°	Bélgica	4.531

Fonte: Adaptado de ABSOLAR, IRENA, 2019.

É válido ressaltar que, como é possível observar na Figura 3, o setor público representa apenas 0,1% da potência instalada total no país. Dessa forma, a instalação de sistemas para geração de energia fotovoltaica em prédios públicos mostra-se um ponto de atenção, uma vez que estes sistemas podem trazer inúmeros benefícios econômicos e sustentáveis para o setor público como um todo, que serão abordados posteriormente neste trabalho.

Figura 3 - Geração distribuída solar fotovoltaica por classe de consumo

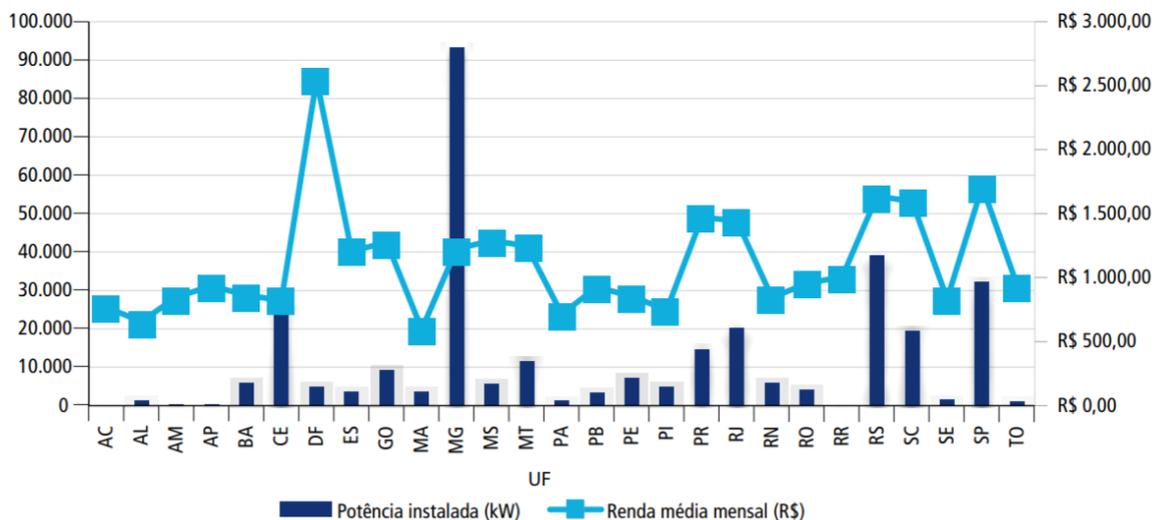


Fonte: ANEEL, ABSOLAR, 2021.

Apesar do país possuir uma grande capacidade de produção de energia solar, o custo de implementação do sistema ainda é um dos principais percalços para a difusão da tecnologia. Dessa maneira, por mais que os estados nordestinos tenham maior capacidade

de produção, estados como o de SP e MG ainda lideram o ranking de potencia instalada, como é possível observar na Figura 4.

Figura 4 - Potência instalada por UF e renda média mensal



Fonte: ANEEL, IBGE, 2018

Porém, no últimos anos, o Brasil vem seguindo uma tendência mundial e implementando algumas medidas que visam facilitar e incentivar o uso de energias renováveis. A Resolução Normativa 482 (ANEEL 2012), regulamentou a geração distribuída no Brasil na qual a energia gerada excedente pode ser injetada na rede por uma unidade distribuidora, a qual é posteriormente compensada como créditos para o consumo de energia.

Além disso, outros incentivos foram surgindo ao longo dos anos como o direito da venda direta à consumidores por parte dos geradores não ligados a distribuidora, descontos nas tarifas dos sistemas de distribuição e transmissão, isenções de imposto, além de leis e sistemas de crédito especial para incentivo à produção de energia por fontes renováveis. (ROSA; GASPARIN, 2016)

2.3. VANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

No sistema de geração distribuída, o usuário tem diversas vantagens tanto econômicas, sociais e técnicas em relação ao sistema centralizado. Dentre os aspectos econômicos pode-se citar como benefícios do usuário, a isenção de ICMS, linhas de crédito, retorno do investimento, baixa área necessária para instalação, redução nas tarifas de distribuição e transmissão e o sistema de compensação de energia. As empresas de transmissão também acabam sendo beneficiadas uma vez que diminui os custos de manutenção de sua rede. (CÂMARA, 2011; PEREIRA, 2019)

Um dos benefícios sociais da geração distribuída é a minimização de impactos ambientais, que são bem menores se comparados com o de sistemas centralizados. Além disso, contribuem para a descentralização da matriz energética brasileira, fazendo com que cada vez se dependa menos de recursos hídricos e combustíveis fósseis. Outro ponto positivo da geração distribuída é a estimulação do empreendedorismo, com a possibilidade de surgir novas empresas especializadas na prestação de serviços voltadas a instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos. Por fim, a geração distribuída pode contribuir para se levar energia à locais remotos da própria infraestrutura elétrica, no caso de sistemas *off-grid*. (PEREIRA, 2019; ROSA; GASPARIN, 2016)

2.4. SISTEMA ON-GRID

Tendo em vista o estudo a ser realizado, o sistema mais adequado neste caso seria um sistema *on-grid*, ou seja, um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. Este sistema possibilitaria que a energia elétrica produzida seja consumida pela edificação e seu excedente seja injetado na rede, gerando créditos com a concessionária, gerando uma economia à longo prazo pela Universidade.

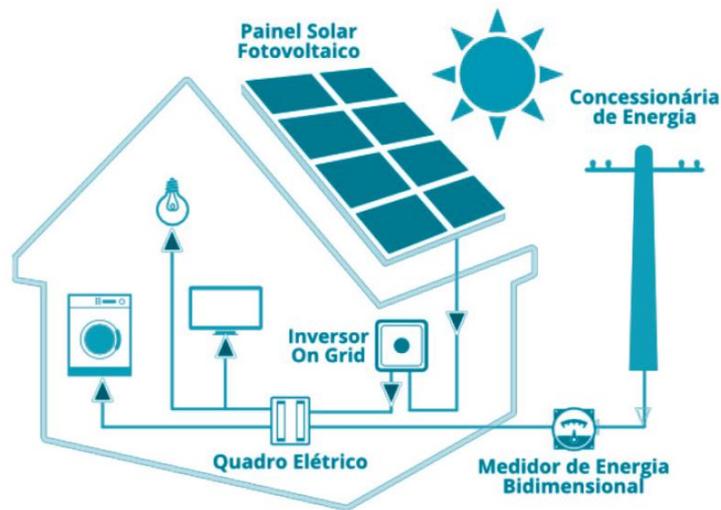
Este sistema, portanto, não armazena energia, injetando a energia produzida excedente na rede elétrica. Neste sistema o inversor, além de ser responsável pela conversão da corrente contínua (CC) gerada pelas placas solares em corrente alternada (CA), também tem a função de sincronizar o sistema com a infraestrutura pública. Dessa forma é possível que, com um sistema eficiente possa se economizar até 95% das contas de energia elétrica, se dimensionado para isso e com as condições climáticas favoráveis. (ZOMER, 2010)

Atualmente, os créditos gerados por uma unidade podem ser consumidos por outra unidade consumidora, desde que a unidade esteja cadastrada no mesmo CPF e concessionária. Os custos da conta de energia não são zerados efetivamente pois existem resoluções normativas que fazem com que seja cobrado um custo de iluminação pública.

(PEREIRA, 2019)

Um sistema fotovoltaico *on-grid* é composto por vários componentes, sendo eles: painéis solares, sistema de fixação à edificação, inversor, diodos, fusíveis, disjuntores, cabos elétricos, terminais, proteções contra sobretensões e descargas atmosféricas e caixas de conexão, tudo isso conectado à rede e ao quadro geral da edificação. (MARINOSKI; SALAMONI; RÜTHER, 2004). Na Figura 5, é possível ver um esquema de um sistema conectado à rede.

Figura 5 - Esquema de sistema *on-grid*



Fonte: Soluções Solares, 2021.

2.5. MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DO SISTEMA

As perdas num sistema fotovoltaicos podem se dar por acúmulos de sujeiras, sombreamento, aumento de temperatura, degradação dos módulos fotovoltaicos e na fiação elétrica. Dessa forma, revela-se imprescindível a realização de manutenções preventivas no sistema para que ele continue funcionando com a eficiência desejada até o fim de sua vida útil. Vale ressaltar ainda que essas manutenções devem ser feita seguindo planos adequados uma vez que os componentes do sistema demandam uma periodicidade variável. (SOUSA; LEMOS; VARELLA, 2019)

Outro estudo de Costa, A.L. *et. al.*, Hirashima, S.Q. *et. al.*, Ferreira *et. al.* R.V. (2020) mostra alguns exemplos de procedimentos de operação e manutenção realizados nas usinas fotovoltaicas do IFMG (Instituto Federal de Minas Gerais) em várias cidades de Minas Gerais. Os principais procedimentos citados foram inspeção visual, limpeza dos módulos, substituição de módulos danificados, checagem de tensões e polaridades das *strings*, cripagem de conectores, avaliação da integridade dos fusíveis e diagnóstico de problemas nos inversores, sendo que a única medida efetuada em todos os campi foi a inspeção visual, sendo que as outras foram realizadas em 27% dos campi em média.

Vale ressaltar uma condição importante para a implementação do sistema é evitar grandes distâncias entre o sistema e os pontos a serem alimentados para diminua-se o comprimento total das fiações e conseqüentemente a queda de tensão. Este fator fará com

que as fiações tenham bitolas menos robustas e que o sistema como um todo tenha um custo de implementação menor. Outros fatores que devem ser observados nesta etapa de projeto e planejamento do sistema são os materiais que serão utilizados, sistemas de aterramento e proteções contra descargas atmosféricas adequados e atenção às instalações elétricas. (SOUZA; SOUZA; MINORI, 2019)

2.6. APLICAÇÕES

Existem atualmente poucos sistemas fotovoltaicos conectados à rede em edificações públicas. Um estudo de caso realizado por Zommer, C. et. al.(2010) sobre a implantação de um sistema fotovoltaico no prédio sede da Eletrosul, mostrou que era possível reduzir o consumo de uma edificação específica em até 31% no ano, além de gerar um alívio de carga na rede de distribuição nos horários de pico de consumo, mostrando-se economicamente viável. Na Figura 6, observa-se o sistema implantado no Centro de Cultura e Eventos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Figura 6 - Sistema fotovoltaico de 10,24 kWp integrado ao Centro de Cultura e Eventos da UFSC e conectado à rede elétrica.



Fonte: ZOMMER, 2010.

Em outra pesquisa, feita por Santos, D.R.C.G. et. al. (2017) foi elaborado um estudo teórico sobre a viabilidade da instalação de um sistema fotovoltaico *on-grid* numa instituição de ensino profissionalizante, o qual mostrou resultados promissores no que diz respeito tanto à economia de energia como no gasto mensal com o sistema convencional utilizado, sendo que um sistema fotovoltaico de 12,8 kWp geraria uma economia de R\$59.342,40 na fatura de energia em relação ao consumo médio.

(ZILLES,2011) constatou entre maio de 2015 e abril de 2016 nas usinas do IEE/USP (Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, dimensionadas para 540 kWp, uma economia de mais de duzentos mil reais. A USP possuía um consumo anual na ordem de 85 GWh, e pagava à distribuidora de energia elétrica um valor médio de 400 R\$/MWh.

2.7. FATORES ECONÔMICOS

Evidentemente, os projetos de energia solar fotovoltaica devem ser vistos através de um viés técnico-econômico. Dessa forma, para poder tomar a melhor decisão quanto a instalação de um sistema desse tipo, deve-se compreender alguns conceitos financeiros para determinar o melhor investimento.

Existem diversos indicadores simples que são importantes para se determinar o melhor investimento, independente do método a ser utilizado de fato, dentre elas: o investimento inicial do projeto, os custos de operação e manutenção do sistema, o ciclo de vida do projeto, a quantidade de energia gerada pelo sistema, os valores das tarifas de energia no futuro, os incentivos fiscais e a taxa mínima de atratividade.

É importante ressaltar que os dados desta monografia dizem respeito a data em que ela foi elaborada, de forma que em caso de implementação do projeto num tempo futuro, os números devem ser reavaliados.

2.7.1. ESTIMATIVA DE CUSTOS

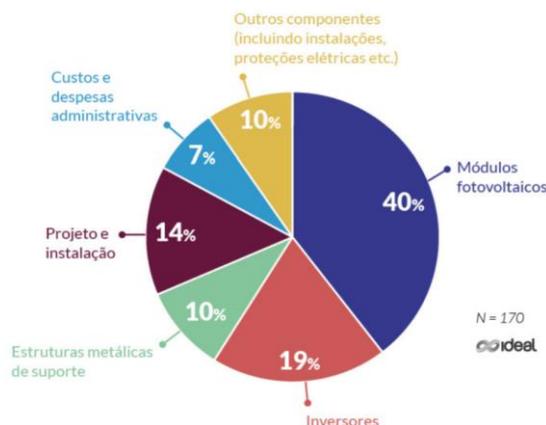
Pode haver várias maneiras para se estimar o custo de um sistema fotovoltaico, uma delas é estimar com base em pesquisas estratégicas de mercado, publicações em revistas ou até mesmo com a realização de orçamentos detalhados com empresas contratadas. O preço de módulos fotovoltaicos e inversores não é difícil de ser encontrado, porém, determinar o custo dos equipamentos complementares como estruturas de suporte, equipamentos de proteção e instalação, despesas administrativas e outros componentes de proteção pode ser mais difícil.

Em uma pesquisa realizada pela (GREENER, 2021) com mais de 1579 empresas do ramo de geração distribuída e distribuidoras de kits fotovoltaicos revelou que o preço do sistema fotovoltaico para o cliente final para sistemas com mais de 5MWp em janeiro de 2021 custava em média R\$3,81/Wp.

Outro estudo realizado pelo instituto Ideal e pela AHK Rio em 2019 mostrou que os módulos fotovoltaicos representam cerca de 40% do custo, seguidos pelos inversores que

representam 19% do custo. A composição de custos do sistema completo pode ser observada na Figura 8. (IDEAL, 2019)

Figura 7 - Composição de custos de um sistema fotovoltaico



Fonte: (IDEAL, 2019).

2.7.2. FLUXO DE CAIXA

O fluxo de caixa é um planejamento entre o que entra e sai do caixa, em um período de tempo determinado, onde o prazo de projeção depende do porte e do segmento de cada empresa. (ZDANOWICZ,2004)

É importante ressaltar que o fluxo de caixa não considera a variação do valor monetário ao longo do tempo, ele é verificado no início do projeto para se certificar da disponibilidade de recursos financeiros assim como para se verificar a viabilidade financeira.

2.7.3. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

De acordo com (GUERRA, FERNANDO E TANEJA, 2014), o VPL de um fluxo de caixa consiste em calcular o valor presente de uma série de pagamentos (ou recebimentos), descontado a uma taxa, e deduzir, deste, o valor do fluxo de caixa inicial (valor do empréstimo, do financiamento ou do investimento).

Para tornar os métodos de cálculo de payback mais assertivo, utiliza-se ferramentas como o VPL. O Valor Líquido presente é um utilizado para se analisar a viabilidade de projetos de investimento. Ele representa o valor presente de um fluxo de caixa, com saldos ou débitos, descontados a uma taxa de juros determinada. Para se entender o VPL é importante compreender que o dinheiro possui valor no tempo, uma vez que um valor aplicado hoje tem um valor maior no futuro, determinado com base em uma taxa de juros.

Desta forma, para se obter o VPL deve-se construir o fluxo caixa, demonstrando cada entrada e cada saída em cada período de tempo do projeto como custos com manutenção e o próprio valor economizado mensalmente por exemplo. Após a construção do fluxo de caixa, calcula-se o valor presente descontando-se, pelo período de tempo apropriado, a taxa média de atratividade (TMA) de cada uma dessas entradas e saídas. Um VPL maior que 0, indica que, do ponto de vista financeiro, o projeto é viável enquanto VPL negativo o projeto não é viável. As taxas médias de atratividade estão, neste caso, ligadas à valores como taxa de retorno de projetos concorrentes, inflação e/ou tolerância à risco.

O cálculo do VPL é dado por:

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{\text{Fluxo de caixa liquido}}{(1 + i)^n}$$

Equação (1)

Onde,

i = taxa de juros aplicada

n = tempo

2.7.4. PAYBACK (TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO)

O payback é um termo que se refere ao tempo em que determinado capital investido pode ser recuperado. Existe o payback simples, que desconsidera os descontos de fluxos de caixa futuros e taxas de juros, e o payback descontado, que leva em consideração a taxa de juros ou então a taxa mínima de atratividade (TMA).

O payback simples não é um bom método para avaliar investimentos como os de sistemas fotovoltaicos. Isso se deve exclusivamente a esta metodologia desconsiderar o tempo, que é um fator extremamente relevante pensando na vida útil média de 25 anos de sistemas fotovoltaicos.

A Taxa Mínima de Atratividade normalmente considerada para projetos no Brasil é a própria taxa atrelada ao Tesouro Selic. A taxa básica de juros prevista pelo COPOM para o final de 2021 atualmente em abril de 2021 é de 8,25%. (Boletim Focus, 2021)

2.7.5. TARIFA DE ENERGIA

A Tarifa de energia é um agregado complexo de custos, os quais envolvem custos com Geração, Transmissão e Distribuição além de considerar perdas de energia, impostos, tributos, encargos e entre outros custos. Os tributos da conta são: PIS/PASEP, COFINS e

ICMS. Vale ressaltar que, somente o ICMS, que varia de estado para estado, pode responder – sozinho – por mais de 30% da conta de luz. (ANEEL, 2021)

Outro custo adicionado às tarifas são as bandeiras tarifárias, as quais incidem sazonalmente, variando o valor de acordo com a época do ano, volume de chuvas e disponibilidade hídrica. Além disso, outros dois fatores que influenciam no custo da energia é o tipo de consumidor e os postos tarifários.

De acordo com dados do site oficial da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2021) hoje no Brasil existem quatro principais grupos consumidores, chamados de A, B e demais acessantes. O grupo A é composto de unidades consumidoras de alta tensão (subgrupos A1, A2 e A3), média tensão (A3a e A4) e de sistemas subterrâneos (subgrupo AS). No grupo B estão as unidades consumidoras de baixa tensão das classes residencial (B1), rural (B2), demais classes (B3) e iluminação pública (B4). Os demais acessantes são as classes de distribuição e geração.

Para os consumidores do grupo A são aplicados os horários de ponta e fora de ponta, nos consumidores do grupo B, aplicam-se os postos tarifários ponta e fora de ponta, além de um terceiro posto intermediário e a tarifa branca, regulamentada pela ANEEL em 2018 para fornecer uma alternativa para consumidores de baixa tensão terem um despesa mensal com energia menor. (ANEEL, 2021)

2.8. SOFTWARES E PLATAFORMAS

2.8.1. GOOGLE MAPS

O *Google Maps* é uma plataforma online de mapas que conta com uma área de cobertura de aproximadamente 99% do planeta e com mais de 1 bilhão de usuários. (Google Maps Platform, 2021) Esta Plataforma tem uso tanto de navegação simples com mapas estáticos como também mapas interativos sendo possível realizar medições aproximadas de áreas, relevo, navegação virtual por ruas e obtenção de coordenadas de um determinado ponto, sendo que o último recurso citado é de grande valor para a metodologia deste trabalho.

2.8.2. PVSYST PHOTOVOLTAIC SOFTWARE

O PVsyst é um *software*, desenvolvido pela empresa de mesmo nome, fundada por André Mermoud e Michel Villoz (PVsyst, 2021), voltado para a execução de projetos fotovoltaicos. O software realiza primeiramente um pré-projeto do sistema, inserindo a área e potência desejada, em seguida, é realizado o dimensionamento do sistema pelo software, sendo possível considerar cenas de sombreamento. Esta simulação trará um relatório de

resultados como a produção total de energia por ano, a taxa de desempenho do sistema e outros indicadores mostrando os principais ganhos e perdas.

O próprio software já conta com uma base de dados com a incidência solar em diversas regiões e também com varios modelos de painéis e inversores configurados para realizar as simulações, entrando com alguns dados como o azimute e inclinação das superfícies de instalação, podendo ajustar o sistema à sua melhor eficiência.

2.8.3. CENTRO DE REFERENCIAS PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO

O CRESESB surgiu a partir do documento resultante do Encontro para Definição das Diretrizes para o Desenvolvimento das Energias Solar e Eólica no Brasil, que aconteceu em 1994. Desde então, o Centro tem como estratégias a atuação junto aos órgãos normativos e grupos especializados, para estabelecer recomendações técnicas além de difundir conhecimento científico a respeito do tema, apoiando em todos os âmbitos a implementação de novas tecnologias para geração de energia renovável eólica e solar, seja contribuindo para estabelecer critérios de desempenho dos sistemas ou para apoiar iniciativas de pesquisa e desenvolvimento, como para buscar parcerias estratégicas ao desenvolvimento dessas tecnologias no país (CRESESB, 2021)

O Centro é formado por recursos do Ministério de Minas e Energia e do CEPEL para instalação e início das atividades e um grupo de empresas associadas que contribuam com o valor necessário para arcar com as despesas anuais previstas para o Centro. Este quadro poderá ser composto de empresas nacionais e estrangeiras, de setores governamentais, de organizações não governamentais, de empresas concessionárias e de empresas privadas.

Na Plataforma online do CRESESB é possível acessar um programa aberto conhecido como SunData, no qual é possível obter a irradiação media mensal de qualquer ponto do território nacional apenas inserindo suas coordenadas geográficas, informação imprescindível ao dimensionamento de um sistema fotovoltaico.

2.8.4. SUNDATA

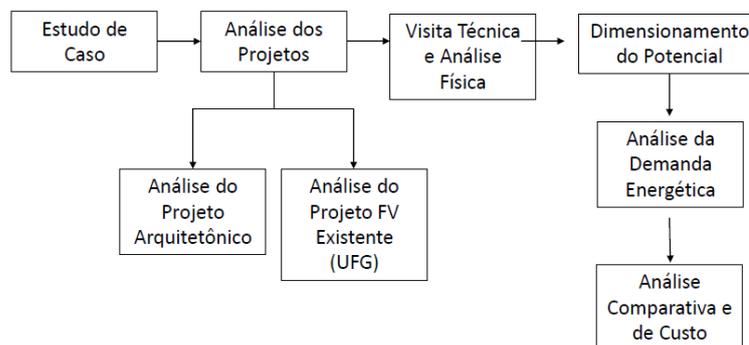
O *SunData* é um programa utilizado para determinar a irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território brasileiro, auxiliando no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

Por mais vasta que seja a base de dados dos *software* os valores de irradiação solar obtidos pelo SunData devem ser usados apenas como orientações para auxiliar no dimensionamento do sistema fotovoltaico, pois são valores consolidados de um histórico de medições que varia ao longo dos anos (CRESESB, 2015).

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para este estudo de caso é composta por 5 etapas: A análise dos projetos arquitetônico do Centro de Cultura e Eventos da UFSCar e o Projeto Executivo de Eficiência Energética da Universidade Federal de Goiás, seguida pela análise física do entorno, e então com essas informações, realizar uma simulação para dimensionar o potencial de geração do sistema e comparar a demanda energética do Campus da UFSCar com este potencial, concluindo com uma análise financeira da implantação do sistema. A metodologia está resumida no fluxograma apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma das etapas do projeto



Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, foi necessário realizar um levantamento da área potencial disponível para implantação deste sistema e determinar a orientação das faces da edificação por meio dos projetos do edifício. Além disso, foi realizada uma análise de imagens de satélite para observar as condições de entorno e existência de sombreamento em algum local da cobertura causado por árvores, estruturas de ventilação ou outros elementos do entorno. O ideal, visando a maior eficiência do sistema, é que, no hemisfério sul, os módulos instalados fiquem posicionados voltados para o norte geográfico e que possuam uma inclinação igual à latitude do local. (NUNES DE ARAÚJO, ANA JÚLIA ; TEDESCHI GOMES, 2019)

Após a definição destes critérios iniciais, foram observadas e analisadas outras características do prédio como a possível sobrecarga do sistema fotovoltaico na estrutura, as condições físicas do telhado, a possibilidade de acesso para instalação e manutenção do sistema em toda a área dada como potencial. Todos estes fatores são extremamente importantes de serem levantados, haja vista por exemplo que o rendimento do sistema e o

tempo de retorno do investimento está diretamente atrelado à manutenção e limpeza do sistema, condições de sombreamento e muitos outros fatores. (LUIS et al., 2020)

Em seguida, foram levantados alguns modelos de módulos existentes no mercado avaliando os custos, qualidade, eficiência e disponibilidade na região. Para a determinação da quantidade de módulos a ser instalado e suas configurações obteve-se a latitude e longitude do prédio através da plataforma do Google Maps e a irradiação solar por meio do programa *SunData*, disponibilizado pelo CRESESB. Além disso, realizou-se uma visita técnica para obtenção de dados como a inclinação do telhado existente, haja vista melhor eficiência em função da latitude.

Para a próxima etapa, é necessário que já estejam definidos os modelos dos módulos e inversores que serão utilizados, pois estes apresentam especificações técnicas que são necessárias para a realização da simulação pelo *software*. Com esses dados é possível alimentar o *software PVsyst* para, por meio de uma simulação gerada pelo *software*, chegar no potencial de geração do sistema e a quantidade de módulos e inversores necessários.

Depois disso, foram levantados os dados da demanda energética do Centro de Cultura e Eventos da UFSCar por meio de uma comparação com o Centro de Convenções da UFG, haja vista que o prédio da UFSCar ainda não está em pleno funcionamento. Com o valor da demanda energética, é possível realizar uma comparação com o potencial de geração obtido pelo *PVsyst* e obter também orçamentos aproximados para a instalação desse sistema. Pode-se dizer que a geração de energia pelo sistema pode ou não atender a demanda energética do campus, sendo maior, menor ou igual à demanda.

Após a definição do cenário de geração é possível estimar o custo de implantação do sistema para que seja possível realizar uma análise do investimento e determinar o tempo de retorno do investimento ou *payback* através de um fluxo de caixa considerando a expectativa de economia com o sistema. Para determinar o custo de implantação do sistema, tomando como base as pesquisas realizadas pela Greener e pelo Instituto Ideal e AHK Rio, citados na revisão bibliográfica deste trabalho. Dessa forma estima-se o valor dos módulos e dos inversores com base em pesquisas em site de fornecedores na internet e depois utilizar a relações de composições de custos obtidas nas pesquisas para estimar o custo do restante dos componentes.

4. ESTUDO DE CASO

4.1. UFG E CONSIDERAÇÕES INICIAIS PARA SIMULAÇÃO

Primeiramente, é necessário ressaltar que o Centro de Cultura e Eventos da UFSCar é uma réplica do projeto executado do Centro de Convenções da UFG (Universidade Federal de Goiás), o qual também implementou um sistema de geração fotovoltaico em 2018. Dessa forma, ambos possuem condições físicas semelhantes, porém cada uma possui uma orientação em relação ao sol e características de entorno diferentes. Os edifícios podem ser vistos nas Figuras 9 e 10 a seguir.

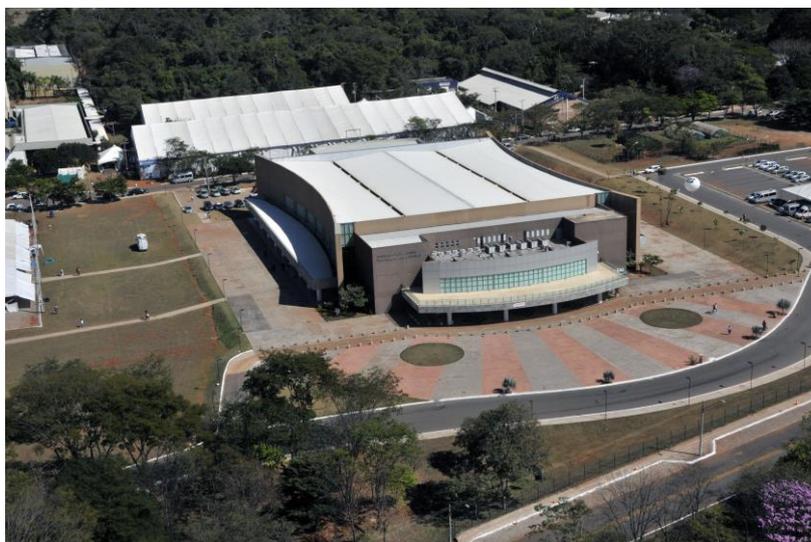


Figura 9 - Centro de Convenções UFG.

Fonte: Portal UFG, 2018.



Figura 10 - Centro de Cultura e Eventos da UFSCar.

Fonte: Portal UFSCar, 2020.

A Universidade Federal de Goiás realizou em 2018 um projeto prioritário de eficiência energética e estratégico de P&D, em parceria com a CELG e com a ANEEL, que visava economizar energia e reduzir a demanda de ponta por meio da instalação de um sistema de geração de energia por fonte incentivada (sistema fotovoltaico) e a substituição de grande parte da iluminação por lâmpadas e refletores de LED.

Com o novo sistema de iluminação, a empresa contratada para a realização do projeto estimou que poderia ser economizado cerca de 1062,85 MWh por ano e reduzir a demanda na ponta em até 238,79 kW. O sistema de geração de energia proposto seria instalado em um conjunto de prédios do campus, dentre eles o Centro de Convenções, o qual, como já dito anteriormente neste trabalho, existe uma réplica executada no campus da UFSCar de São Carlos.

Para o projeto proposto, os módulos considerados foram de 330 Wp que seriam capazes de gerar cerca de 1212,91 MWh de energia por ano. Só no Centro de Cultura e Eventos, o projeto contaria com cerca de 1160 módulos ocupando uma área aproximada de 2250 m² com uma potência instalada de 382,8 kW e com produção anual de 562,3 MWh.

4.2. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS E DE ENTORNO

São Carlos é uma cidade localizada no interior do estado de São Paulo com uma área de aproximadamente 1132 km², de forma que apenas 6% é considerada área urbana. A cidade possui um clima temperado de altitude, com verão chuvoso e inverno seco.

O campus São Carlos da UFSCar, possui 6.450.000 m² de área total e 188.100 m² de área construída. Possui 300 laboratórios, biblioteca, ambulatório, dois teatros, nove anfiteatros, doze auditórios, ginásio, parque esportivo, sete quadras, duas piscinas, restaurante universitário, quatro lanchonetes, 124 salas de aula, 575 vagas internas de moradia estudantil, além do Hospital Universitário, da Unidade de Saúde-Escola e da Agência de Inovação e da região do IFSP (Instituto Federal de São Paulo), onde são encontrados tanto a escola técnica federal, quanto o Centro de Cultura e Eventos da UFSCar, o qual é o objeto de estudo deste trabalho. Na Figura 11, na parte superior encontra-se a região do IFSP e do Centro de Cultura e Eventos da UFSCar, mais abaixo e um pouco distante está o Campus da UFSCar de São Carlos.

Figura 11 – Visão de Satélite do IFSP na parte superior e Campus UFSCar São Carlos na parte inferior da imagem.



Fonte: Google Maps, 2021.

Apesar da grande área disponível para a aplicação de placas solares na cobertura da edificação, nem toda essa área pode ser utilizada para a instalação do sistema. Assim como

visto na metodologia, condições de sombreamento por exemplo podem atrapalhar na geração de energia elétrica. Além disso, a inclinação e o sentido desta inclinação também são extremamente importantes para o dimensionamento do sistema. Apesar do entorno do Centro de Cultura e Eventos ser uma região bastante arborizada, vide Figura 12, o prédio possui uma altura suficiente para que as árvores não causem sombreamento, devendo se preocupar apenas com o sombreamento que é gerado a partir da própria edificação em sua cobertura.

Figura 12 - Centro de Cultura e Eventos da UFSCar visto de cima com dimensões aproximadas.



Fonte: Google Maps, 2021.

De acordo com a análise dos projetos do Centro de Cultura e Eventos da UFSCar, a cobertura do edifício foi executada com telhas pré-pintadas brancas sendo isotelha industrial (Aço/EPS/Aço) com inclinação de 10%, sendo composto por duas águas, dividido em duas partes. A área disponível na cobertura para a aplicação das placas é de aproximadamente 3250 m², tendo sido estimada por medições via satélite. Por outro lado, com a análise do projeto executivo do sistema fotovoltaico implementado no Centro de Convenções da UFG, observou-se que o sistema instalado ocupa uma área bastante considerável da cobertura. Na Figura 13, é possível observar a cobertura do Centro de Convenções da UFG, antes da instalação do sistema.

Figura 13 - Centro de Convenções UFG antes da instalação do sistema.



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2021.

Analizou-se ainda outros fatores que pudessem impedir ou dificultar a instalação do sistema na cobertura do edifício tais como a idade da estrutura, a adequação da estrutura da cobertura, a facilidade de implantação e manutenção.

A estrutura do telhado pode suportar a carga tanto da instalação das placas como dos trabalhadores e equipamentos utilizados durante sua instalação, além de possuírem condições favoráveis e seguras para a acomodação e manutenção do sistema. Isso pode ser constatado uma vez que o sistema teria características muito similares ao sistema instalado no Centro de Convenções da UFG, o qual, como já dito antes neste trabalho, é idêntico ao Centro de Cultura e Eventos da UFSCar. O prédio apresenta uma estrutura nova e robusta, sendo que a estrutura da cobertura é composta por nove treliças que vencem um vão de aproximadamente 5 metros que dão suporte a cobertura principal do salão da plateia, além disso, existem mais algumas treliças que dão suporte às coberturas das varandas laterais e a cobertura da parte posterior do Centro, correspondente ao palco, além das passarelas metálicas de serviço e a estrutura de suporte das peles de vidro e sistema de ar condicionado e eletrodutos.

4.3. SIMULAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO

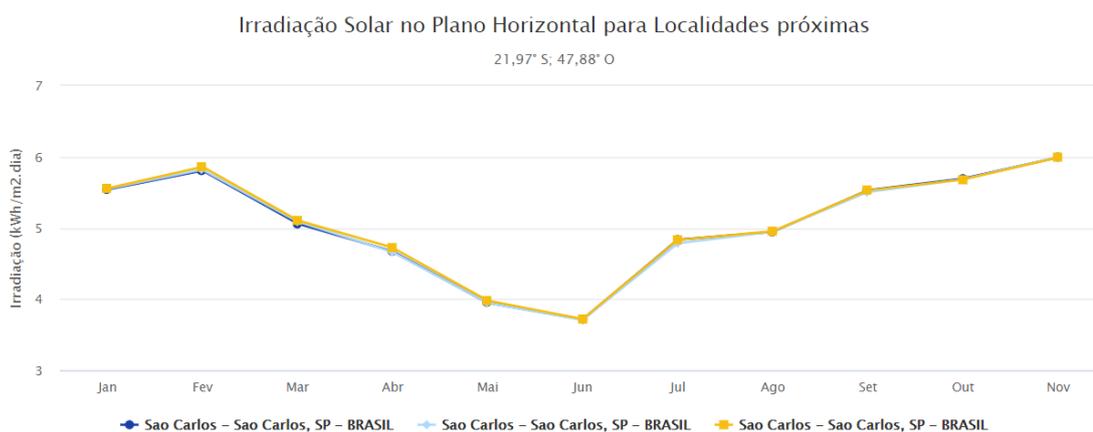
Para obtenção da melhor simulação, inicialmente, determinou-se qual a irradiação solar na cidade de São Carlos. Através do Google Maps, foi possível obter as coordenadas do Centro de Cultura e Eventos, o qual está localizado à 21,97 latitude Sul e 47,88 longitude Oeste. Então, utilizando o software *SunData* já citado neste trabalho,

desenvolvido pelo CRESESB, obteve-se os dados do potencial solar do edifício com base em sua localização. Os dados obtidos para a irradiação solar podem ser observados na Figura 14.

Figura 14 - Irradiação solar no plano horizontal para a cidade de São Carlos

Latitude: 21,97° S
Longitude: 47,88° O

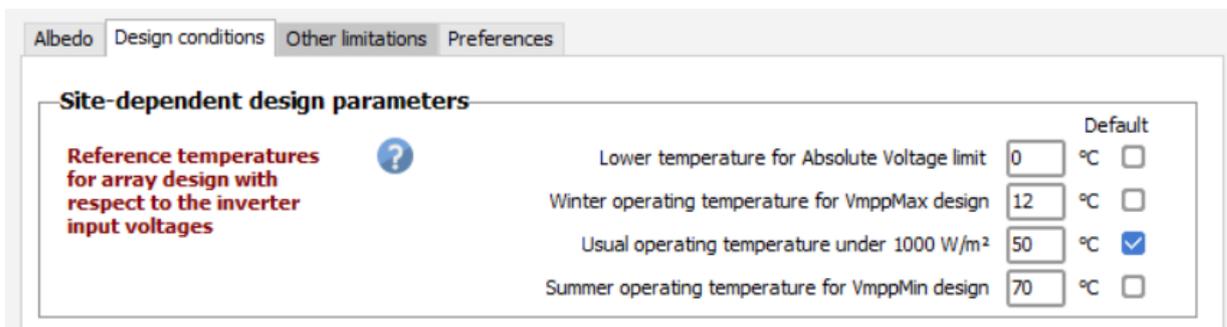
#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																	
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
✓	Sao Carlos	Sao Carlos	SP	BRASIL	22° S	47,849° O		4,6	5,54	5,81	5,06	4,67	3,95	3,71	3,91	4,84	4,95	5,53	5,69	5,99	4,97	2,28
✓	Sao Carlos	Sao Carlos	SP	BRASIL	22° S	47,949° O		7,9	5,55	5,82	5,09	4,66	3,95	3,71	3,88	4,78	4,95	5,51	5,68	6,00	4,96	2,29
✓	Sao Carlos	Sao Carlos	SP	BRASIL	21,901° S	47,849° O		8,3	5,56	5,86	5,11	4,72	3,98	3,72	3,91	4,83	4,95	5,53	5,68	5,99	4,99	2,27



Fonte: CRESESB, 2021.

Foi utilizado como média o valor de 4,97 kWh/m²xdia para rodar a simulação no software PVsyst. Foi definido também a menor temperatura de uso do sistema e a temperatura média de operação no inverno, as quais foram atribuídas 0°C e 12°C respectivamente, a menor temperatura já registrada na cidade de São Carlos e a temperatura média no inverno de São Carlos (INMET, 2021). Além disso, foi definida a temperatura usual de funcionamento do sistema e a temperatura máxima de funcionamento, fixadas em 50°C e 70°C respectivamente. Os dados podem ser observados na Figura 15.

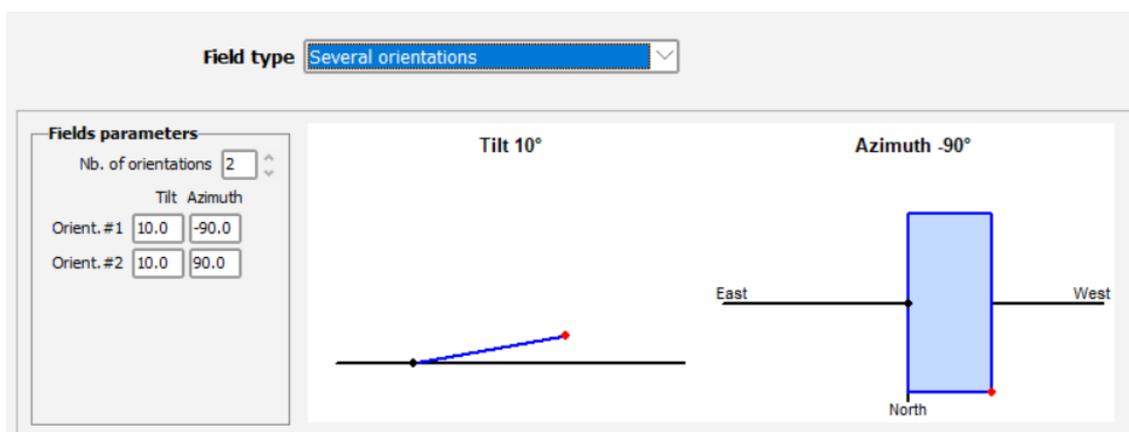
Figura 15 - Temperaturas de funcionamento do sistema.



Fonte: Simulação no PVsyst 2021

Depois, alimentou-se o software com dados referentes à orientação do edifício. Por mais que, o ângulo de inclinação ideal para o sistema seja igual ao valor da latitude da coordenada geográfica onde o sistema foi instalado, foi considerado que as placas seriam instaladas na cobertura, de forma que o ângulo de instalação das placas coincida com o ângulo de inclinação das telhas da cobertura, ou seja, de 10° . Além disso, como pode ser observado na Figura 13, a cobertura do Centro de Cultura e Eventos, possui duas águas voltadas para duas orientações diferentes: uma orientação voltada para o sul, de forma que o azimute para uma das águas seja de 90° e para a outra água seja 270° ou -90° . Como o software PVsyst foi criado na Suíça, que fica no hemisfério Norte, devemos utilizar como azimute então os ângulos de -90° e 90° , invertendo o azimute, porém ficando com o mesmo resultado pela posição geográfica do Centro de Cultura e Eventos. As informações preenchidas podem ser observadas na Figura 16.

Figura 16 - Tela do PVsyst de definição de inclinação e orientação.



Fonte: Simulação no PVsyst 2021

O sistema foi dividido entre as quatro faces das águas da cobertura sendo que duas faces ficariam voltadas para o leste (em azul na Figura 17) e duas faces voltadas para o oeste (em laranja na figura 17). O sistema foi dividido em dois sub-arranjos para a alimentação do PVsyst, tendo sido chamados de sub-arranjos Leste e Oeste, apenas para que fossem aplicadas as duas orientações ao sistema. Como a cobertura do prédio é simétrica, concluiu-se que o sistema poderia ocupar áreas iguais nos dois sub-arranjos.

Figura 17 - Orientação das Faces do Centro de Cultura e Eventos da UFSCar.



Fonte: Adaptado de Google Earth 2021

Para os módulos, atribuiu-se um modelo similar ao módulo instalado no sistema da UFG de 330Wp da empresa Canadian Solar Inc, componente vendido no Brasil assim como os inversores escolhidos, que também são da mesma fabricante e também similar aos instalados no Centro de Convenções da UFG, de 30kW com voltagem entre 200V e 800V. O próprio *software* PVsyst dimensiona o sistema com um total de 6 inversores em cada sub-arranjo, com um total de 12 inversores. Atribuiu-se também um total de 20 módulos conectados em série com um total de 29 strings por sub-arranjo para totalizar ao final, somando os sub-arranjos Leste e Oeste, um sistema composto por 1160 módulos e 12 inversores sendo 58 strings. As informações alimentadas no *software* podem ser observadas para os dois arranjos conforme as Figuras 18 e 19.

Figura 18 – Tela do PVsyst sub-arranjo Leste

Sub-array ?

Sub-array name and Orientation

Name: Order: **1**
 Orient.: Tilt: **10°**
 Azimuth: **-90°**

Pre-sizing Help

No sizing Enter planned power kWp ?
 ... or available area(modules) m²

Select the PV module

All modules Filter:

All manufacturers

Use optimizer

Sizing voltages : Vmpp (70°C) **25.4 V**
 Voc (0°C) **39.9 V**

Select the inverter

Available Now 50 Hz
 60 Hz

All manufacturers

Nb. of inverters: Operating voltage: **200-800 V** Global Inverter's power: **180 kWac**
 Use multi-MPPT feature Input maximum voltage: **1000 V inverter with 2 MPPT**

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: between 8 and 24
 Nb. strings:

Overload loss: **0.0 %** ?
 Pnom ratio: **1.06**

Nb. modules: 580 Area: 984 m²

Operating conditions

Vmpp (70°C) 507 V
 Vmpp (12°C) 644 V
 Voc (0°C) 798 V

Plane irradiance: **1000 W/m²** Max. in data STC
 Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C) **174 kW**

I_{mp} (STC) 313 A
 I_{sc} (STC) 331 A
 I_{sc} (at STC) 331 A **Array nom. Power (STC) 191 kWp**

Fonte: Simulação no PVsyst 2021

Figura 19 - Tela do PVsyst sub-arranjo Oeste

Sub-array ?

Sub-array name and Orientation

Name: Order: **2**
 Orient.: Tilt: **10°**
 Azimuth: **90°**

Pre-sizing Help

No sizing Enter planned power kWp ?
 ... or available area(modules) m²

Select the PV module

All modules Filter:

All manufacturers

Use optimizer

Sizing voltages : Vmpp (70°C) **25.4 V**
 Voc (0°C) **39.9 V**

Select the inverter

Available Now 50 Hz
 60 Hz

All manufacturers

Nb. of inverters: Operating voltage: **200-800 V** Global Inverter's power: **180 kWac**
 Use multi-MPPT feature Input maximum voltage: **1000 V inverter with 2 MPPT**

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: between 8 and 24
 Nb. strings:

Overload loss: **0.0 %** ?
 Pnom ratio: **1.06**

Nb. modules: 580 Area: 984 m²

Operating conditions

Vmpp (70°C) 507 V
 Vmpp (12°C) 644 V
 Voc (0°C) 798 V

Plane irradiance: **1000 W/m²** Max. in data STC
 Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C) **174 kW**

I_{mp} (STC) 313 A
 I_{sc} (STC) 331 A
 I_{sc} (at STC) 331 A **Array nom. Power (STC) 191 kWp**

Fonte: Simulação no PVsyst 2021

Foi simulado um sistema com o mesmo número de módulos que o existente em Goiás, resultando em uma área ocupada de 1968 metros quadrados, calculada pelo *software* com base nas dimensões médias do módulo selecionado. Apesar de menor que os 2250m² ocupados pelo sistema já executado na UFG, considerou-se que pode ter sido atribuído outros modelos de módulos similares com dimensões diferentes e também, imprecisões do software no cálculo da área de serviço necessária para a instalação e manutenção deste sistema. Dessa maneira, temos então um resumo do sistema que pode ser observado na Figura 20.

Figura 20 - Resumo global do sistema gerado pelo PVsyst

Global system summary	
Nb. of modules	1160
Module area	1968 m ²
Nb. of inverters	12
Nominal PV Power	383 kWp
Maximum PV Power	394 kWDC
Nominal AC Power	360 kWAC
Pnom ratio	1.063

Fonte: Simulação no PVsyst, 2021.

As especificações dos modelos dos módulos e inversores utilizados estão dispostas na Figura 21 e na Figura 22 respectivamente.

Figura 21 - Especificações referentes ao módulo escolhido para simulação CS1K-330MS

Tipo de módulo	Potência máxima Pmax <W>	Tensão operacional Vmp <V>	Corrente operacional Imp <A>	Tensão de circuito aberto Voc <V>	Corrente de curto-circuito Isc <A>	Class. máx. fusíveis em série <A>	Dimensão total <mm>	Peso <kg>
CS1K-310MS	310	35,2	8,82	43,1	9,37	20	1675x992x35 (65,9 x 39,1 x 1,38 pol.)	18,5 (40,8 libras)
CS1K-315MS	315	35,4	8,91	43,2	9,44	20		
CS1K-320MS	320	35,6	9,00	43,3	9,51	20		
CS1K-325MS	325	35,8	9,09	43,4	9,58	20		
CS1K-330MS	330	36,0	9,18	43,5	9,65	20		
CS1K-335MS	335	36,2	9,27	43,6	9,73	20		
CS1K-340MS	340	36,4	9,35	43,7	9,81	20		
CS1K-345MS	345	36,6	9,43	43,8	9,88	20		
CS1K-350MS	350	36,8	9,51	43,9	9,95	20		
CS1K-355MS	355	37,0	9,60	44,0	10,02	20		

Fonte: Manual de instalação de módulos solares padrão Canadian Solar Brasil, 2019.

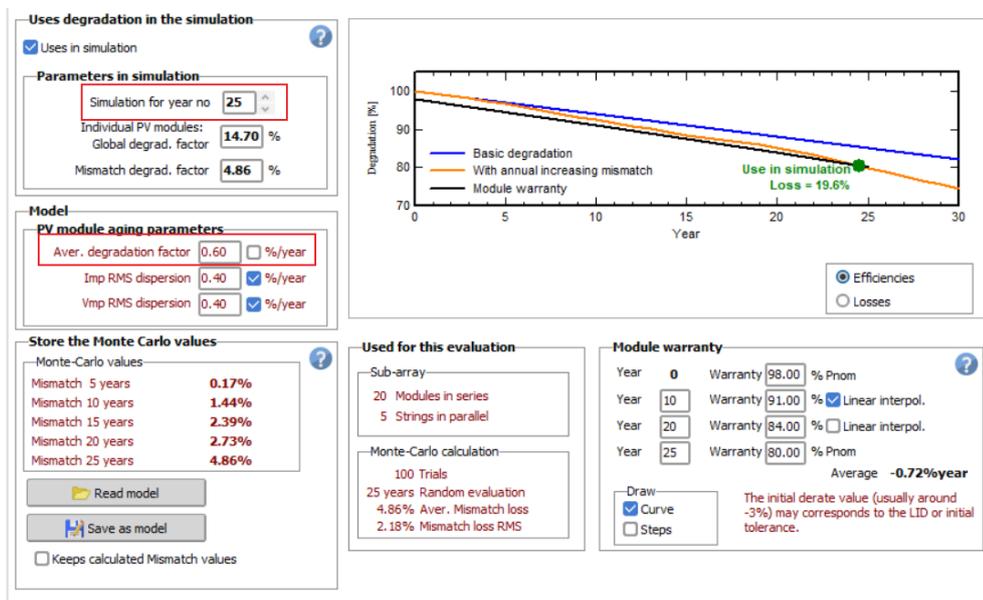
Figura 22 - Especificações dos inversores escolhidos para a simulação modelo CSI-30KTL-GI-L

Modelo	CSI-30KTL-GI-L
Potência máxima por MPPT (em Watts)	30000
Tensão máxima (em Volts)	1100
Tensão de inicialização (em Volts)	200
Intervalo de tensão do MPPT (em Volts)	200...850
Corrente máxima de alimentação utilizável por MPPT (em Ampère)	57A (28,5 A por MPPT)
Corrente máxima de alimentação em curto circuito (em Ampère)	44.5
Número do MPPT	2
Número de strings de alimentação	6
Potência de saída nominal (em Watts)	30000
Potência máxima de saída (em Watts)	30000
Potência de saída máxima aparente (em VA)	30000
Tensão nominal da rede de distribuição (em Volts)	3/PE-220
Intervalo de tensão operacional (em Volts)	180...270V
Corrente de saída nominal	78.8
Intervalo do fator da potência de saída	0,8 principal ~ 0,8 atrasado
Distorção harmônica total na corrente da rede de distribuição	<3%
Frequência nominal de rede de distribuição (em Hertz)	50/60.
Intervalo de frequência operacional (em Hertz)	47...52 ou 57...62
Eficiência máxima	97,0%
Eficiência ponderada segundo os padrões CEC.	96,5%
Eficiência do MPPT	>99,5%
Desligamento rápido	Opcional
Dimensões (cm)	630W*700H*357D
Peso (kg)	63 kg
Topologia	Sem transformador
Faixa de temperatura de operação	-25°C...60°C
Tipo de gabinete	IP65
Emissão de ruído (típica)	<30dBA
Modo de resfriamento	Forçar a refrigeração
Altitude operacional máxima sem redução de potência.	4000m
Vida útil projetada	> 20 anos
Compatibilidade	EN50438, G83/2, G59/3, AS4777.2:2015, VDE0126-1-1, IEC61727, VDEN4105
Umidade do ambiente operacional	0...100% Condensando
Conexão	MC-mateable e conexão com terminais de cobre
Exibir	LCD, 2x20 Z.
Interface	RS 485, WIFI/GPRS (opcional)
Termos da Garantia	5 Anos (prorrogável para 20 anos)

Fonte: Canadian Solar Brasil, 2021.

Para as definições de perdas no sistema, foi considerado um período de 25 anos, com um fator de degradação individual dos módulos de 14,7% e uma degradação média anual de cerca de 0,60%, sendo que o padrão do *PVsyst* é 0,40%. Além disso, a simulação considerou que não havia nenhuma obstrução no horizonte e nenhum elemento que fizesse sombra no sistema por perto. A Figura 23 apresenta um resumo das informações das perdas no sistema.

Figura 23 – Tela do PVsyst para configuração de perdas no sistema devido ao tempo



Fonte: Simulação no PVsyst 2021

Dessa maneira, a simulação do software gerou um sistema capaz de gerar como energia efetiva de saída 516,88MWh e injetar na rede cerca de 498,79MWh de energia por ano com um índice de performance médio anual de 67,41%. Na Tabela 2 é possível observar os valores de energia efetiva na saída do sistema e a energia injetada na rede mês a mês no período de um ano.

Tabela 2 - Energia efetiva de saída e injetada na rede no período de um ano.

Período	Energia Efetiva na Saída [MWh]	Energia Injetada na Rede [MWh]
Janeiro	53,52	51,64
Fevereiro	38,72	37,32
Março	44,97	43,37
Abril	40,42	39,03
Mai	36,43	35,19
Junho	32,29	31,18
Julho	36,92	35,68
Agosto	41,75	40,35
Setembro	43,26	41,72
Outubro	53,1	51,19
Novembro	47,99	46,3
Dezembro	47,5	45,8
No Ano	516,88MWh/ano	498,79 MWh/ano

Fonte: adaptado de PVsyst 2021

4.4. ESTIMATIVA DOS CUSTOS DO SISTEMA

Como mencionado anteriormente, o sistema do Centro da UFSCar é composto por 1160 módulos fotovoltaicos de 330 Wp da fabricante Canadian Solar, e 12 inversores de 30 kW da mesma fabricante. Os preços dos equipamentos foram cotados em sites da internet em outubro de 2021, citados nas referências deste trabalho. Os valores do restante dos componentes como as estruturas de suporte, os equipamentos de proteção e instalação, despesas administrativas, e outros componentes, foram ponderados e obtidos de acordo com a composição descrita nas pesquisas do instituto Ideal e AHK Rio (IDEAL, 2019) apresentados na Figura 7 e Greener (GREENER, 2021) e citada na revisão deste trabalho. Foi considerado um tempo de vida útil dos inversores igual a 20 anos, conforme descrito pelo fabricante (Figura 22), dessa maneira, foi contabilizado um total de 24 inversores tendo em vista o tempo de vida útil dos módulos de 25 anos, de forma que a troca dos inversores seja realizada quando necessária. O orçamento pode ser visualizado na Tabela 3.

Tabela 3 - Orçamento de um gerador fotovoltaico de 383kWp.

Orçamento de um gerador fotovoltaico de 383kWp			
Quantidade	Material	peso no preço do sistema	parcial
1160	Módulos Policristalino 330 kWp	40%	R\$ 858.400,00
24	Inversores 30 kW (200-800V)	19%	R\$ 748.000,00
1	Estruturas de suporte	10%	R\$ 214.600,00
1	Equipamentos de proteção e Instalação	14%	R\$ 300.440,00
1	Despesas administrativas	7%	R\$ 150.220,00
1	Outros componentes de instalações e proteção	10%	R\$ 214.600,00
		TOTAL	R\$ 2.486.660,00

Fonte: Autoria própria.

De forma geral ainda existiriam mais custos para compor o sistema como custos com elaboração de projetos, de mão de obra e transporte, porém eles não serão levados em consideração, uma vez que não há uma base comparativa para se determinar esses valores em termos de percentual de peso na composição de custo do sistema.

O custo total de implantação do projeto realizado na UFG contava com 21 inversores, divididos em quatro localizados diferentes de microgeração, além de toda troca de quase 25 mil lâmpadas comuns por lâmpadas de LED em diversos locais do campus. Os custos totais de implantação do projeto como um todo podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Custos da UFG para execução do projeto de mudança no consumo energético do campus da UFG.

	Custo total
Elaboração do projeto	R\$ 80.210,68
Materiais e equipamentos	R\$ 3.048.678,69
Mão de obra própria	R\$ 37.690,93
Mão de obra terceirizada	R\$ 2.821.180,54
Transporte	R\$ 8.625,17
Outros custos diretos	R\$ 1.222.364,05
Total	R\$ 7.218.750,06

Fonte: Projeto executivo da UFG (DEOEDE, 2019).

Ao comparar os custos do sistema fotovoltaico proposto para o Centro de Cultura e Eventos da UFSCar de R\$ 2.487.060,00 e o custo de materiais e equipamentos do projeto implantado na UFG de R\$ 3.048.678,69, pode-se considerar que o valor estimado para o sistema na UFSCar estaria condizente com o realizado na UFG, visto que nesta, o valor abrangeu além de um sistema fotovoltaico, a troca de iluminação e outros equipamentos.

4.5. ANÁLISE ENERGÉTICA E FINANCEIRA

Em relação à viabilidade financeira da instalação do sistema, é necessário compararmos com o consumo energético atual da UFSCar. Dessa maneira, será realizada a comparação do consumo energético da Universidade vs a expectativa de geração do sistema simulado.

4.5.1 DEMANDA ENERGÉTICA NO CAMPUS DA UFSCAR

Com as informações coletadas da Prefeitura Universitária sobre o consumo de energia elétrica no campus São Caros da UFSCar entre os anos de 2017 e 2019 construiu-se a Tabela 4. O consumo do ano de 2020 foi desconsiderado para o cálculo da média de consumo, uma vez que em 2020 o campus teve uma alteração significativa na sua operação por conta da pandemia do Covid-19 no Brasil.

Tabela 5 - Medição do consumo de energia elétrica na UFSCar campus São Carlos de 2017 a 2019.

Ano	Mês	Consumo [kWh/mês]	Ano	Mês	Consumo [kWh/mês]	Ano	Mês	Consumo [kWh/mês]
2017	jan	880.750	2018	jan	809.897	2019	jan	819.227
	fev	1.036.690		fev	914.289		fev	1.112.618
	mar	1.029.480		mar	1.118.193		mar	972.826
	abr	1.105.590		abr	1.152.685		abr	968.629
	mai	1.068.710		mai	973.727		mai	992.270
	jun	1.010.590		jun	1.006.230		jun	842.076
	jul	1.055.180		jul	953.063		jul	845.885
	ago	890.370		ago	856.675		ago	789.057
	set	1.066.950		set	1.053.021		set	919.111
	out	1.056.700		out	987.913		out	1.064.602
	nov	1.127.852		nov	1.074.308		nov	1.134.217
	dez	1.171.712		dez	1.100.683		dez	896.580
Total 2017[MWh/ano]		12.500	Total 2018 [MWh/ano]		12.001	Total 2019 [MWh/ano]		11.357
Consumo médio [MWh/ano]								
11.953								

Fonte: dados fornecidos em planilhas pela Prefeitura Universitária do campus da UFSCar (2021).

Dessa forma, o consumo médio anual de energia na UFSCar campus São Carlos no período de 2017 à 2019 foi de 11.357MWh.

4.5.2. GERAÇÃO DO SISTEMA X CONSUMO NO CAMPUS DA UFSCAR

Como já mencionado antes neste trabalho, era possível obter três cenários para o sistema de geração: ou ele não atenderia a demanda da UFSCar, ou ele atenderia exatamente a demanda da UFSCar, ou excede a demanda da UFSCar.

Realizando as comparações de forma mensal ou anual dos valores consumidos pelo UFSCar fornecidos pela Prefeitura Universitária e a simulação do *PVsystem*, observa-se que a geração é muito menor do que a demanda de energia no campus. Dessa maneira, toda energia produzida deverá ser lançada na rede elétrica e armazenado como créditos energéticos, já regulamentado pela ANEEL e já explicado neste trabalho.

Na Tabela 6, observa-se uma comparação mês a mês do consumo energético versus a energia gerada pelo sistema simulado, de forma que os consumos de cada mês são a média dos consumos no ano de 2017 a 2019.

Tabela 6 – Consumo da UFSCar, geração do sistema e diferença entre demanda e geração.

Mês	Consumo [MWh/mês]	Geração [MWh/mês]	Geração/consumo
jan	837	51,64	6,17%
fev	1.021	37,32	3,65%
mar	1.040	43,37	4,17%
abr	1.076	39,03	3,63%
mai	1.012	35,19	3,48%
jun	953	31,18	3,27%
jul	951	35,68	3,75%
ago	845	40,35	4,77%
set	1.013	41,72	4,12%
out	1.036	51,19	4,94%
nov	1.112	46,3	4,16%
dez	1.056	45,8	4,34%
Totais	11.953	498,77	4,17%

Fonte: Autoria própria.

O sistema então gera aproximadamente 4,2% da demanda total de energia no campus da UFSCar de São Carlos anualmente.

4.5.3. ANÁLISE DO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO

A análise do investimento sob o ponto de vista financeiro deve levar em conta o fluxo de caixa e payback, indicadores mínimos para se constatar a viabilidade do empreendimento.

4.5.3.1. FLUXO DE CAIXA

O fluxo de caixa acumulado mostra a diluição ano a ano do valor gasto com a execução do projeto, somando anualmente os valores que seriam economizados na geração com os custos de manutenção. Assim, considerando que toda geração seja convertida em economia à instituição por meio da transferência de créditos energéticos para suprir a demanda do Campus da UFSCar, é possível concluir que mesmo com a eficiência do sistema diminuindo com o tempo, os retornos financeiros são crescentes, já que o aumento da tarifa de energia anualmente é muito maior.

Para o fluxo de caixa, foram consideradas as seguintes informações:

- O valor de inflação a ser utilizado é o valor do IPCA, que de acordo com o IBGE está em acumulado nos últimos 12 meses, medido em outubro de 2021, foi de 10,25%.
- Para o cálculo da economia gerada pelo sistema, será considerado a tarifa de energia avaliada no último mês que temos dados e corrigida conforme abaixo.

- A tarifa de energia que será considerada foi a de 2021, cujo valor é de R\$0,79/kWh, segundo os relatórios de consumo e receita das concessionárias, emitido pela ANEEL (ANEEL, 2021). Foi considerado um aumento médio anual de 11,2%, desconsiderando o aumento de 1,3%, muito atípico, no ano de 2020, com base nos dados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Tarifa de energia média por ano e aumento anual.

Ano	Tarifa média R\$/kWh com impostos	Aumento anual
2017	R\$ 0,573	-
2018	R\$ 0,640	11,7%
2019	R\$ 0,702	9,8%
2020	R\$ 0,712	1,3%
2021	R\$ 0,798	12,1%

Fonte: Adaptado de planilha disponível nos relatórios de consumo e receita (ANEEL, 2021)

- O custo de manutenção associado é equivalente a 1% do valor de investimento inicial dividido por 25 anos (tempo de vida útil do produto).
- O custo adicional dos inversores que devem ser trocados, incidirá no 20º ano sem correção, haja vista que apesar da inflação que faria com que o custo do produto subisse, o avanço da tecnologia faria com que o preço caísse.

Na Tabela 8, pode-se visualizar o fluxo de caixa sem considerar os custos de elaboração e aprovação do projeto, um custo com mão de obra própria e terceirizada, transporte e ainda outros custos diretos.

Tabela 8 - Fluxo de caixa considerando a expectativa de economia do sistema fotovoltaico.

Ano	Geração [MWh/ano]	Geração [R\$/ano]	Manutenção [R\$/ano]	Fluxo de Caixa [R\$]
1	498,79	-	-	-R\$ 2.112.660,00
2	495,80	R\$ 395.646,21	R\$ 845,06	-R\$ 1.717.858,85
3	492,82	R\$ 437.318,84	R\$ 880,28	-R\$ 1.281.420,29
4	489,87	R\$ 483.380,76	R\$ 918,55	-R\$ 798.958,08
5	486,93	R\$ 534.294,28	R\$ 960,30	-R\$ 265.624,09
6	484,00	R\$ 590.570,43	R\$ 1.006,03	R\$ 323.940,31
7	481,10	R\$ 652.774,04	R\$ 1.056,33	R\$ 975.658,02
8	478,21	R\$ 721.529,42	R\$ 1.111,93	R\$ 1.696.075,51
9	475,34	R\$ 797.526,67	R\$ 1.173,70	R\$ 2.492.428,48
10	472,49	R\$ 881.528,56	R\$ 1.242,74	R\$ 3.372.714,30
11	469,65	R\$ 974.378,20	R\$ 1.320,41	R\$ 4.345.772,08
12	466,84	R\$ 1.077.007,51	R\$ 1.408,44	R\$ 5.421.371,15
13	464,04	R\$ 1.190.446,55	R\$ 1.509,04	R\$ 6.610.308,66
14	461,25	R\$ 1.315.833,91	R\$ 1.625,12	R\$ 7.924.517,44
15	458,49	R\$ 1.454.428,06	R\$ 1.760,55	R\$ 9.377.184,96
16	455,74	R\$ 1.607.620,06	R\$ 1.920,60	R\$ 10.982.884,42
17	453,00	R\$ 1.776.947,47	R\$ 2.112,66	R\$ 12.757.719,22
18	450,28	R\$ 1.964.109,79	R\$ 2.347,40	R\$ 14.719.481,61
19	447,58	R\$ 2.170.985,54	R\$ 2.640,83	R\$ 16.887.826,33
20	444,90	R\$ 2.399.651,11	R\$ 3.018,09	R\$ 19.284.459,35
21	442,22	R\$ 2.652.401,56	R\$ 3.521,10	R\$ 21.933.339,81
22	439,57	R\$ 2.931.773,71	R\$ 4.225,32	R\$ 24.860.888,21
23	436,94	R\$ 3.240.571,57	R\$ 5.281,65	R\$ 28.096.178,13
24	434,31	R\$ 3.581.894,50	R\$ 7.042,20	R\$ 31.671.030,43
25	431,71	R\$ 3.959.168,28	R\$ 10.563,30	R\$ 35.619.635,41

Fonte: Autoria própria.

4.5.3.2. PAYBACK

Para encontrar a real economia do investimento, deve-se comparar a geração em reais da Tabela 6 com os gastos de energia elétrica anuais da UFSCar. Com o consumo apresentado na Tabela 5 e tarifas apresentado na Tabela 7, a UFSCar gastou em 2019, aproximadamente R\$7.972.614,00 com um aumento médio de 11,2% ao ano, prevendo o aumento anual das tarifas, conforme descrito no item anterior. O ano considerado foi o ano de 2019, uma vez que em 2020 o campus teve uma alteração significativa na sua operação por conta da pandemia do Covid-19 no Brasil.

Agora, para concluir a análise do investimento, foi utilizado o *payback* descontado, atribuindo uma taxa TMA (Taxa Média de Atratividade) igual à Selic prevista pelo COPOM para o final de 2021 de 8,25%. Os resultados podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9 - Payback para a implantação do sistema fotovoltaico.

Ano	Geração [R\$/ano]	Manutenção [R\$/ano]	Fluxo de Caixa [R\$]	Valor Presente Líquido[R\$]	Acumulado [R\$]
0	-	-	-R\$ 2.112.660,00	-R\$ 2.112.660,00	-R\$ 2.112.660,00
1	R\$ 429.360,43	R\$ 845,06	R\$ 428.515,36	R\$ 395.857,15	-R\$ 1.716.802,85
2	R\$ 470.999,11	R\$ 880,28	R\$ 470.118,84	R\$ 401.191,61	-R\$ 1.315.611,24
3	R\$ 516.675,85	R\$ 918,55	R\$ 515.757,31	R\$ 406.594,66	-R\$ 909.016,57
4	R\$ 566.782,25	R\$ 960,30	R\$ 565.821,95	R\$ 412.067,32	-R\$ 496.949,26
5	R\$ 621.747,89	R\$ 1.006,03	R\$ 620.741,86	R\$ 417.610,59	-R\$ 79.338,66
6	R\$ 682.044,00	R\$ 1.056,33	R\$ 680.987,67	R\$ 423.225,49	R\$ 343.886,83
7	R\$ 748.187,54	R\$ 1.111,93	R\$ 747.075,61	R\$ 428.913,02	R\$ 772.799,85
8	R\$ 820.745,57	R\$ 1.173,70	R\$ 819.571,87	R\$ 434.674,14	R\$ 1.207.473,99
9	R\$ 900.340,16	R\$ 1.242,74	R\$ 899.097,42	R\$ 440.509,83	R\$ 1.647.983,82
10	R\$ 987.653,71	R\$ 1.320,41	R\$ 986.333,30	R\$ 446.421,03	R\$ 2.094.404,85
11	R\$ 1.083.434,79	R\$ 1.408,44	R\$ 1.082.026,35	R\$ 452.408,63	R\$ 2.546.813,48
12	R\$ 1.188.504,56	R\$ 1.509,04	R\$ 1.186.995,52	R\$ 458.473,48	R\$ 3.005.286,96
13	R\$ 1.303.763,83	R\$ 1.625,12	R\$ 1.302.138,71	R\$ 464.616,34	R\$ 3.469.903,31
14	R\$ 1.430.200,76	R\$ 1.760,55	R\$ 1.428.440,21	R\$ 470.837,88	R\$ 3.940.741,19
15	R\$ 1.568.899,34	R\$ 1.920,60	R\$ 1.566.978,74	R\$ 477.138,58	R\$ 4.417.879,77
16	R\$ 1.721.048,69	R\$ 2.112,66	R\$ 1.718.936,03	R\$ 483.518,66	R\$ 4.901.398,42
17	R\$ 1.887.953,24	R\$ 2.347,40	R\$ 1.885.605,84	R\$ 489.977,94	R\$ 5.391.376,36
18	R\$ 2.071.043,92	R\$ 2.640,83	R\$ 2.068.403,10	R\$ 496.515,59	R\$ 5.887.891,95
19	R\$ 2.271.890,45	R\$ 3.018,09	R\$ 2.268.872,36	R\$ 503.129,60	R\$ 6.391.021,55
20	R\$ 2.492.214,75	R\$ 377.521,10	R\$ 2.114.693,65	R\$ 433.200,91	R\$ 6.824.222,46
21	R\$ 2.733.905,75	R\$ 4.225,32	R\$ 2.729.680,43	R\$ 516.565,98	R\$ 7.340.788,44
22	R\$ 2.999.035,56	R\$ 5.281,65	R\$ 2.993.753,91	R\$ 523.362,00	R\$ 7.864.150,44
23	R\$ 3.289.877,23	R\$ 7.042,20	R\$ 3.282.835,03	R\$ 530.160,35	R\$ 8.394.310,79
24	R\$ 3.608.924,25	R\$ 10.563,30	R\$ 3.598.360,95	R\$ 536.827,81	R\$ 8.931.138,60
25	R\$ 3.982.808,81	R\$ 21.126,60	R\$ 3.961.682,21	R\$ 545.986,63	R\$ 9.477.125,23

Fonte: Autoria própria.

Conclui-se que, sem levar em consideração os custos de elaboração e aprovação do projeto, um custo com mão de obra própria e terceirizada, transporte e ainda outros custos diretos, ou seja, para os custos com todos os módulos e equipamentos, teríamos o retorno dos R\$2.112.660,00 investidos em aproximadamente 6 anos e, a partir de então, começar a gerar economia uma vez que o sistema terá se pagado. O custo dos inversores incidindo como valor de manutenção no vigésimo ano não terá valor significativo tendo em vista a economia que o sistema terá gerado.

4.6. CONSIDERAÇÕES SOBRE A MANUTENÇÃO DO SISTEMA

Assim como já dito na revisão bibliográfica deste trabalho, as perdas num sistema fotovoltaicos podem ocorrer principalmente por acúmulos de sujeidades, sombreamento, aumento de temperatura e degradação dos módulos fotovoltaicos e da fiação elétrica. Dessa maneira, se faz necessário algumas recomendações para a manutenção do sistema, tendo em vista que a mesma possui um custo baixo. (SOUZA; SOUZA; MINORI, 2019)

Em primeiro lugar, destaca-se o cuidado que deve-se ter com a seleção da equipe de manutenção de itens mais técnicos como a substituição de módulos ou de componentes elétricos, que deve ser composta por profissionais qualificados com conhecimento técnico e das normas pertinentes. Para manutenções mais simples como a limpeza dos módulos, poderia ser utilizada a própria equipe de manutenção do campus, desde que instruídos de maneira adequada quanto a forma de realizar a limpeza dos módulos e com os equipamentos corretos de limpeza e segurança.

Deve-se realizar manutenções preventivas e estas devem estar devidamente registradas em um Plano de Manutenção, a fim de manter o controle do histórico de manutenções realizadas.

4.6.1 SEMANALMENTE

Os módulos devem ser limpos com água, sem adição de produtos químicos, eliminando a sujeira superficial e os excrementos de aves, em horários em que as placas não se encontrem tão quentes para não danificar o vidro de cobertura.

Deve-se limpar também o entorno da usina, isso é, a cobertura do Centro para que não se acumulem folhas, galhos ou outros elementos que possam de alguma forma entupir as calhas e fazer com que problemas de drenagem venham a degradar os sistemas elétricos.

Os inversores e controladores de carga também devem ser limpos com panos secos e deve-se realizar uma inspeção visual nos componentes para garantir que as luzes de LED dos painéis estão ligadas e que não há nenhum fio ou cabo solto. Deve ser observado que o controlador de carga deve indicar que o sistema está carregando quando o sol está levantado.

4.6.2 MENSAL E ANUALMENTE

As manutenções mensais e anuais devem ser realizadas por uma equipe profissional qualificada contratada pela administração do campus e deve realizar alguns procedimentos mais técnicos como a inspeção dos terminais quanto à corrosões, substituição de módulos, danos e substituição de partes da fiação do sistema, inspeções mais

profundas dos inversores e controladores, inspeção e manutenção do aterramento e dos sistemas de proteção e inspeções termográficas.

4.7. COMPARAÇÃO DO SISTEMA DA UFSCAR COM O DA UFG

Com todas as informações levantadas com relação a geração e custo do sistema foi possível realizar uma comparação entre o sistema implementado no Centro de Convenções da UFG e o sistema simulado para ser instalado no Centro de Cultura e Eventos da UFSCar, localizado no IFSP.

Em primeiro lugar, destaca-se a diferença em relação ao dimensionamento do sistema. Apesar de tanto a simulação do sistema implementado na UFG quanto do sistema a ser implementado na UFSCar, terem sido realizadas no *PVsyst*, o *software* gerou um número diferente de inversores. Isso pode ter ocorrido tanto pelos diferentes componentes (módulos e inversores) que podem ser selecionados para simulação, quanto à diferença de informações básicas de entrada no *software* como temperaturas históricas da região ou temperaturas de funcionamento do sistema. Enquanto o sistema da UFG apresentava 10 inversores, o previsto para UFSCar apresentou um total de 12 inversores. Apesar disso, não houve um impacto significativo no custo do sistema como um todo, haja vista a coerência de grandeza dos custos de ambos sistemas.

Com relação ao potencial de geração do sistema, a simulação resultou um sistema bastante similar ao da UFG com um total de 382,8 kW de potência instalada, com 1160 módulos e uma produção anual de 562,3 MWh de energia. O projeto idealizado para o edifício em São Carlos também possui 1160 módulos solares e 383 kW de potência instalada, porém gera cerca de 498,79MWh por ano. Essa diferença certamente se dá por conta da localização geográfica do projeto e pelas diferentes condições de irradiação solar, sombreamento e orientação das águas do telhado e inclinação de instalação do sistema.

Por fim, os custos de instalação do sistema também não podem ser diretamente comparados. De acordo com dados do projeto executivo realizado para a UFG, o custo total de concepção à execução do projeto se refere à totalidade das medidas de eficiência energética propostas para o campus, enquanto o custo total previsto para instalação na UFSCar refere-se apenas a instalação do sistema do Centro de Cultura e Eventos.

A tabela 10 mostra os dados referentes às comparações entre o Centro de Cultura e Eventos da UFSCar com o da UFG com relação as condições geográficas e de incidência solar.

Tabela 10 - Comparativo entre as condições de instalação do sistema da UFSCar x UFG

	UFG	UFSCar
Coordenadas	16,60 S 49,26 O	21,97 S 47,88 O
irradiação solar [kWh/m²]	5,27	4,97
Orientação das faces	duas faces para o noroeste e duas faces voltadas para o sudeste	duas faces para o oeste e duas faces voltadas para o leste
Temperatura máx média	32,3°C	26,9 °C
Temperatura mín registrada	12°C	12°C
Número de inversores	10	12
Número de módulos	1160	1160
Potência instalada	383 kW	383 kW
Capacidade de geração anual	563 MWh	499 MWh

Fonte: SunData, INMET

5. CONCLUSÃO

O estudo se propôs a levantar um potencial energético através da instalação de um sistema fotovoltaico no Centro de Cultura e Eventos da UFSCar localizado no campus São Carlos e para que esse objetivo fosse cumprido, vários fatores precisaram ser levados em conta. Primeiramente, uma coleta de informações assertivas realizada por meio da leitura de pesquisas anteriores realizadas anteriormente com temas relacionados a energia solar, auxiliaram na obtenção de parâmetros e conhecimentos geográficos e solar na região.

Dessa maneira, dentro de todos os parâmetros descritos e justificados como a perda de eficiência do sistema, o aumento das tarifas de energia, a proporção de aumento de gastos com energia elétrica, as taxas crescentes de manutenção com o tempo, o sistema simulado para o Centro de Cultura e Eventos da UFSCar tem potencial de gerar 498MWh de energia por ano, o equivalente à aproximadamente 4% da demanda total do campus.

Foram realizadas também as análises financeiras com o cálculo do payback, constatando que a Universidade teria o retorno do investimento 6 anos após a implantação do sistema, considerando o custo total de R\$ 2.112.660,00, passando a partir daí, a gerar retorno financeiro a universidade, se tornando uma maneira de poupar custos de funcionamento do campus.

Por fim, conclui-se que o sistema é extremamente viável haja vista um tempo de retorno do investimento relativamente baixo, haja vista o interesse público e o alto potencial de geração do sistema. Portanto, este estudo fornece uma base técnica para a implementação de um sistema fotovoltaico no Centro de Cultura e Eventos da UFSCar,

contribuindo com a transformação do campus a caminho da sustentabilidade e a autossuficiência energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÂMARA, C. F. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica No Brasil**. [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2011.

GREENER. Estudo Estratégico Geração Distribuída - 2º Semestre de 2020. 2021.

GUERRA, FERNANDO E TANEJA, I. J. **Matemática Financeira**. [s.l.: s.n.].

IDEAL, I. O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica. **Angewandte Chemie International Edition**, 6(11), 951–952., v. 6, p. 66, 2019.

LUIS, A. et al. **USINAS FOTOVOLTAICAS DO INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – IFMG : Análise de geração e dos principais desafios relacionados à operação e manutenção dos sistemas USINAS FOTOVOLTAICAS DO INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – IFMG : ANÁLISE DE GERAÇÃO E DOS P**. VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar. **Anais...Fortaleza**: 2020

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Photovoltaic solar energy: A briefly review. **Revista Virtual de Quimica**, v. 7, n. 1, p. 126–143, 2015.

MARIA RODRIGUES DE SOUSA, E.; TALLE QUEIROZ LEMOS, H.; DE O MARTINS VARELLA, F. K. **Análise da operação e manutenção da usina solar fotovoltaica Mossoró II da UFRSA**. Mossoró - RN: Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 8 ago. 2019.

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. **Pré-Dimensionamento De Sistema Solar Fotovoltaico : Estudo De Caso Do Edifício Sede Do Crea-Sc**. I Conferência Latino-Americana De Construção Sustentável X Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído. **Anais...UFSC**, 2004

NUNES DE ARAÚJO, ANA JÚLIA ; TEDESCHI GOMES, A. C. A BUSCA PELA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE : UMA ANÁLISE SOBRE OS PRINCIPAIS FATORES DE PERDA , SOLUÇÕES E INOVAÇÕES. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, p. 1–15, nov. 2019.

PEREIRA, N. X. **Narlon xavier pereira**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”(UNESP), 2019.

ROSA, A. R. O. DA; GASPARIN, F. P. Panorama Da Energia Solar Fotovoltaica No Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 7, n. 2, p. 140–147, 2016.

SOUZA, W. A.; SOUZA, R. C. R.; MINORI, A. M. Boas práticas de manutenção preventiva em sistemas fotovoltaicos. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 8, p. 12779–12791, ago. 2019.

ZOMER, C. D. **Megawatt solar: geração solar fotovoltaica integrada a uma Edificação inserida em meio urbano e conectada à rede elétrica. Estudo de caso: edifício sede da Eletrosul, Florianópolis - Santa Catarina**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Disponível em:
<<https://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>> Acesso em: 18 de outubro de 2021

Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio S. Brito (CRESESB). Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em 12 de março de 2021

CPEL Atlas Solarimétrico do Brasil. Disponível em:
<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf
> Acesso em: 12 de março de 2021

Google Maps Plataforma – Produtos: Google Maps. Disponível em:
<<https://www.google.com.br/maps>> Acesso em: 12 de março de 2021

Site UFG (Universidade Federal de Goiás). Disponível em: <<https://centrodeeventos.ufg.br>>
Acesso em: 26 de maio de 2021

Energia Solar Fotovoltaica no Brasil Atualizado em 10/06/2021 | nº 32 Infográfico ABSOLAR, 2021 < https://www.absolar.org.br/wp-content/uploads/2021/06/Infografico_junho.pdf>
Acesso em: 10 de agosto 2021

Site Portal Solar <https://www.portalsolar.com.br> Acesso em: 10 de agosto de 2021

Site da energia total (fornecedora de inversores). Disponível em:
<<https://www.energiatotal.com.br/canadian-30kw-trifásico>> Acesso em: 11 de outubro de 2021.

Site da Neosolar (fornecedora de módulos fotovoltaicos). Disponível em:
<<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar/placa-solar-acima-de-300w.html?marca=92>>
Acesso em: 11 de outubro de 2021.

Site da canadian solar <https://www.canadiansolar.com.br/> Acesso em: 11 de outubro de 2021.

Boletim Focus (Banco Central Brasileiro) < <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus>>
Acesso em: 15/ de outubro de 2021.

PVsyst (site oficial) <<https://www.pvsyst.com/pvsyst-team/>> Acesso em: 15 de outubro de 2021.

NG Solar < <https://www.ngsolar.com.br/single-post/preco-kwh-cpfl> > Acesso em: 18 de outubro de 2021.

Portal SEI UFSCar
<https://sei.ufscar.br/sip/login.php?sigla_orgao_sistema=FUFSCar&sigla_sistema=SEI >
Acesso em 18 de outubro de 2021.

Relatórios de consumo e receita ANEEL, 2021. Disponível em:
<<https://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>> Acesso em: 18 de outubro de 2021

Banco de dados meteorológicos INMET <https://bdmep.inmet.gov.br/> Acesso em: 17 de novembro 2021