COORDENADORIA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JOÃO PAULO DOS SANTOS BATISTELA

PETERSON MATHEUS DE MELO PEREIRA

WILLIAMD DOS SANTOS BATISTELA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA PARA O PERÍODO DE PONTA PARA O FABLAB DO CENTRO UNIVERSITÁRIO FACENS

SOROCABA/SP

2021

JOÃO PAULO DOS SANTOS BATISTELA

PETERSON MATHEUS DE MELO PEREIRA

WILLIAM DOS SANTOS BATISTELA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA PARA O PERÍODO DE PONTA PARA O FABLAB DO CENTRO UNIVERSITÁRIO FACENS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário FACENS, como exigência parcial para obtenção do diploma de graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Thales Prini Franchi

SOROCABA/SP

2021

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA "BIBLIOTECA FACENS"

Bibliotecária responsável

Eliane da Rocha CRB 8062/8a

B333d

Batistela, William dos Santos.

Dimensionamento de um Sistema de Geração de Energia para o período de ponta para o Fablab do Centro Universitário Facens / por William dos Santos Batistela, Peterson Matheus de Melo Pereira, João Paulo dos Santos Batistela. - Sorocaba, SP: [s.n.], 2021.

56f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário Facens – Curso de Engenharia Elétrica, 2021.

Orientador: Prof. Me. Thales Prini Franchi

1. Sistema Fotovoltaico. 2. Energia Renovável. 3. Eficiência Energética. I. Pereira, Peterson Matheus de Melo. II. Batistela, João Paulo dos Santos. III. Centro Universitário Facens. IV. Título.

CDD 621.3

JOÃO PAULO DOS SANTOS BATISTELA

PETERSON MATHEUS DE MELO PEREIRA

WILLIAM DOS SANTOS BATISTELA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA PARA O PERÍODO DE PONTA PARA O FABLAB DO CENTRO UNIVERSITÁRIO FACENS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário FACENS, como exigência parcial para obtenção do diploma de graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Thales Prini Franchi

.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Me. Thales Prini Franchi
Centro Universitário Facens

_____

Prof. Me. Thiago Prini Franchi
Centro Universitário Facens

_____

Prof. Dr. Denis Borg
Centro Universitário Facens

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. Gerador a diesel 16
FIGURA 2. Gerador a gás natural 17
FIGURA 3. Gerador a gás natural comercial 18
FIGURA 4. Junção PN 19
FIGURA 5. Sistema *On-Grid* 21
FIGURA 6. Sistema *Off-Grid* 22
FIGURA 7. Sistema Hibrido 23
FIGURA 8. Módulo Fotovoltaico 24
FIGURA 9. Inversor Comutado pela rede 25
FIGURA 10. Inversor comercial comutado pela rede 25
FIGURA 11. Inversor auto-controlado 26
FIGURA 12. Inversor auto-controlado comercial 26
FIGURA 13. Controlador de carga comercial 27
FIGURA 14. Bateria selada 28
FIGURA 15. Banco de baterias 28
FIGURA 16. Gerador a diesel de 18 kVA 33
FIGURA 17. Dados de custo de energia na ponta 35
FIGURA 18. Gerador a Gás Natural comercial 36
FIGURA 19. Dados de carga.- PVSYST 37
FIGURA 20. Grupo Fotovoltaico - PVSYST 38
FIGURA 21. Conjunto de Baterias - PVSYST 38
FIGURA 22. Resumo do Projeto - PVSYST 39
FIGURA 23. Características do Projeto - PVSYST 40
FIGURA 24. Resultados principais - PVSYST 41
FIGURA 25. Diagrama de perdas - PVSYST 42
FIGURA 26. Grupo Fotovoltaico CanadianSolar 43
FIGURA 27. Controlador Smart Solar 44
FIGURA 28. Bateria Audio Power 45
FIGURA 29. Módulo Inversor Canadian 46
FIGURA 30. Volume total de carbono capturado 48

FIGURA 31. Cotação de Crédito de Carbono 49
FIGURA 32. Custo do Sistema Fotovoltaico..... 50
FIGURA 33. Dados para Análise Econômica 51
FIGURA 34. Lucro anual e Fluxo de caixa cumulado 52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Dados de carga instalada..... 32
TABELA 2. Dados de potência, fator de demanda e demanda 32

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. Comparação entre as tecnologias de geração de energia.....29

LISTA DE ABREVIATURAS

BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
FabLab	Laboratório de Fabricação Digital
FACENS	Faculdade de Engenharia de Sorocaba
GEES	Gases de Efeito Estufa

RESUMO

Nesta monografia é realizado um estudo de caso de dimensionamento de um sistema de geração de energia para o período de ponta para o FabLab da Facens onde deve suprir a necessidade energética neste período, a finalidade é evitar custos mais alto na conta de energia. Também é proposto o estudo de três fontes de geração de energia elétrica, que são o gerador a diesel, gás natural e o sistema fotovoltaico *off-grid*, apresentando pontos positivos e negativos de cada tecnologia e mostrando que o sistema fotovoltaico apesar de ser mais caro pode ser tornar mais atraente quando o mesmo participa em mercado de créditos de carbono. Em outras palavras, o foco principal é fazer o estudo e dimensionamento do sistema comparando os custos com os sistemas tradicionais e mostrar que o projeto é viável economicamente, sustentável e que pode ser convertido em um negócio.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico. Energia Renovável. Eficiência energética

ABSTRACT

This thesis consists of a case study where a power generation system will be designed for peak periods of use specifically for FabLab (Facens) and the main goal of this project is to avoid higher energy costs. Three alternative sources of electrical power generation will be presented: diesel, natural gas, and the off-grid photovoltaic system. In addition to presenting the pros and cons of each technology it will be demonstrated that whereas the photovoltaic system may be more expensive when compared to the others, it can become more attractive when participating in the carbon credits market. The main purpose of this research is to carry out the study and dimensioning of the different systems, comparing their costs with traditional systems, and demonstrating that this project is economically viable, sustainable and that it may be converted into a business.

Keywords: Photovoltaic System. Renewable energy. Energy efficiency

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 REVISÃO DE LITERATURA 15

2.1 Gerador a Diesel 15

2.2 Gerador a Gás Natural 17

2.3 Sistema Fotovoltaicos 18

2.4 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos 20

2.4.1 Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede (On-Grid) 20

2.4.2 Sistema Fotovoltaico Off-Grid 21

2.4.3 Sistema Híbrido 22

2.5 Componentes de um sistema fotovoltaico 23

2.5.1 Módulo Fotovoltaico 23

2.5.2 Inversor Fotovoltaico 24

2.5.3 Controlador de carga 26

2.5.4 Banco de baterias 27

2.6 Créditos de Carbono 28

2.7 Comparativo entre as tecnologias 29

3 METODOLOGIA 31

3.1 Levantamento das instalações elétricas do local 31

3.2 Seleção do Gerador a Diesel 33

3.3 Seleção do Gerador a Gás Natural 36

3.4 Projeto do Sistema Fotovoltaico 37

3.5 Comparação entre os projetos 47

4 CONCLUSÃO 53

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de armazenamento a sistemas elétricos consistem na forma de realizar o armazenamento de energia elétrica para posteriormente ser utilizada. São utilizados em cargas que devem funcionar na ausência de energia elétrica da concessionária local e também em casos onde se deseja realizar a diminuição do consumo de energia elétrica no horário de ponta, gerando dessa forma a economia na conta de energia (SHARENERGY, 2019).

Os sistemas de armazenamento de energia elétrica baseada em fontes renováveis, tais como energia solar e eólica, possuem um pequeno problema, pois por serem fontes intermitentes não geram energia na ausência de radiação solar ou vento. Dessa forma, o sistema deve ser dimensionado de forma correta para atender a aplicação desejada sem que ocorra falta de energia (SHARENERGY, 2019).

No desenvolvimento desta monografia é realizado o estudo sobre a aplicação do sistema de armazenamento nas instalações do FabLab da Facens para suprir a necessidade de energia no período de ponta, evitando dessa forma o maior custo da energia. A solução proposta é utilizar um sistema fotovoltaico *off-grid* que alimenta a instalação elétrica do local no horário de ponta. Neste trabalho também é realizado um comparativo entre os geradores a diesel e a gás natural.

Um ponto a favor sobre a aplicação do sistema estudado é a tendência na redução de preços das baterias, pois existe a demanda de aplicação dessas baterias em veículos elétricos. Desta maneira acarreta o aumento da cadeia produtiva e consequentemente a diminuição dos custos de produção (JORNAL DO CARRO, 2021).

Para identificar o perfil da instalação do FabLab FACENS que possui maior potencial de viabilidade no uso de sistemas de armazenamento de energia foram coletadas as seguintes informações:

- Potência dos equipamentos que são utilizados no período em estudo;
- Custo das tarifas de energia elétrica fornecida pela concessionária;
- Características do sistema de armazenamento de energia, incluindo a análise de custo e rendimento.

O foco deste trabalho é realizar o estudo e o dimensionamento do sistema comparando os custos com os sistemas tradicionais e mostrar que o projeto é viável economicamente, sustentável e que pode ser convertido em um negócio.

Para o melhor entendimento desta monografia a mesma foi dividida nos capítulos descritos abaixo:

No segundo capítulo, Revisão da Literatura, são apresentados o funcionamento e as características de operação dos três sistemas analisados: gerador a diesel, gerador a gás e sistema fotovoltaico. Para cada um deles é descrito também suas vantagens e desvantagens e exemplos de aplicação. Também é descrito o sistema de créditos de carbono e como eles podem ser usados para abater o custo do projeto do sistema fotovoltaico. Uma tabela comparativa com os três sistemas e apresentada no final do capítulo.

No terceiro capítulo, Metodologia, é descrita a metodologia usada no estudo de caso, o dimensionamento e análise financeira de cada sistema de geração analisado e a comparação de custos entre eles para definição da melhor solução para o fornecimento de energia ao FabLab no horário de ponta.

No quarto capítulo, Conclusão, é destinado aos resultados da monografia elaborados através dos aspectos teóricos e práticos desenvolvidos no estudo de caso.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para elaboração deste trabalho foram analisados 3 tipos de geradores de energia elétrica, que são o gerador a diesel, o gerador a gás natural e o sistema fotovoltaico *off-grid*.

Os tópicos descritos abaixo são destinados a descrição de cada fonte de energia, princípios de funcionamento e características de operação**.**

2.1 Gerador a Diesel

Diante da crise hídrica enfrentada pelo Brasil nos últimos anos, o custo da energia elétrica aumentou significativamente. A busca por sistemas alternativos tem aumentado e os consumidores procuram alternativas de fornecimento de energia para fazer frente às emergências de escassez de energia nos últimos anos, especialmente durante os horários de ponta, quando o sistema de transmissão de energia está sobrecarregado. Uma das formas de ganhar espaço significativo no mercado é a utilização de grupos geradores a diesel, pela confiabilidade e bom desempenho do sistema no comércio e indústria (NOCERA *et al*., 2015).

Geradores são máquinas elétricas que convertem a energia não elétrica em energia elétrica (CHAPMAN, 2013).

Para realizar o dimensionamento de um grupo motor gerador deve ser definida, além da aplicação, as cargas que este gerador deve acionar no período estabelecido (CUMMINS, 2018).

Geradores à diesel são muito utilizados atualmente como fonte auxiliar de energia elétrica na ausência da energia elétrica da distribuidora. Sua aplicação é em comércios, indústrias, eventos e em locais que possuem cargas que não podem ser desligados (GONÇALVES FILHO *et al*., 2014).

Os geradores a óleo diesel apresentam algumas vantagens, tais como (GONÇALVES FILHO *et al*., 2014):

- Acionam a carga em menos de 10 segundos da partida;
- São equipamentos seguros;

- Podem funcionar com eficiência em longos período sem energia elétrica da rede;
- Facilidade para encontrar peças de reposição.

A aplicação desses geradores também apresenta algumas desvantagens, tais como (GONÇALVES FILHO et al., 2014):

- Poluição ao meio ambiente;
- Alto nível de ruído;
- Elevado custo de manutenção.

A Figura 1 ilustra um gerador à diesel.

Figura 1 – Gerador a diesel



Fonte[1]: Disponível em: http://www.engemac.com.br/ Acesso em: 25 Outubro 2021

Os grupos geradores a diesel podem ser usados como energia primária ou auxiliar para atender à demanda de energia e às falhas no fornecimento da concessionária. A aplicação desse gerador pode ser como *backup* do suprimento de energia elétrica da concessionária de energia local ou como forma de redução do custo da energia elétrica durante os horários de ponta. As aplicações podem ser desde

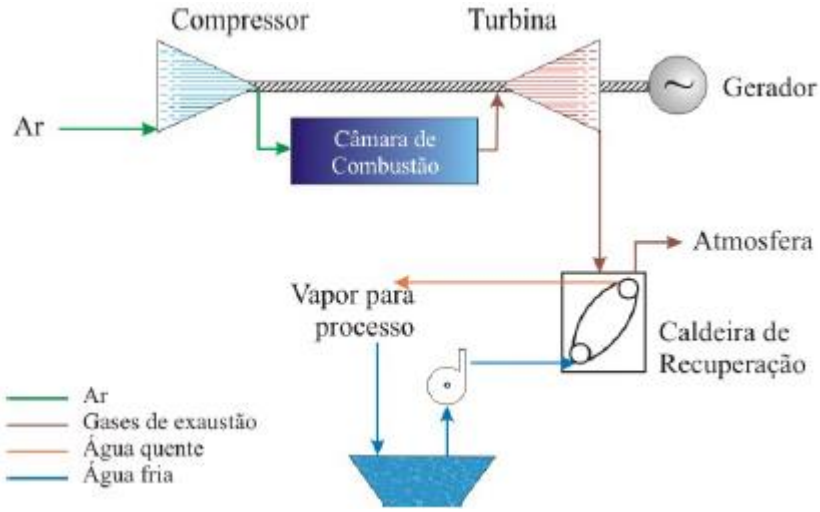
[1] Imagem retirada de: http://www.engemac.com.br/produto/grupo-gerador-a-diesel-toyama-tdwg-12000sge-115230v/162070

residências a apartamentos, indústrias, supermercados, hotéis, hospitais, centros de conferências e etc (TECNICARGO).

2.2 Gerador a Gás Natural

A geração de energia elétrica produzida por um gerador a gás tem seu início com a compressão do ar em que é misturado com o gás na câmara de combustão. Dentro desta câmara ocorre a queima do gás que produz os gases de exaustão que são responsáveis pela movimentação da turbina. A turbina está acoplada ao compressor e ao alternador, este último é o elemento responsável pela geração de energia elétrica. A Figura 2 mostra as etapas de geração de energia elétrica de um gerador a gás natural (CASTELLETTI, 2005).

Figura 2 - Gerador a gás natural



Fonte: Castelletti, 2005, p. 22.

A principal vantagem dos geradores a gás natural está ligada ao menor índice de emissão de carbono na atmosfera em relação aos geradores à diesel (GENERACBRASIL, 2019).

No entanto, esta tecnologia apresenta algumas desvantagens, tais como (CARBOROIL, 2021):

- Combustível mais caro;
- Impossibilidade de armazenar o combustível;

- Conexões entre a rede de gás natural da distribuidora até o gerador;
- Risco de incêndio.

Os geradores a gás natural podem ser encontrados em diversas potências e são opções de geração de energia elétrica em comércios, indústrias e residências (COMGAS, 2021). A Figura 3 ilustra um gerador a gás comercial.

Figura 3 - Gerador a gás natural comercial



Fonte[2]: Disponível em: www.factoryauthorizedoutlet.com Acesso em: 25 Outubro 2021.

2.3 Sistema Fotovoltaicos

A geração de energia elétrica de sistemas fotovoltaicos é realizada através da conversão da radiação solar em eletricidade por meio dos módulos fotovoltaicos. Sua aplicação apresenta algumas vantagens, tais como (SOLARTERRA, 2021):

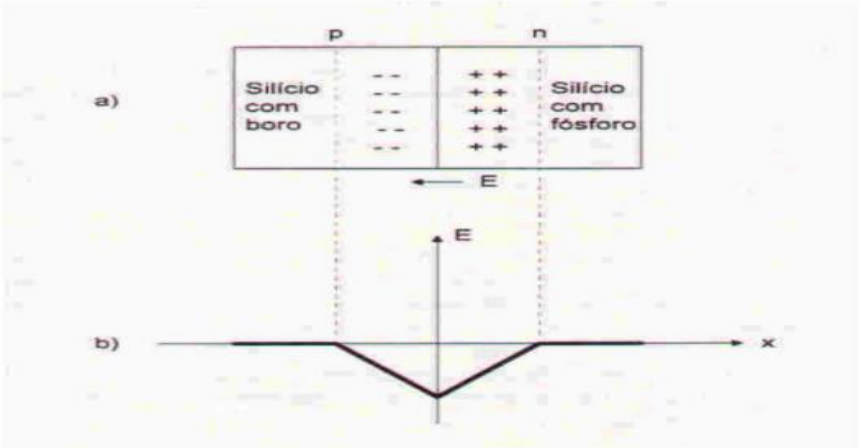
- Não necessita de combustível para produção de energia elétrica;
- Ausência de poluição ao meio ambiente na produção de energia elétrica;
- Ausência de poluição sonora;
- Apresenta resistência quanto as condições climáticas extremas;
- Menor custo de manutenção quando comparado às outras fontes de energia;
- Apresenta a possibilidade de aumentar a potência instalada;

[2] Imagem retirada de: https://www.factoryauthorizedoutlet.com/products/generac-7209-24kw-guardian-home-backup-standby-generator-w-wifi-free-mobile-linkSistema Fotovoltaicos

As células fotovoltaicas são produzidas por materiais semicondutores que ao receberem a radiação solar gera uma diferença de potencial elétrica nos seus extremos. Os semicondutores que compõe as células fotovoltaicas são de silício com dopagem com o elemento boro de um lado e do outro o elemento fósforo, criando a junção PN (CRESESB, 2006).

Nessa junção é gerado um campo elétrico permanente que cria uma barreira de potencial, no qual impede a passagem de elétrons do lado N ao P. No entanto, quando a célula fotovoltaica recebe a radiação solar ocorre a quebra dessa barreira e consequentemente gera um fluxo de elétrons denominado de corrente elétrica. A Figura 4 ilustra a junção PN juntamente com a barreira de potencial (UNIVERSIDADE DE SÂO PAULO, 2016).

Figura 4 – Junção PN



Fonte: UNIVERSIDADE DE SÂO PAULO, 2016, p. 30.

Abaixo está descrito os principais tipos de células fotovoltaicas existentes atualmente.

As células de cristais de silício monocristalinos são células fabricadas através do derretimento do silício em forma de pastilhas finas de 04 a 0,5 mm de espessura. São fatiadas e dopadas para criação das células fotovoltaicas, este tipo de célula possui a eficiência entre 12 a 16%.

As células de cristais de silício policristalinos possuem o processo de fabricação mais simples e barato, onde ocorre o derretimento de pequenos cristais de areia e são

formados os lingotes para serem fatiados e dopadas. Sua eficiência é entorno de 12,5% (CRESESB, 2006).

As células de cristais de silício amorfo são produzidas através dos materiais o silício amorfo hidrogenado, telureto de cádmio e disseleneto de cobre e índio. No entanto, possui menor eficiência quando comparado com as demais células fotovoltaicas, entorno de 5 a 7% (SOLARTERRA, 2021).

Os próximos tópicos têm a função de descrever sobre os tipos de sistemas e os componentes utilizados.

2.4 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos se dividem em sistema On-Grid (conectado à rede elétrica) e Off-Grid (sistema isolado), conforme é descrito nos itens abaixo.

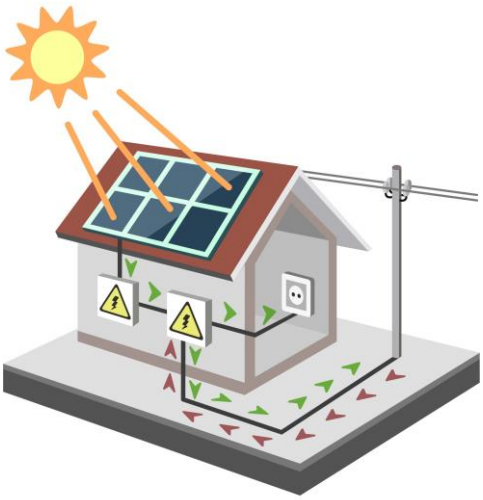
2.4.1 Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede (*On-Grid)*

O sistema fotovoltaico *On-Grid* é um sistema conectado à rede de distribuição de energia da concessionária local e é composto por módulos fotovoltaicos, inversor *on-grid*, medidor bidirecional e dispositivos de proteção AC e DC.

Os módulos fotovoltaicos são responsáveis por converter a energia luminosa do Sol em energia elétrica contínua, a qual é enviada ao inversor fotovoltaico para transformar esta energia na forma alternada para o consumo do estabelecimento ou devolução para a rede distribuição (STROMBRASIL, 2021).

Quando a produção de energia elétrica do sistema fotovoltaico for menor do que o consumo da instalação, a energia proveniente da concessionária supre a necessidade energética. Por outro lado, quando a geração de energia do sistema fotovoltaico for maior do que o consumo da instalação, o excedente é disponibilizado para a rede de distribuição da concessionária. Gerando dessa forma, créditos para ser utilizado no decorrer de 5 anos (STROMBRASIL, 2021). A Figura 5 ilustra um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica da concessionária.

Figura 5 – Sistema *On-Grid*



Fonte[3]: Disponível em: //blog.bluesol.com.br Acesso em: 25 Outubro 2021.

A energia solar pode ser usada em residências onde a instalação do sistema fotovoltaico permite reduzir em até 95% os gastos com a conta de energia. A tecnologia é acessível e fácil de instalar e já existem vários bancos que oferecem crédito específicos permitindo parcelar e amortizar o investimento em poucos anos (STROMBRASIL, 2021).

Em pequenas empresas podem reduzir os gastos com energia em até 95%, permitindo que a economia seja usada para investir em outras áreas. Além disso a empresa torna-se mais sustentável o que é importante para a sua imagem perante os clientes.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica podem ser utilizados em instalações de residenciais, comerciais e industriais, no qual possuem o intuito de redução do valor da conta de energia (INTELBRAS, 2020).

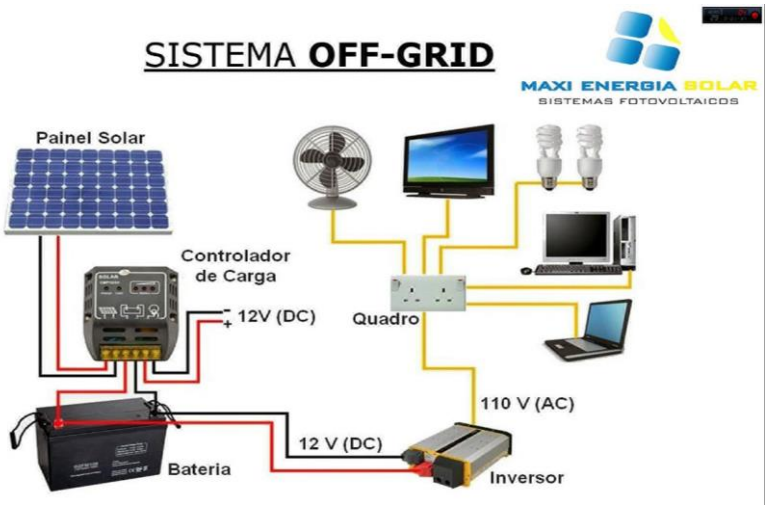
2.4.2 Sistema Fotovoltaico *Off-Grid*

O sistema fotovoltaico o*ff-grid* é utilizado em locais mais afastados onde não há conexão com o sistema de distribuição de energia. Esse tipo de sistema é composto por módulos fotovoltaicos, controlador de carga, banco de bateria e/ou inversor fotovoltaico.

[3] Imagem retirada de: https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/

Como o sistema fotovoltaico não é conectado à rede elétrica da concessionária, o mesmo deve ser capaz de gerar a energia para contemplar o consumo de todos os componentes e aparelhos elétricos da instalação. A Figura 6 ilustra um sistema fotovoltaico *off-grid* (STROMBRASIL, 2021).

Figura 6 – Sistema *Off-Grid*



Fonte[4]: Disponível em: **https://www.mercadolivre.com**.Acesso em: 11 maio 2021.

Os sistemas *off-grid* são muito adequados para locais isolados da rede elétrica, locais que exigem energia de reserva, navios a vela, caminhões de alimentos ou RVs e residências sem energia pública (RENLIGHT, 2019).

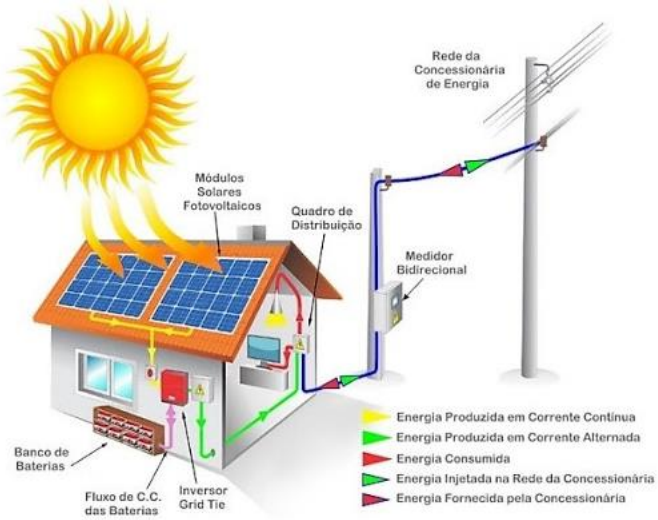
2.4.3 Sistema Híbrido

Os sistemas fotovoltaicos híbridos possibilitam diferentes tipos de aplicações, onde o projeto e a composição do sistema varia conforme a aplicação.

O modelo dos novos sistemas híbridos mistura os conceitos de sistemas conectados à rede elétrica com os sistemas de armazenamento de energia. Apresentando dessa forma, a possibilidade de geração de energia a partir da radiação solar armazenando o excesso da energia gerada em um banco de baterias (OCAENERGIA, 2021). A Figura 7 ilustra um sistema de geração de energia elétrica híbrido.

[4] Imagem retirada de: **https://www.** **https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1046673647-kit-solar-off-grid-inversor-4000w-onda-mod-telha-ceramica-** **JMbrasil.com.br/sistemas-on-grid-e-off-grid/**

Figura 7 – Sistema Hibrido



Fonte[5]: Disponível em: **www.ocaenergia.com/blog** Acesso em: 28 outubro 2021

2.5 Componentes de um sistema fotovoltaico

Neste tópico é descrito os principais componentes de um sistema fotovoltaico.

2.5.1 Módulo Fotovoltaico

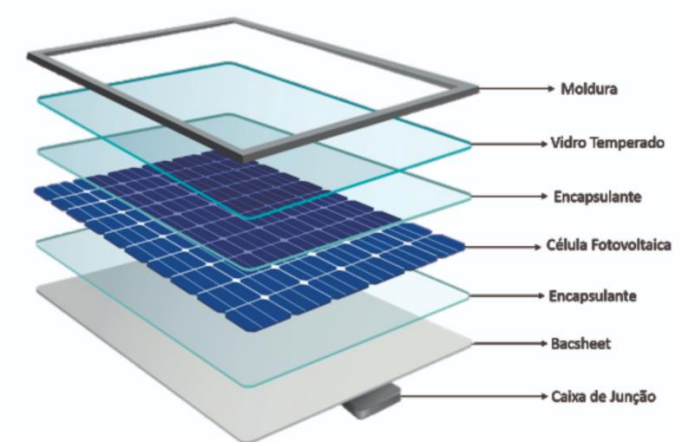
Os módulos fotovoltaicos são formados pela associação de células fotovoltaicas. Para um projeto fotovoltaico ocorre a necessidade realizar a associação de módulos fotovoltaicos para realizar a conexão no inversor fotovoltaico, essas associações podem ser em série e/ou em paralelo.

Para a conexão da quantidade certa de módulos e a forma de associação deve-se seguir o manual dos módulos fotovoltaicos e do inversor fotovoltaico (SOLARTERRA, 2021).

A Figura 8 ilustra a composição de um módulo fotovoltaico.

[5] Imagem retirada de: **https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/sistema-fotovoltaico-hibrido-entenda-o-que-e/**

Figura 8 – Módulo Fotovoltaico



Fonte[6]: Disponível em: **www.trialeletricos.com.br**. Acesso em: 28 outubro 2021.

2.5.2 Inversor Fotovoltaico

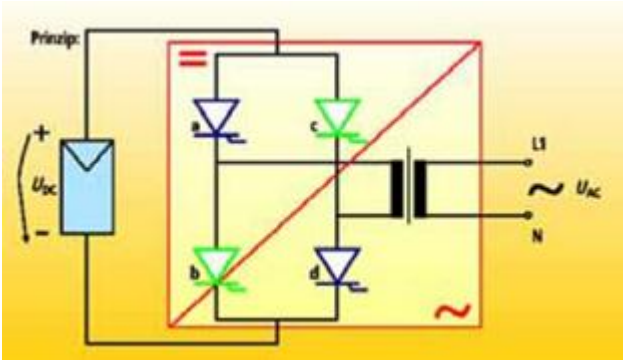
O inversor é o elemento do sistema fotovoltaico responsável pela conversão da corrente contínua (CC) gerada nos módulos em corrente alternada (CA). É também conhecido como conversor CC-CA (GREENPRO, 2004).

Os inversores fotovoltaicos podem ser classificados como inversor de rede e inversor autônomo.

Os inversores de rede funcionam conectados à rede de energia elétrica da concessionária e podem ser classificados como inversor comutado pela rede e inversor autocontrolado. O inversor comutado pela rede é formado por uma ponte comutada de tiristores, onde os mesmos precisam da intervenção da rede para mudar ao estado de bloqueio, já que uma vez comutados para o estado de condução não conseguem desligar-se por si só (GREENPRO, 2004). As Figura 9 e 10 ilustram um inversor comutado pela rede.

[6] Imagem retirada de: **Módulo Fotovoltáico 450W Monocristalino – Trial Elétricos (trialeletricos.com.br)**

Figura 9 – Inversor comutado pela rede



Fonte: GREENPRO, 2004, p. 109.

Figura 10 – Inversor comercial comutado pela rede

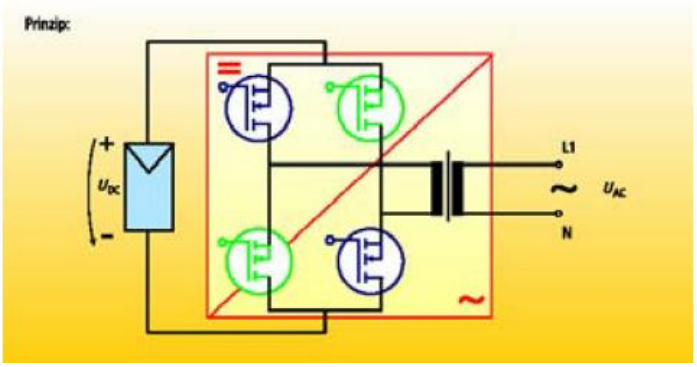


Fonte[7]: Disponível em: **www. mercadolivre.com.br** Acesso em: 28 outubro 2021.

Os inversores autocontrolado utilizam semicondutores ligados em circuito em ponte e para seu acionamento é utilizado a modulação por largura de pulso com frequência entre 10 e 100 kHz para a geração de uma onda senoidal compatível com a rede elétrica. As Figuras 11 e 12 ilustram esse tipo de inversor (GREENPRO, 2004).

[7] Imagem retirada de: **https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-829618341-inversor-grid-tie-conexo-rede-22v-a-60v-220v-600w-_JM#&gid=1&pid=6**

Figura 11 – Inversor auto-controlado



Fonte: GREENPRO, 2004, p. 110.

Figura 12 – Inversor auto-controlado comercial



Fonte[8]: Disponível em: **www.pandaenergiasolar.com** Acesso em: 28 outubro 2021.

O inversor autônomo realiza o armazenamento de energia nas baterias (acumuladores) e o fornecimento para consumo é feito através de um sinal contínuo. Eles devem alimentar vários tipos de equipamentos elétricos, ferramentas e equipamentos de telecomunicações (GREENPRO, 2004).

2.5.3 Controlador de carga

O controlador de carga é utilizado em sistemas autônomos e é um elemento indispensável para realizar o controle de carga e descarga da bateria. As principais funções de um controlador de carga são (GREENPRO, 2004):

[8] Imagem retirada de: **https://www.inveenergiasolar.com/inversor-solar-hibrido-1000-w-12-220-v-controlador-solar-50a-mppt-must-solar**

- Realizar o carregamento das baterias adequadamente;
- Realizar a proteção da bateria contra sobrecargas e descarga profunda.

A Figura 13 ilustra um controlador de carga.

Figura 13 – Controlador de carga comercial



Fonte[9]: Disponível em: **www. mercadolivre.com.br.** Acesso em: 28 outubro 2021.

2.5.4 Banco de baterias

O banco de baterias é o elemento do sistema fotovoltaico responsável pelo armazenamento da energia elétrica para ser utilizada em momentos oportunos. As baterias utilizadas em sistemas fotovoltaicos off-grid ou híbridos deve ser estacionária e associadas (série e/ou paralelo) para atingir a capacidade ideal das cargas que devem ser acionadas (PORTALSOLAR, 2016).

A figura 14 mostra os componentes da bateria.

[9] Imagem retirada de: **https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-773577759-controlador-de-carga-painel-pwm-solar-usb-lcd-30a-12v24v-_JM**

Figura 14 – Bateria selada



Fonte[10]: Disponível em: **www.unipower.com.br** Acesso em: 28 outubro 2021.

A figura 15 mostra um banco de baterias.

Figura 15 – Banco de baterias



Fonte[11]: Disponível em: **www.mexcom.com.br** Acesso em: 28 outubro 2021

2.6 Créditos de Carbono

Os créditos de carbono podem ser entendidos como investimentos alternativos no mundo financeiro, bem como *private equity* e fundos corporativos. Os créditos de carbono significam que uma tonelada de carbono não é mais emitida para a atmosfera, ajudando a reduzir o efeito estufa.

[10] Imagem retirada de: **https://unipower.com.br/bateria-selada-vrla/**

[11] Imagem retirada de: **https://www.mexcom.com.br/bateria-estacionaria-industrial**

Nesse caso, os créditos de carbono podem ser gerados de várias maneiras. Uma das formas de gerar créditos de carbono é repor o combustível na fábrica, a empresa deixou de usar recursos poluentes e não renováveis e passou a usar biomassa renovável. Dessa forma, pode-se calcular quanto de carbono a reposição não emitiu, gerando créditos de carbono (TC, 2020).

As empresas necessitam realizar a compensação das suas emissões de carbono e uma das formas é adquirindo os créditos de carbono. Desta forma, elas contribuem para diminuir o nível de gases do efeito estufa e auxiliam de forma indireta em projetos de redução de emissões, como por exemplo a geração de energia renovável (TC, 2020).

2.7 Comparativo entre as tecnologias

No Quadro 1 são mostrados a comparação entre as tecnologias de geração de energia estudada nesta monografia.

Quadro 1 – Comparação entre as tecnologias de geração de energia

Gerador a Diesel	**Gerador a Gás**	**Sistema Fotovoltaico**
Custo de implementação mais baixo.	Custo de implementação mais baixo.	Custo de implementação mais alto.
Tempo de partida (10 a 20 s)	Tempo de partida (5 a 10 min).	Imediato.
Exige armazenagem de combustível.	Não exige armazenagem de combustível.	Não precisa de combustível.
Não está sujeito a imprevistos de abastecimento.	Sujeito a imprevistos de fornecimento do gás.	Não está sujeito a imprevistos de abastecimento.
Menos inflamável (menor risco de acidentes).	Mais inflamável (maior risco de acidentes)	Baixo risco de acidentes.
Nível de ruído alto.	Nível de ruído baixo	Operação silenciosa.
Alto custo de operação e manutenção.	Alto custo de operação e manutenção.	Baixo custo de Operação e Manutenção.
Mais poluente dos três.	Menos poluente que o gerador a diesel.	Não poluente durante a operação.

Comparando as 3 tecnologias verifica-se que o sistema fotovoltaico é o que tem maior custo de implementação. Em termos de tempo de partida o sistema fotovoltaico é o mais rápido, vindo em seguida o gerador a diesel. No quesito de armazenamento o gerador a diesel apresenta desvantagem em relação aos outros dois sistemas, mas não está sujeito a imprevistos de abastecimento como pode ocorrer no caso do

gerador a gás. Na questão de segurança o gerador a gás apresenta mais risco pelo fato de ser mais inflamável.

No caso da poluição sonora o gerador a diesel apresenta desvantagem em relação aos outros dois devido ao alto nível de ruído, o que é desaconselhável no caso de utilização em escolas e hospitais. Quando se compara o custo de manutenção o sistema fotovoltaico é o que apresenta o menor custo e também é o que menos polui (somente afeta o meio ambiente durante o processo de fabricação dos componentes do sistema, já que durante a fase de operação a poluição é nula).

3 METODOLOGIA

O trabalho consiste num estudo de caso visando propor uma solução para fornecimento de energia no horário de ponta do FabLab da FACENS de forma a proporcionar economia e benefícios ao meio ambiente através de uso de energia limpa e renovável.

Esta solução compreende um sistema de geração e armazenamento de energia fotovoltaica para uso no horário de ponta. Além disso, foi realizado o estudo e dimensionamento de um sistema com gerador a diesel e de um sistema com gerador a gás para comparar e mostrar que a solução fotovoltaica, apesar de ter em princípio um custo maior, pode ser economicamente viável através do uso dos créditos de carbono, acrescentando assim também retorno financeiro e as vantagens que são bem conhecidas ao meio ambiente.

Para a elaboração deste trabalho, além das pesquisas bibliográficas realizadas também foi feito um levantamento de campo das instalações elétricas que possuem no local.

3.1 Levantamento das instalações elétricas do local

Através de uma visita no local pode-se conhecer as instalações elétricas e fazer o levantamento da carga instalada no local onde é realizado o dimensionamento do sistema de geração de energia elétrica. Através da Tabela 1 pode-se visualizar as cargas instaladas e suas respectivas potências.

Tabela 1 – Dados de carga instalada.

Carga	Potência (kW)
Iluminação	2700
Ar condicionado	12000
TUE Impressora 3D	800
TUG	9700
TUE Router	2500
Iluminação emergência	600
TUE Impressora 3D	1000
TUE Impressora 3D	1000
TUE Sala de Coworking	800
TUE Sala de Coworking	800
TUE Aspirador router	1500
Total	**33400**

Fonte: Elaborado pelos autores

Conforme pode ser visualizado pela Tabela 1, observa-se que a potência total instalada é de 33,4 kVA. Utilizando o fator de demanda para a instalação elétrica, conforme especificado pela GED 13 da CPFL, pode-se determinar o valor da potência do gerador para alimentar a instalação elétrica no período especificado. Através do pessoal responsável pelo laboratório verificou-se que os aparelhos de ar condicionado não são ligados no horário de ponta e, portanto, não são considerados no cálculo da demanda. A Tabela 2 ilustra a potência, o fator de demanda para cada item e também a demanda final.

Tabela 2 – Dados de potência, fator de demanda e demanda.

Carga	Potência (W)	Fd	Demanda (W)
Iluminação	2700	1	2700
TUG Impressora 3D	800	1	800
TUG	9700	0,27	2619
TUE Router	2500	1	2500
Iluminação emergência	600	1	600
TUE Impressora 3D	1000	1	1000
TUE Impressora 3D	1000	1	1000
TUE Sala de Coworking	800	1	800
TUE Sala de Coworking	800	1	800
TUE Aspirador router	1500	1	1500
Total	**21400**		**14319**

Fonte: Elaborado pelos autores

Conforme pode ser visualizado na Tabela 2, o valor da demanda da instalação é de 14,32 kW. Portanto, o valor da potência do gerador a diesel e a gás natural é dimensionado para esta potência.

3.2 Seleção do Gerador a Diesel

Para o dimensionamento deste gerador é utilizada a demanda da instalação do local que é de 14,32 kW. Dessa forma a potência comercial do gerador deve ser de 18 kVA (14,22/ 0,8, onde 0,8 é o fator de potência do gerador).

O gerador escolhido pode ser visualizado pela Figura 16.

Figura 16 – Gerador a diesel de 18 kVA.



Fonte[12]: Disponível em: **https://www.lojadomecanico.com.br**. Acesso em: 28 outubro 2021

Os dados técnicos deste gerador são (LOJADOMECANICO, 2021):

- Tipo do motor: Diesel 4T, 3 cilindros, refrigerado a água
- Modelo do motor: BD 29.0 E
- Cilindrada: 1908 CC
- Potência aparente máxima: 20,6kVA

[12] Imagem retirada de: **https://www.lojadomecanico.com.br/produto/98441/33/326/gerador-de-energia-cabinado-a-diesel-4t-1875kva-380v-partida-eletrica-branco-90314823**

- Potência aparente contínua: 18,75kVA
- Fator da potência: 0,8
- Potência ativa máxima: 16.5kW
- Potência ativa contínua: 15kW
- Combustível: Diesel
- Consumo médio (100%): 5,65l/h
- Autonomia (100%): 11,5h
- Capacidade do tanque: 65l
- Fases: trifásico
- Excitação do alternador: Brushless
- Controle de tensão: AVR
- Ruído (7m): 69dBA
- Dimensões (C x L x A): 1550 x 850 x 1050 mm
- Bitola recomendada do fio: 6mm²
- Partida: Partida Elétrica
- Acompanha bateria e carregador

O custo para aquisição do gerador proposto é de R$ 41.999,90

Para o cálculo do custo da energia elétrica do gerador a diesel foi usada a Equação (1) (GONCALVES FILHO, ET.al):

$$\mathbf{CEgmg} = \frac{(\mathbf{CD} * \mathbf{Cgmg} + \mathbf{Mgmg})}{\mathbf{Pgmg}} \quad (1)$$

Onde CEgmg é o custo da energia elétrica do Gerador (R$/kWh), CD é o custo do óleo diesel (R$/l), Cgmg é o consumo de diesel do Gerador (l/h), Mgmg é o custo de manutenção do Gerador (R$/h) e Pgmg é a potência ativa do Gerador (kW).

Segundo a referência habitissimo (2021), o preço médio mensal de manutenção de um gerador a óleo diesel é de R$ 384,00. Dessa forma, pode-se determinar o valor do custo de manutenção por hora de aproximadamente R$ 0,53.

Com os dados da Equação (1) e os valores de preço por litro de óleo diesel de R$ 5,22, valor de consumo de óleo diesel do gerador de 5,65 l/H, custo de manutenção

de R$ 0,53 e a potência ativa do gerador de diesel, pode-se estimar o custo da energia elétrica que o gerador deve produzir que é de aproximadamente 2,00 R$/kWh.

A Figura 17 ilustra o custo da energia referente a tarifa de energia elétrica em que se enquadra a instalação estudada, que é subgrupo A4 tarifa horo-sazonal verde. É possível verificar que o custo da tarifa no horário de ponta chega a ser 65% mais caro que no horário fora de ponta na bandeira verde e cerca de 41% mais caro na bandeira vermelha.

Figura 17 – Dados de custo de energia na ponta.



Fonte[13]: Disponível em: **www.cpflempresas.com.br**. Acesso em: 28 outubro 2021

No caso do gerador a diesel, comparando com os valores da tarifa horo-sazonal verde A4 da CPFL (Figura 17) que hoje é de 1,35 R$/KWh (tarifa verde) e 1,492 R$/KWh (tarifa vermelha) conclui-se que a solução como gerador a diesel é inviável pois é cerca de 48% mais cara que a tarifa verde e de 34% mais cara que a tarifa vermelha. Esta solução que antes era muito usada, hoje tornou-se inviável pelo preço do óleo diesel que subiu muito nos últimos meses (cerca de 65,3% entre janeiro e outubro de 2021).

[13] Imagem retirada de:
https://www.cpflempresas.com.br/institucional/tarifas.aspx?emp=CPFL

3.3 Seleção do Gerador a Gás Natural

O dimensionamento do gerador a gás natural foi feito de forma similar ao dimensionamento do gerador a diesel, ou seja, a potência obtida foi de 18 kVA. Onde o gerador escolhido pode ser visualizado pela Figura 18.

Figura 18 – Gerador a Gás Natural comercial



Fonte[14]: Disponível em: **https://generacbrasil.com.br/geradores-gas/guardian-18-kva**. Acesso em: 28 outubro 2021.

Os dados técnicos deste gerador são (GENERAC, 2021):

- Potência Standby: 18 kVA;
- Combustível: Gás Natural;
- Consumo:8.52 (m3/hr);
- Nível de atenuação: 66dB.

O custo para aquisição do gerador proposto é R$ 44.000,00 (ENERG Geradores, 2021)

Para o cálculo do custo da energia elétrica do gerador a gás natural utilizou-se a Equação (1) trocando o custo do óleo pelo custo do m³ do gás natural e o consumo do óleo pelo consumo do gás natural.

Com os dados da equação (1) e os valores de preço por m³ do gás natural de R$ 0,81, valor de consumo de gás do gerador de 8,52 m^3/h, custo de manutenção de

[14] Imagem retirada de: **https://generacbrasil.com.br/geradores-gas/guardian-18-kva**

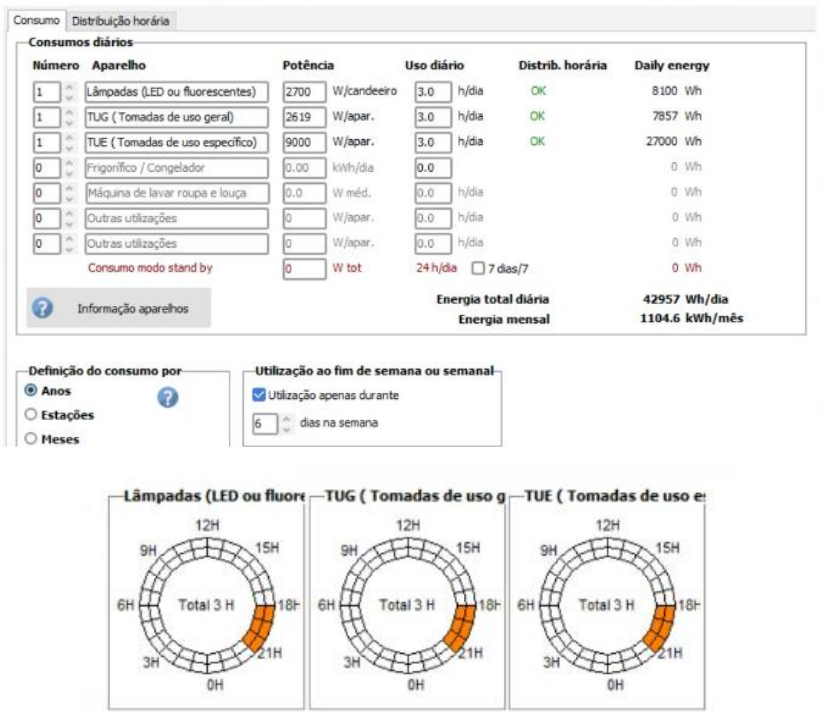
R$ 0,53 e a potência ativa do gerador a gás natural, pode-se estimar o custo da energia elétrica que o gerador deve produzir que é de aproximadamente 0,49 (R$/kWh).

No caso do gerador a gás natural, comparando com os valores da tarifa horo-sazonal verde A4 da CPFL (Figura 17) que hoje é de 1,35 R$/KWh (tarifa verde) e 1,492 R$/KWh (tarifa vermelha) conclui-se que a solução como gerador a gás natural é 63% mais barata que a tarifa verde e de 67% mais barata que a tarifa vermelha.

3.4 Projeto do Sistema Fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico é necessário determinar o valor do consumo de energia mensal. No caso do FabLab a utilização do sistema fotovoltaico se dá no horário de ponta (3 horas entre 18 e 21 h) de segunda a sábado. Estes dados e as potências das cargas usadas no FabLab foram usados como fonte de entrada para o dimensionamento do sistema fotovoltaico no programa PVSYST e são mostrados na Figura 19.

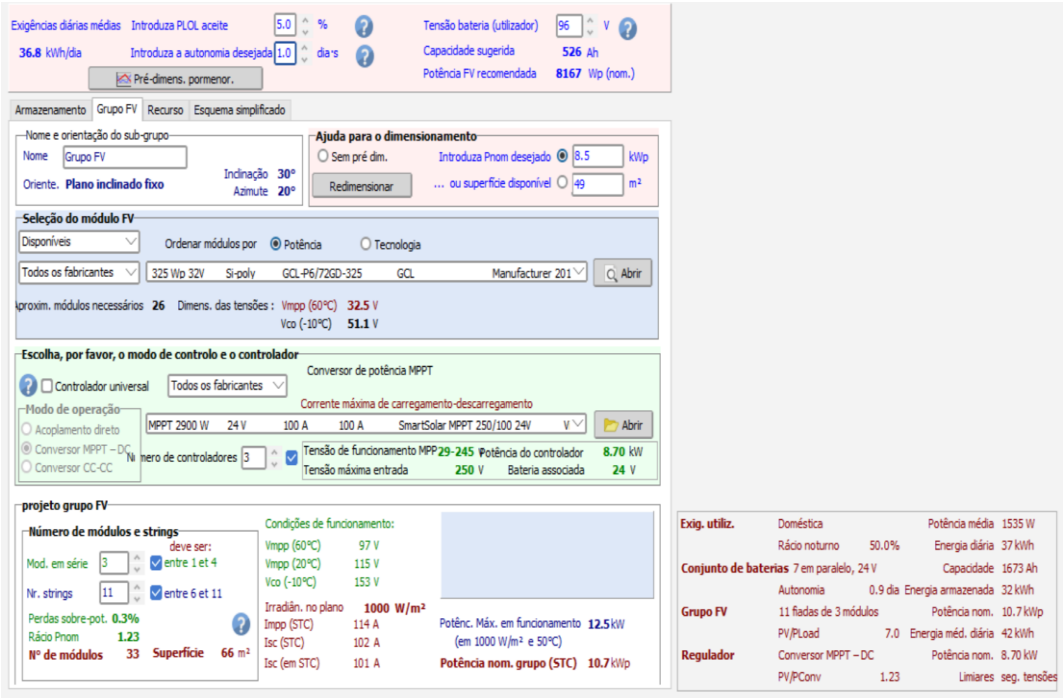
Figura 19 – Dados de carga - PVSYST



Fonte[15]: Disponível em: https://www.pvsyst.com. Acesso em: 28 outubro 2021

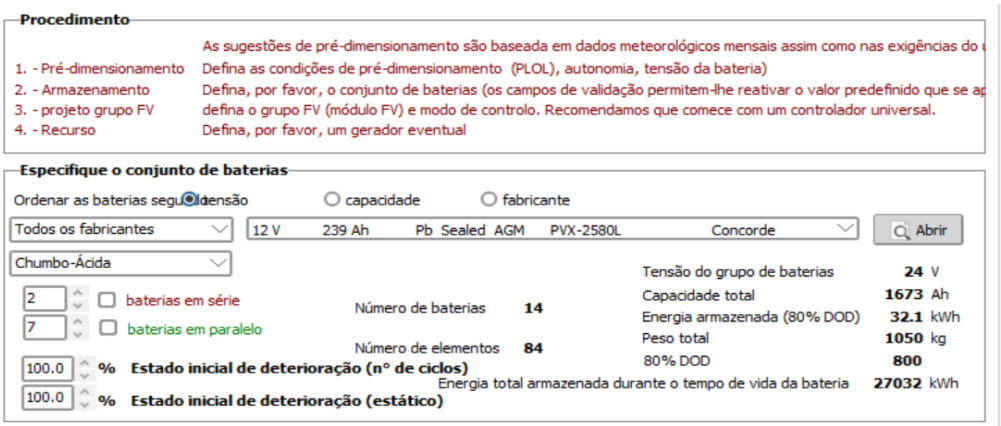
Os dados dos elementos do grupo fotovoltaico (módulos, controlador e baterias) dimensionados no projeto são mostrados nas Figuras 20 e 21.

Figura 20 – Grupo Fotovoltaico - PVSYST



Fonte[16]: Disponível em: https://www.pvsyst.com. Acesso em: 28 outubro 2021

Figura 21 – Conjunto de Baterias - PVSYST



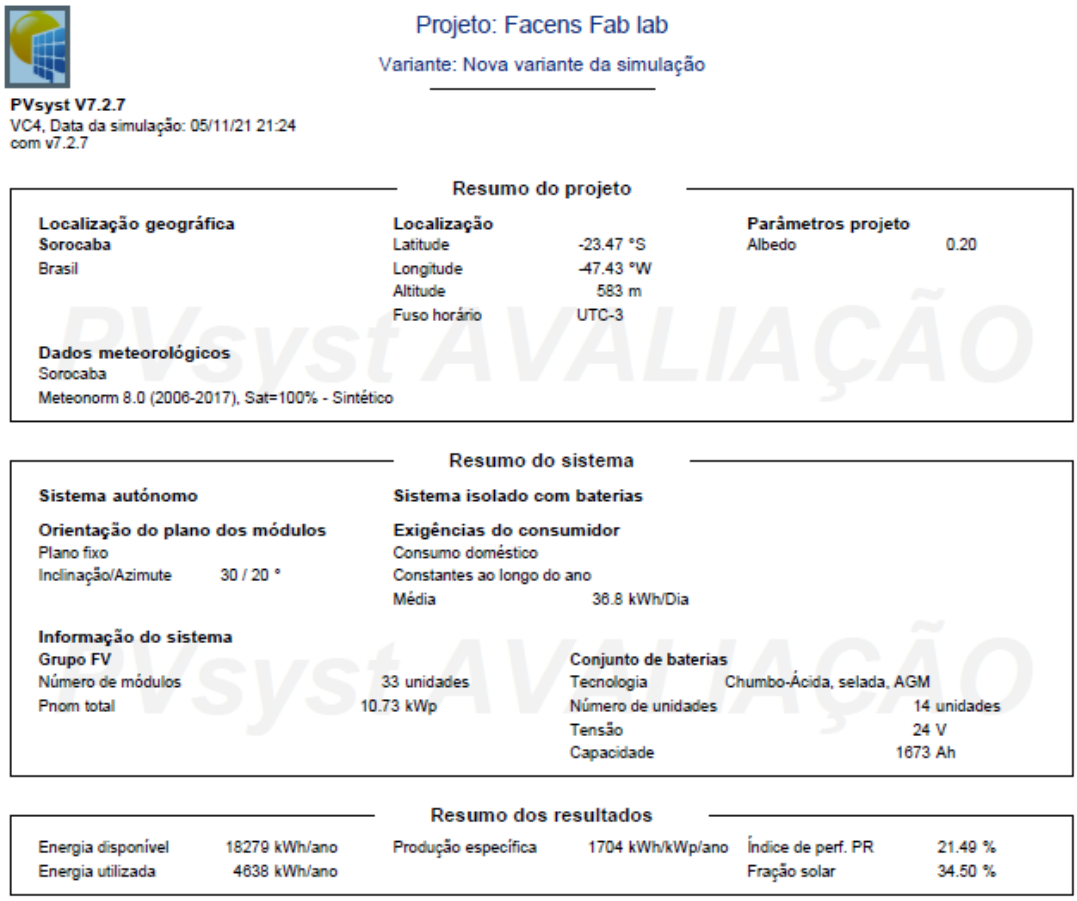
[15] Imagem retirada de: https://www.pvsyst.com

[16] Imagem retirada de: https://www.pvsyst.com

Fonte[17]: Disponível em: **https://www.pvsyst.com**. Acesso em: 28 outubro 2021

Nas figuras 22 a 25 são mostrados o resumo do projeto, as características dos componentes, os resultados principais da simulação e o diagrama de perdas.

Figura 22 – Resumo do Projeto - PVSYS



Projeto: Facens Fab lab

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.2.7
VC4, Data da simulação: 05/11/21 21:24
com v7.2.7

Resumo do projeto

Localização geográfica		**Localização**		**Parâmetros projeto**	
Sorocaba		Latitude	-23.47 °S	Albedo	0.20
Brasil		Longitude	-47.43 °W		
		Altitude	583 m		
		Fuso horário	UTC-3		

Dados meteorológicos
Sorocaba
Meteonorm 8.0 (2006-2017), Sat=100% - Sintético

Resumo do sistema

Sistema autónomo		**Sistema isolado com baterias**	
Orientação do plano dos módulos		**Exigências do consumidor**	
Plano fixo		Consumo doméstico	
Inclinação/Azimute	30 / 20 °	Constantes ao longo do ano	
		Média	36.8 kWh/Dia

Informação do sistema

Grupo FV		**Conjunto de baterias**	
Número de módulos	33 unidades	Tecnologia	Chumbo-Ácida, selada, AGM
Pnom total	10.73 kWp	Número de unidades	14 unidades
		Tensão	24 V
		Capacidade	1673 Ah

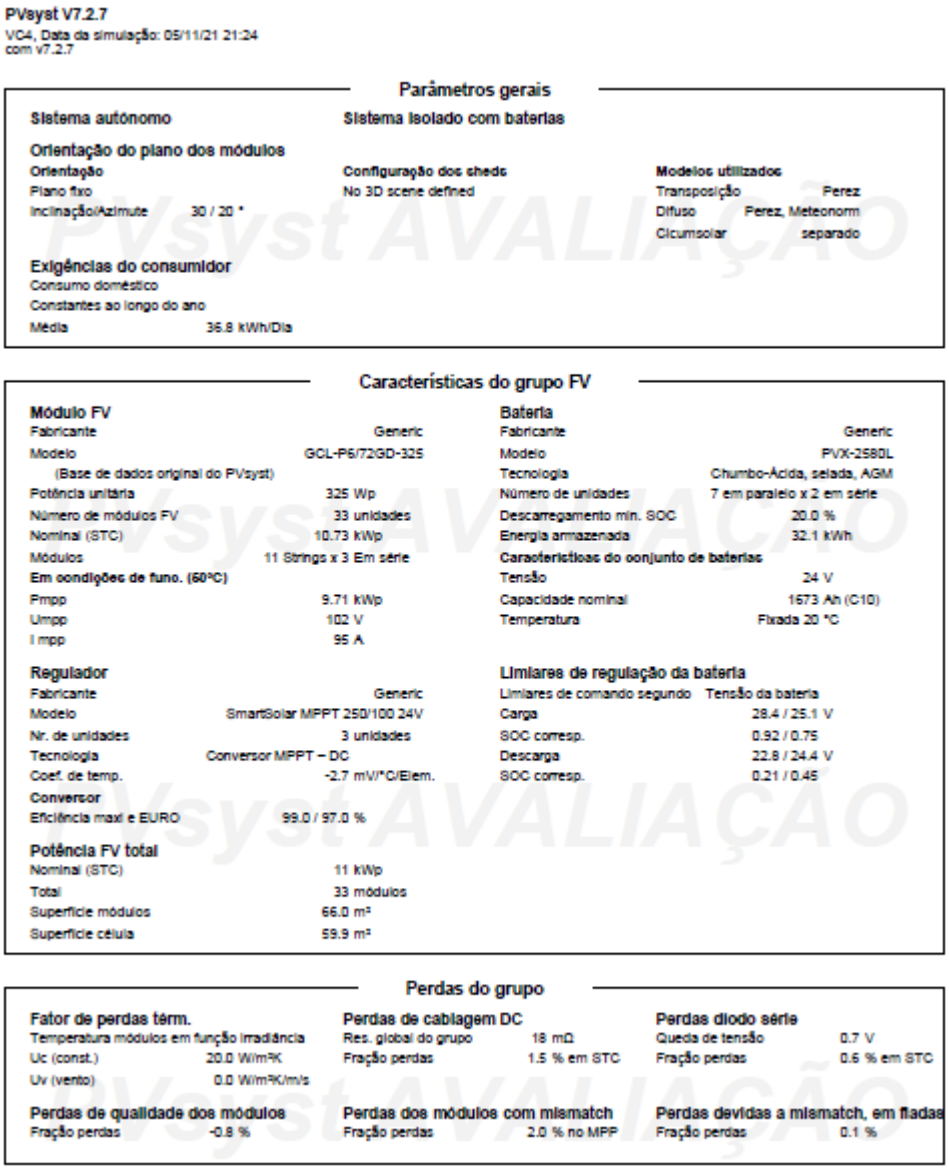
Resumo dos resultados

Energia disponível	18279 kWh/ano	Produção específica	1704 kWh/kWp/ano	Índice de perf. PR	21.49 %
Energia utilizada	4638 kWh/ano			Fração solar	34.50 %

Fonte: Elaborada pelo autor

[17] Imagem retirada de: **https://www.pvsyst.com**

Figura 23– Características do Projeto - PVSYST



PVsyst V7.2.7
VC4, Data da simulação: 05/11/21 21:24
com v7.2.7

Parâmetros gerais

Sistema autónomo — **Sistema isolado com baterias**

Orientação do plano dos módulos

Orientação		Configuração dos sheds		Modelos utilizados	
Plano fixo		No 3D scene defined		Transposição	Perez
Inclinação/Azimute	30 / 20 °			Difuso	Perez, Meteonorm
				Circumsolar	separado

Exigências do consumidor

Consumo doméstico
Constantes ao longo do ano
Média 36.8 kWh/Dia

Características do grupo FV

Módulo FV

Fabricante	Generic
Modelo	GCL-P6/72GD-325
(Base de dados original do PVsyst)	
Potência unitária	325 Wp
Número de módulos FV	33 unidades
Nominal (STC)	10.73 kWp
Módulos	11 Strings x 3 Em série
Em condições de func. (60°C)	
Pmpp	9.71 kWp
Umpp	102 V
I mpp	95 A

Bateria

Fabricante	Generic
Modelo	PVX-2580L
Tecnologia	Chumbo-Ácida, selada, AGM
Número de unidades	7 em paralelo x 2 em série
Descarregamento mín. SOC	20.0 %
Energia armazenada	32.1 kWh
Caracteristicas do conjunto de baterias	
Tensão	24 V
Capacidade nominal	1673 Ah (C10)
Temperatura	Fixada 20 °C

Regulador

Fabricante	Generic
Modelo	SmartSolar MPPT 250/100 24V
Nr. de unidades	3 unidades
Tecnologia	Conversor MPPT – DC
Coef. de temp.	-2.7 mV/°C/Elem.
Conversor	
Eficiência maxi e EURO	99.0 / 97.0 %

Limiares de regulação da bateria

Limiares de comando segundo	Tensão da bateria
Carga	28.4 / 25.1 V
SOC corresp.	0.92 / 0.75
Descarga	22.8 / 24.4 V
SOC corresp.	0.21 / 0.45

Potência FV total

Nominal (STC)	11 kWp
Total	33 módulos
Superfície módulos	66.0 m²
Superfície célula	59.9 m²

Perdas do grupo

Fator de perdas térm.
Temperatura módulos em função irradiância
Uc (const.) 20.0 W/m²K
Uv (vento) 0.0 W/m²K/m/s

Perdas de cablagem DC
Res. global do grupo 18 mΩ
Fração perdas 1.5 % em STC

Perdas diodo série
Queda de tensão 0.7 V
Fração perdas 0.6 % em STC

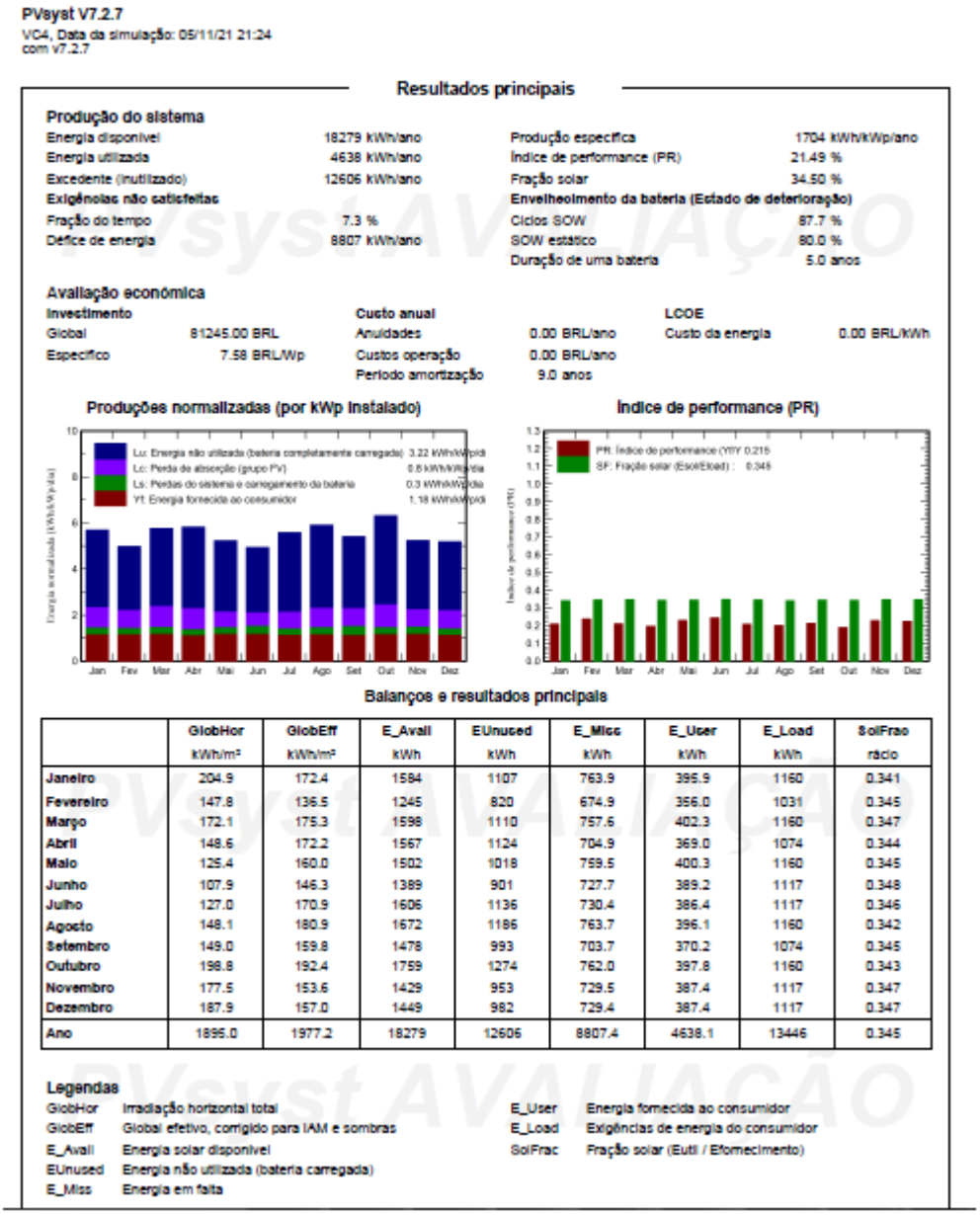
Perdas de qualidade dos módulos
Fração perdas -0.8 %

Perdas dos módulos com mismatch
Fração perdas 2.0 % no MPP

Perdas devidas a mismatch, em filadas
Fração perdas 0.1 %

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 24 – Resultados principais - PVSYST



PVsyst V7.2.7
VC4, Data da simulação: 05/11/21 21:24
com v7.2.7

Resultados principais

Produção do sistema

Energia disponível	18279 kWh/ano	Produção específica	1704 kWh/kWp/ano
Energia utilizada	4638 kWh/ano	Índice de performance (PR)	21.49 %
Excedente (inutilizado)	12606 kWh/ano	Fração solar	34.50 %
Exigências não satisfeitas		**Envelhecimento da bateria (Estado de deterioração)**	
Fração do tempo	7.3 %	Ciclos SOW	87.7 %
Déficie de energia	8807 kWh/ano	SOW estático	80.0 %
		Duração de uma bateria	5.0 anos

Avaliação económica

Investimento		Custo anual		LCOE	
Global	81245.00 BRL	Anuidades	0.00 BRL/ano	Custo da energia	0.00 BRL/kWh
Específico	7.58 BRL/Wp	Custos operação	0.00 BRL/ano		
		Período amortização	9.0 anos		

Produções normalizadas (por kWp instalado)

Índice de performance (PR)

Balanços e resultados principais

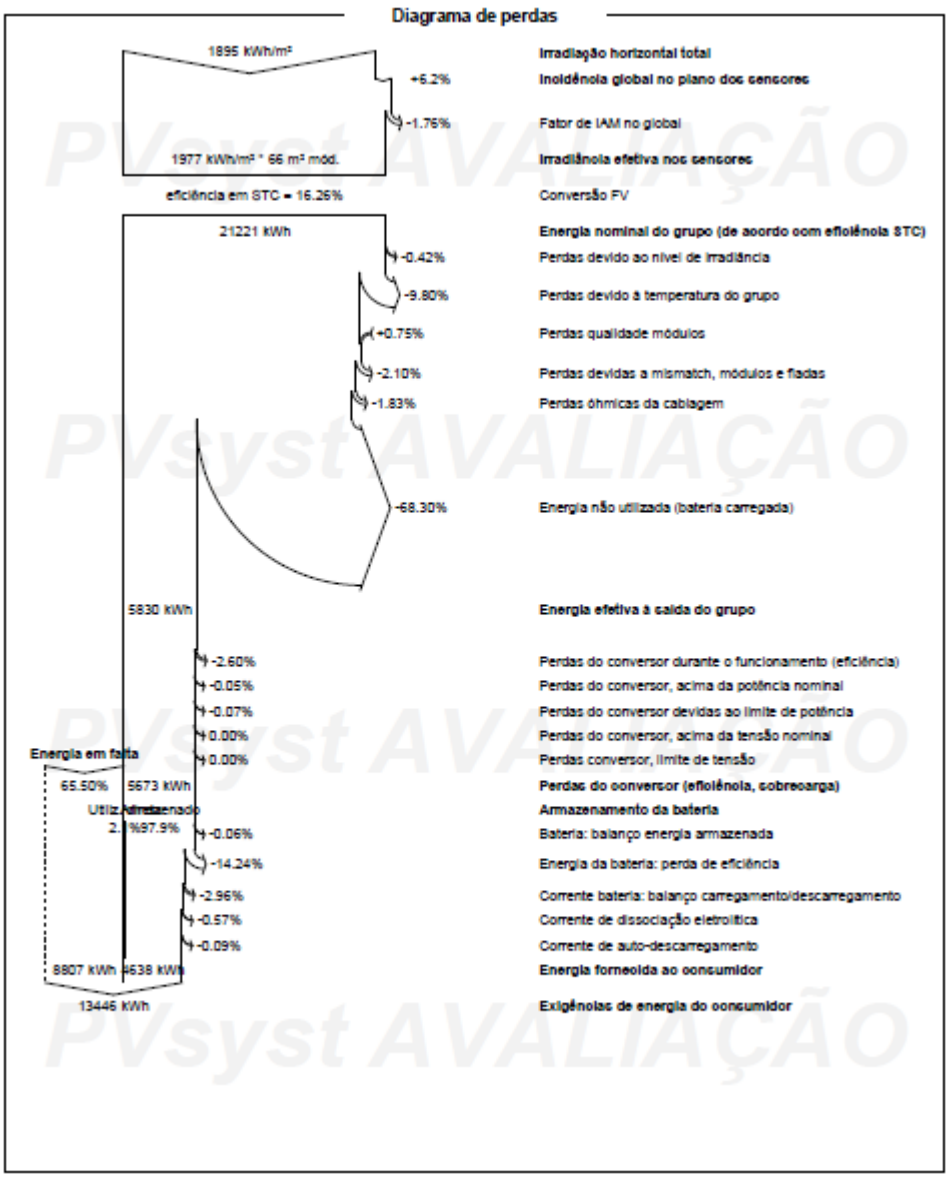
	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac rácio
Janeiro	204.9	172.4	1584	1107	763.9	396.9	1160	0.341
Fevereiro	147.8	136.5	1245	820	674.9	356.0	1031	0.345
Março	172.1	175.3	1598	1110	757.6	402.3	1160	0.347
Abril	148.6	172.2	1567	1124	704.9	369.0	1074	0.344
Maio	125.4	160.0	1502	1018	759.5	400.3	1160	0.345
Junho	107.9	146.3	1389	901	727.7	389.2	1117	0.348
Julho	127.0	170.9	1606	1136	730.4	386.4	1117	0.346
Agosto	148.1	180.9	1672	1186	763.7	396.1	1160	0.342
Setembro	149.0	159.8	1478	993	703.7	370.2	1074	0.345
Outubro	198.8	192.4	1759	1274	762.0	397.8	1160	0.343
Novembro	177.5	153.6	1429	953	729.5	387.4	1117	0.347
Dezembro	187.9	157.0	1449	982	729.4	387.4	1117	0.347
Ano	1895.0	1977.2	18279	12606	8807.4	4638.1	13446	0.345

Legendas

GlobHor	Irradiação horizontal total	E_User	Energia fornecida ao consumidor
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras	E_Load	Exigências de energia do consumidor
E_Avail	Energia solar disponível	SolFrac	Fração solar (EUtil / Efornecimento)
EUnused	Energia não utilizada (bateria carregada)		
E_Miss	Energia em falta		

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 25 – Diagrama de perdas - PVSYST



Fonte: Elaborada pelo autor

Foram dimensionados os principais itens de um sistema fotovoltaico *off*-grid, conforme é descrito nos itens abaixo.

O módulo fotovoltaico utilizado neste estudo é do fabricante Canadian, conforme pode ser visualizado na Figura 26.

Figura 26 – Grupo Fotovoltaico CanadianSolar



Fonte[18]: Disponível em: **https://www.mercadolivre.com**. Acesso em: 28 outubro 2021

Os dados técnicos são mostrados abaixo.

- Potência máxima (Pmax): 325W;
- Número de células: 72 (6x12);
- Tensão de máxima potência (Vmp): 37,0V;
- Corrente da máxima potência (Imp): 8,78A;
- Tensão de circuito aberto (Voc): 45,5V;
- Corrente do curto-circuito (Isc): 9,45A;
- Tipo de células: Silício Policristalino;
- Eficiência do módulo: 16,71%;
- Tolerância de potência: 0 + - 5%;
- Tamanho do cabo traseiro: 55cm;
- Dimensões (mm): 2000 X 992 X 40 (mm);
- Peso (Kg): 22,5.

[18] Imagem retirada de: **https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2054175787-placa-solar-painel-modulo-fotovoltaico-325w-canadian-solar-_JM?matt_tool=18956390&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic**

O custo unitário é de R$ 949,00 e o custo total é de R$ 31.317,00 - 33 módulos (MERCADOLIVRE, 2021).

Segundo o projeto os módulos FV devem ser ligados em 11 *strings* (fileiras) em paralelo, sendo cada *string* formada por 3 módulos em série totalizando assim os 33 módulos.

O controlador de carga utilizado é do fabricante Victron Energy, conforme pode ser visualizado na Figura 27.

Figura 27– Controlador Smart Solar



Fonte[19]: Disponível em: **www.americanas.com.br/**. Acesso em: 28 outubro 2021

Os dados técnicos do controlador de carga estão dispostos abaixo.

- Modelo SCC125110210 SMATSOLAR MPPT
- 250 V
- 100 A
- 12/24/48V
- TR SMART ENERGY

O custo unitário é de R$ 7.844,00 e o custo total é de R$ 23.532,00 (3 controladores) (AMERICANAS, 2021)

[19] Imagem retirada de:
https://www.americanas.com.br/produto/2574269236?epar=bp_pl_00_go_pla_casaeconst_geral_gmv&opn=YSMESP&WT.srch=1&gclid=EAIaIQobChMI9K3Em4WC9AIVDLjICh0PwAtbEAQYAyABEgIThPD_BwE

A bateria utilizada é uma bateria estacionária, conforme pode ser visualizada pela Figura 28.

Figura 28 – Bateria Audio Power



Fonte[20]: Disponível em: **www.mercadolivre.com.br/**. Acesso em: 28 outubro 2021

A especificação técnica da bateria está descrita abaixo.

- Dados Técnicos da Bateria
- Marca Audio Power
- Voltagem 12 V
- Capacidade 250Ah
- Dimensões: 23 cm x 22 cm x 51 cm

O custo unitário é de R$ 889,00 e o custo total é de R$ 12446,00 - 14 unidades (MERCADOLIVRE, 2021).

Segundo o projeto fotovoltaico as 14 baterias de 12 V/250Ah devem ser ligadas em série duas a duas formando um conjunto e os conjuntos devem ser ligados em paralelo. Desta forma, a tensão do grupo de batearias é de 24 V (tensão do controlador) e com uma capacidade de 1750 Ah (7 x 250) o que permite uma autonomia de aproximadamente 1 dia.

[20] Imagem retirada de: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1957502121-bateria-audio-power-250ah-energia-solar-off-grid-_JM#reco_item_pos=5&reco_backend=machinalis-seller-items-pdp&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=b99b8d96-a30a-479a-ba3c-b8351a28f143

O inversor fotovoltaico utilizado neste estudo pode ser visualizado pela Figura 29.

Figura 29 – Módulo Inversor Canadian



Fonte[21]: Disponível em:**https**://**www.eletrotrafo.com.br**. Acesso em: 28 outubro 2021

Os dados técnicos do Inversor estão descritos abaixo (ELETROTRAFO, 2021).

ENTRADA CC

- Máx. Potência CC: 18 kW
- Máx. Tensão de Entrada CC: 1000 VCC
- Tensão de Partida CC: 180VCC
- Número de MPPTs: 2
- Faixa de Tensão de MPPT: 160 - 850 VCC
- Máx. Corrente de Entrada (Imp): 22 A / 22 A
- Máx. Corrente de Curto-Circuito (Isc): 34,3 A / 34,3 A
- Número de Entradas CC: 2/4
- Tipo de Desconexão CC: Interruptor Seccionador

[21] Imagem retirada de: https://www.eletrotrafo.com.br/inversor-gerador-solar-15kw-trifasico-380v-csi-15k-t400gl01-e-com-wifi---canadian/p?idsku=8098&https://www.eletrotrafo.com.br/?utm_source=google&utm_medium=Shopping_inteligente&gclid=Cj0KCQjwrJOMBhCZARIsAGEd4VEDd2rwNX_FdtuXIlizwmQZ6mXhFKOBEn4cBuKEKNp0cAYnGwmkH8caAk5hEALw_wcB

SAÍDA CA

- Potência Nominal de Saída CA: 15 kW
- Máx. Potência de Saída CA :16,5 kW
- Tensão Nominal de Saída: 220/380 VCA, 230/400 VCA
- Tipo de Conexão de Rede: 3 W / N / PE
- Corrente Nominal de Saída de Rede: 22,8 A / 21,7 A
- Máx. Corrente de Saída: 23,8 A
- Frequência Nominal de saída: 50/60 Hz
- Faixa de Frequência de Saída: 45 - 55 Hz / 55 - 65 Hz
- Fator de Potência: > 0,99 (0,8 avanço ... 0,8 atraso)

O custo unitário é de R$ 13.950,00,00 e o custo total é de R$ 13.950,00,00 - 1 inversor fotovoltaico (ELETROTRAFO, 2021)

Com a análise dos equipamentos utilizados verifica-se que o custo total do projeto fotovoltaico é de R$ 81.245,00.

3.5 Comparação entre os projetos

O custo do fotovoltaico somente considerando os valores para aquisição dos módulos e do inversor (R$ 81.245,00) é maior que os custos de aquisição do gerador a óleo diesel (R$ 41.999,00) ou do gerador a gás natural (R$ 44.000,00). Entretanto estes últimos tem ainda o custo de consumo de combustível, o qual não é necessário no sistema fotovoltaico. Os custos de manutenção do sistema fotovoltaico é um pouco maior que o do gerador a óleo diesel e a gás natural, segundo pesquisa de preços (R$ 460,00 contra R$ 384,00) (HABITISSIMO, 2021).

Comparando-se os três sistemas pode-se concluir que o sistema a gás natural seria a curto prazo o mais vantajoso em relação ao sistema com óleo diesel pelo valor mais baixo, somando o valor de aquisição e consumo. Já o sistema fotovoltaico a longo prazo é mais vantajoso porque apesar de ser mais caro a aquisição não possui o custo de combustível.

Entretanto, existe ainda uma grande vantagem a favor do sistema fotovoltaico que é a possibilidade de venda de créditos de carbono.

Usando a ferramenta disponibilizada pelo BNDES é possível calcular a quantidade de redução de emissões de gases do efeito estufa (GEES) vinculada a projetos financiados com recursos do programa, mas que também pode ser usada, segundo o próprio *site*, por instituições interessadas em medir a redução de emissão de GEES nos projetos que apoiam.

Para fazer o cálculo são necessários alguns dados solicitados pela ferramenta (BNDES, 2021):

- Capacidade instalada (em MW) – 0,011 (10,73 kWp);
- Fator de geração – 64%;
- Vida útil do equipamento – 25 anos;
- Projeto fornece energia para um sistema isolado – Sim

O fator de geração de 64% foi calculado considerando as perdas do sistema fotovoltaico (devido a poeira, incompatibilidade entre módulos, perdas de cabeamento CC e CA e perdas geradas pela temperatura, etc) indicadas no diagramas de perdas do PVSYST (Figura 25).

Com estas informações e com a ferramenta foi calculado o volume total de carbono capturado pelo projeto: 557 tCO2e conforme pode ser visto na Figura 30.

Figura 30 – Volume total de carbono capturado.

Projeto: Crédito Verde no Brasil

Ferramenta de cálculo: aquisição de módulos de células fotovoltaicas, aerogeradores de pequeno porte e motores à biogás.

Dados de entrada para cálculo de GEE: aspectos técnicos	
1 - Insira a capacidade instalada:	0,011 MW
2 - Insira o fator de geração:	64%
3 - Insira a vida útil do equipamento:	25 anos
4 - O projeto fornecerá energia para um sistema isolado?	Sim

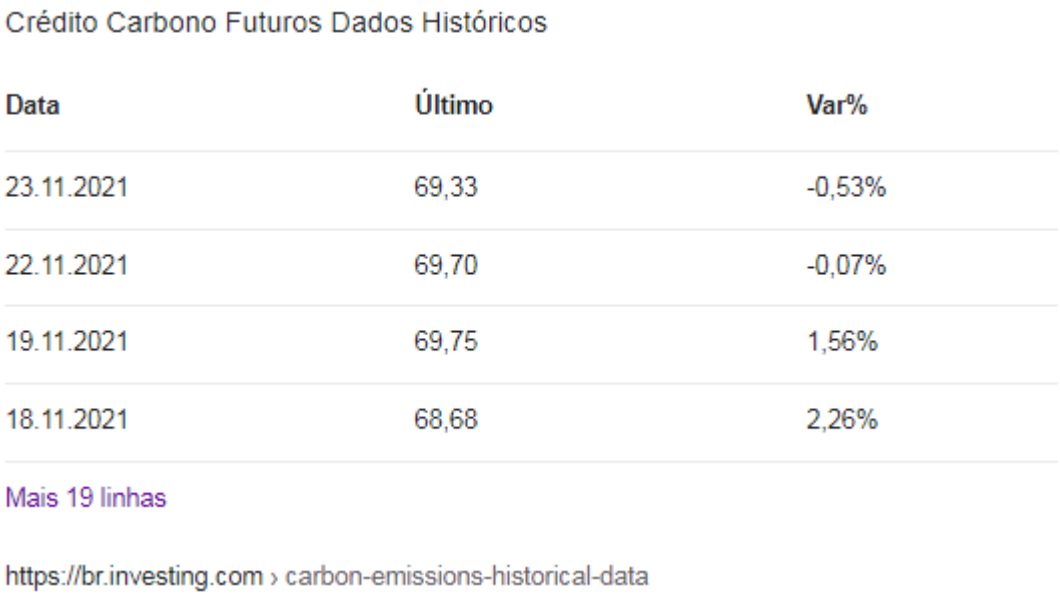
Resultados	
1 - Volume total de carbono capturado pelo projeto:	**557 tCO_2e**

Fonte[22]: Disponível em: **www.bndes.gov.br** Acesso em: 23 Novembro de 2021

[22] Imagem retirada de: https://www.bndes.gov.br

O valor do crédito de carbono atual vale em torno de R$ 69,00 por tonelada e os valores de cotação do mesmo pode ser visualizado pela Figura 31.

Figura 31– Cotação de Crédito de Carbono.



Crédito Carbono Futuros Dados Históricos

Data	Último	Var%
23.11.2021	69,33	-0,53%
22.11.2021	69,70	-0,07%
19.11.2021	69,75	1,56%
18.11.2021	68,68	2,26%

Mais 19 linhas

https://br.investing.com › carbon-emissions-historical-data

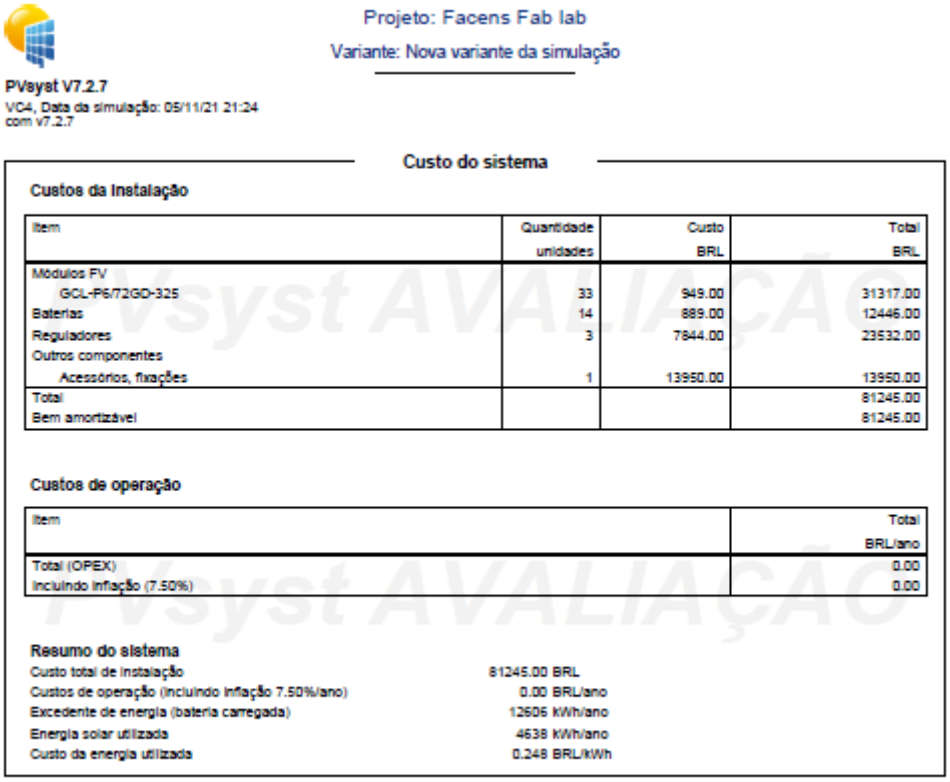
Fonte[23]: Disponível em: **www.investing.com.** Acesso em: 23 novembro de 2021

E com esta informação é possível calcular o crédito de carbono gerado, que ficou em torno de R$ 38.468,00 (R$ 69,00/tCO2*557 tCo2). Subtraindo este valor do custo do sistema fotovoltaico tem-se a redução de 47% no valor final do projeto fotovoltaico totalizando R$ 42777,00. Este valor representa um valor próximo ao valor do custo do gerador a diesel (R$ 41999,00) e a do gás natural (R$ 44.000,00).

O crédito de carbono gerado no valor de R$ 38.468,00 é usado como subsidio na análise financeira feita pelo programa PVSYST. Além dele, foram usados o valor de R$ 0,53 (R$/kWh) de tarifa de energia e uma taxa de inflação de 7,5% ao ano. A análise financeira é mostrada nas Figuras 32, 33 e 34 onde é informado o retorno financeiro no prazo de 12,2 anos.

[23] Imagem retirada de: https://www.investing.com

Figura 32– Custo do Sistema Fotovoltaico



PVsyst V7.2.7
VC4, Data da simulação: 05/11/21 21:24
com v7.2.7

Projeto: Facens Fab lab
Variante: Nova variante da simulação

Custo do sistema

Custos da Instalação

Item	Quantidade unidades	Custo BRL	Total BRL
Módulos FV			
GCL-P6/72GD-325	33	949.00	31317.00
Baterias	14	889.00	12446.00
Reguladores	3	7844.00	23532.00
Outros componentes			
Acessórios, fixações	1	13950.00	13950.00
Total			81245.00
Bem amortizável			81245.00

Custos de operação

Item	Total BRL/ano
Total (OPEX)	0.00
Incluindo inflação (7.50%)	0.00

Resumo do sistema

Custo total de instalação	81245.00 BRL
Custos de operação (incluindo inflação 7.50%/ano)	0.00 BRL/ano
Excedente de energia (bateria carregada)	12606 kWh/ano
Energia solar utilizada	4638 kWh/ano
Custo da energia utilizada	0.248 BRL/kWh

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 33– Dados para Análise Econômica

PVsyst V7.2.7
VC4, Data da simulação: 05/11/21 21:24
com v7.2.7

Análise financeira

Período de simulação
Duração do projeto 25 anos Ano de início 2022

Variação dos rendimentos ao longo do tempo
Inflação 7.50 %/ano
Variação da produção (envelhecimento) 0.00 %/ano
Taxa de desconto 0.00 %/ano

Financiamento
Fundos próprios 42777.00 BRL
Subsídios 38468.00 BRL

Self-consumo
Tarifa de consumo 0.5300 BRL/kWh
Evolução das tarifas +7.5 %/ano

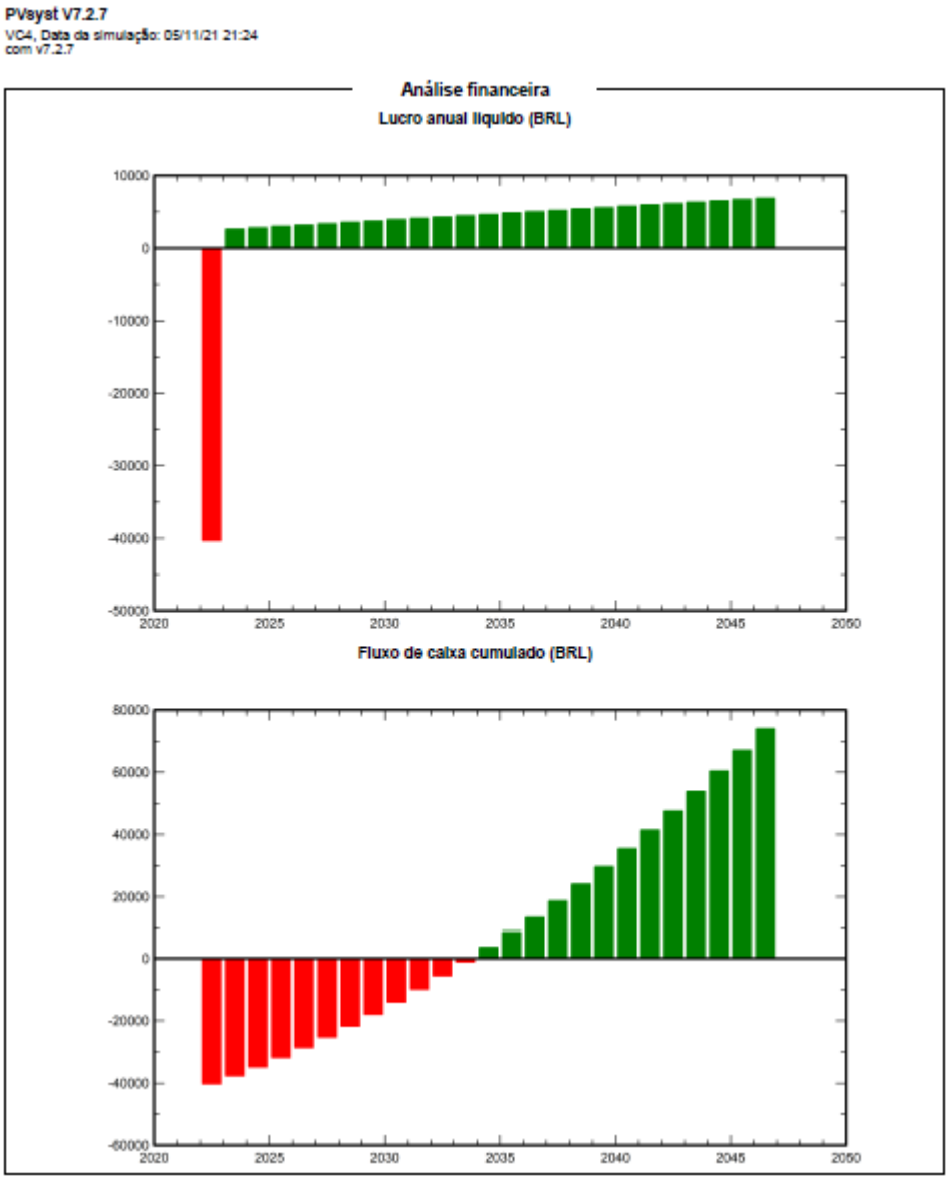
Rendimento
Período de amortização 12.2 anos
Valor atual líquido (VPN) 73987.63 BRL
Rendimento (ROI) 173.0 %

Resultados económicos pormenorizados (BRL)

	Custos operação	Poupança auto-cons.	Lucro cumulado	% amortec.
2022	0	2458	-40319	5.7%
2023	0	2643	-37676	11.9%
2024	0	2827	-34849	18.5%
2025	0	3011	-31838	25.6%
2026	0	3196	-28642	33.0%
2027	0	3380	-25262	40.9%
2028	0	3564	-21698	49.3%
2029	0	3749	-17949	58.0%
2030	0	3933	-14016	67.2%
2031	0	4117	-9899	76.9%
2032	0	4302	-5597	86.9%
2033	0	4486	-1110	97.4%
2034	0	4671	3560	108.3%
2035	0	4855	8415	119.7%
2036	0	5039	13454	131.5%
2037	0	5224	18678	143.7%
2038	0	5408	24086	156.3%
2039	0	5592	29679	169.4%
2040	0	5777	35455	182.9%
2041	0	5961	41416	196.8%
2042	0	6146	47562	211.2%
2043	0	6330	53892	226.0%
2044	0	6514	60406	241.2%
2045	0	6699	67105	256.9%
2046	0	6883	73988	273.0%
Total	**0**	**116765**	**73988**	**273.0%**

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 34 – Lucro anual e Fluxo de caixa cumulado



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

4 CONCLUSÃO

O objetivo do presente estudo foi buscar uma forma de diminuir os custos de energia no horário de ponta do FabLab da Facens. Para isto foram analisadas 3 alternativas de geração de energia para o FabLab para substituição daquela fornecida pela concessionária no horário de ponta, cujo custo, como visto no estudo, é muito superior ao custo no horário fora de ponta.

As 3 alternativas estudadas foram: gerador a diesel, gerado a gás e sistema fotovoltaico. Durante o seu estudo foram comparadas as suas características com suas vantagens e desvantagens. O foco principal sempre foi tentar viabilizar uma solução que ao mesmo tempo fosse economicamente viável e que evitasse a poluição ambiental e sonora. Neste sentido a preferência pelo projeto do sistema fotovoltaico por ser uma fonte de energia renovável e não poluente foi sempre o foco principal do estudo, apesar de ter um custo maior em relação aos outros dois sistemas de geração estudados.

A solução para que o projeto do sistema fotovoltaico fosse economicamente viável, ou seja, com um custo menor em relação aos sistemas com gerador a diesel e a gás foi a utilização dos créditos de carbono que são gerados por este sistema através da quantidade de carbono que deixa de ser lançado na atmosfera contribuindo para a diminuição dos gases do efeito estufa.

Através da análise econômica dos três sistemas de geração verifica-se que o sistema fotovoltaico é realmente o mais adequado para a geração de energia no horário de ponta do FabLab da FACENS.

Verificou-se, portanto, que o sistema de geração adotado é uma solução limpa, economicamente viável e sustentável, servindo de incentivo para que possa ser aplicado em outros setores dentro da própria FACENS e contribuindo para a mudança da matriz energética brasileira para fontes renováveis através da diminuição do efeito das mudanças climáticas, ajudando assim a garantir um futuro melhor para todos.

REFERÊNCIAS

AMERICANAS, site. Disponível em: **https://www.americanas.com.br/.**

BNDES. **Programa Fundo Clima – Ferramenta de Cálculo de redução de GEE's.** Disponível em: **https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima/ferramenta-calculo-reducao.** Acesso em: 28 outubro 2021

CARBOROIL. **As Diferenças Entre Os Geradores a Diesel, Gás E Gasolina.** São Paulo, SP, 2021. Disponível em: **https://carboroil.com.br/diferencas-gerador-diesel-gas-gasolina/.** Acesso em: 28 março 2021.

CASTELLETTI, Carlos Eduardo Madeiros**. Análise Energética Experimental E Estudo Da Viabilidade Econômica De Um Grupo Gerador De 30 Kwe A Gás Natural Em Diferentes Níveis E Tipos De Cargas Elétricas.** 2005. 135 p. Trabalho de Pós-Graduação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco Faculdade de Engenharia Mecânica, Recife, 2005.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos De Máquinas Elétricas** 5ed**.** Porto Alegre, RS: AMGH, 2013. xix, p. 684.

COMGAS**. Geração De Energia A Gás Natural.** São Paulo, SP, 2021. Disponível em: **https://www.comgas.com.br/para-industria/geracao-de-energia-a-gas-natural/.** Acesso em: 28 março 2021.

CPFL. **Documentos Técnicos - GED13.** Disponível em: **http://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-13.pdf.** Acesso em: 28 outubro 2021

CRESESB. **Energia Solar Fotovoltaica:** Princípios E Aplicações. Disponível em: **http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf**. Acesso em: 11 maio 2021.

CUMMINS. **Manual de aplicação grupos geradores arrefecidos a água**. 2003.

ENERGGERADORES, **Site de Vendas,** Disponível em: **https://www.facebook.com/commerce/products/gerador-a-g%C3%A1s-natural-18-kva-monof%C3%A1sico-marca-generac---linha-guardian-autom%C3%A1tico-+-qta-125a/3833906910024215/?ref=mini_shop_product_details&referral_code=null**

ELETROTRAFO, site. Disponível em: **https://www.eletrotrafo.com.br/.** Acesso em: 28 outubro 2021.

ENERGGERADORES**. Energia que Gera** São Paulo, SP, 2021. Disponível em: **https://energgeradores.com.br/geradores-gas.** Acesso em: 29 outubro 2021.

JORNAL DO CARRO. **Preço das baterias de carros elétricos caiu 87% na última década.** São Paulo – SP, 29 dez. 2020.. Disponível em: **https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/preco-baterias-carros-eletricos-caiu-ultima-decada/.** Acesso em**:** 30 março 2021.

GONÇALVES FILHO, Francisco Molinari. **Motor gerador na universidade tecnológica federal do Paraná**. UTFPR, 2014. Disponível em**: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3065 >.** Acesso em: 20 outubro 2021.

GENERAC, site. Disponível em: **https://generacbrasil.com.br/.** Acesso em: 28 outubro 2021.

GREENPRO. **Energia Fotovoltaica:** Manual Sobre Tecnologia, Projetos E Instalação. Disponível em: **https://drive.google.com/file/d/1lBt5Mu_KfasQ8Qc7yVSbS2ee-MUZnVaH/view.** Acesso em: 11 maio 2021.

HABITISSIMO, site. Disponível em: **https://www.habitissimo.com.br/.** Acesso em: 28 outubro 2021.

INTELBRAS**. Blog,** Florianópolis, SC, 2020. Disponível em: **https://blog.intelbras.com.br/aplicacoes-da-energia-solar-fotovoltaica/.** Acesso em: 28 outubro 2021.

LOJADOMECANICO, **Site de Vendas,** Disponível em: **https://www.lojadomecanico.com.br/produto/122473/33/326/gerador-de-energia-a-diesel-silencioso-4t-125-kva-220v-trifasico-794-cc-toyama-tdwg12000sge3d-n.**

MERCADOLIVRE, site. Disponível em: **https://www.mercadolivre.com.br/.** Acesso em: 28 outubro 2021.

NOCERA, Allison Diniz *et al*. **Análise da viabilidade técnica e financeira da implantação do gerador a diesel no horário de ponta em um hospital de curitiba**. UTFPR, 2014. Disponível em**: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12005/1/CT_COEAU_2015_2_03.pdf.**

OCAENERGIA**. Oca Solar Engergia,** 2021. Disponível em: **https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/sistema-fotovoltaico-hibrido-entenda-o-que-e/.** Acesso em: 28 outubro 2021.

PORTALSOLAR**. Energia Solar,** 2016. Disponível em: **https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico-com-back-up-de-baterias.html.** Acesso em: 28 outubro 2021.

PVSYST. **Um Pacote Completo Para Estudar Seus Sistemas Fotovoltaicos**. Disponível em: **https://www.pvsyst.com.** Acesso em**:** 28 outubro 2021.

RENLIGHT**. Energy** Cotia, SP, 2019. Disponível em: **https: //renlight.com.br/faq-questoes-frequentes-parte-2-off-grid/.** Acesso em: 28 outubro 2021.

SHARENERGY**. Armazenamento De Energia.** Belo Horizonte, MG, 2019. Disponível em: **https://sharenergy.com.br/o-que-e-sistema-de-armazenamento-de-energia/.** Acesso em: 28 março 2021.

SOLARTERRA. **Energia Solar Fotovoltaica:** Guia Prático**.** Disponível em: **https://drive.google.com/file/d/1ZZHQmlFb4D6DrLKsLsDOwlCciCrmOmRI/view** Acesso em: 11 maio 2021.

STROMBRASIL. **Sistema On Grid e Off Grid**. Disponível em: **https://www.strombrasil.com.br/sistemas-on-grid-e-off-grid/** Acesso em**:** 30 março 2021.

TECNICARGO. **Grupo Geradores a Diesel**. Disponível em: **https://www.tecnicargogeradores.com.br/blog/grupos-geradores-a-diesel.** Acesso em**:** 30 março 2021.

TC. **TC School Economia e Investimentos**.Disponível em: **https://tc.com.br/tc-school/economia-e-investimentos/mercado-de-creditos-de-carbono#:~:text=Um%20cr%C3%A9dito%20de%20carbono%20%C3%A9%20a%20representa%C3%A7%C3%A3o%20de,est%C3%A1%20a%20substitui%C3%A7%C3%A3o%20de%20combust%C3%ADveis%20em%20f%C3%A1bricas%2C%20.** Acesso em: 28 outubro 2021.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Energia Solar Fotovoltaica:** Fundamentos, Conversão E Viabilidade Econômica**.** São Paulo. 92 p. Disponível em: **https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf.** Acesso em: 11 maio 2021.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica:** conceitos e aplicações**.** São Paulo: Érica, 2012.