



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS—UFGD**

**FACULDADE DE ENGENHARIA—FAEN**

**ENGENHARIA DE ENERGIA**

**ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA  
MICROGERADOR OFF-GRID COMPARADO AO  
CUSTO DE LIGAÇÃO NOVA COM A  
CONCESSIONÁRIA**

**FABIAN YUITIRO OHARA**

**DOURADOS-MS**

**2023**

**FABIAN YUITIRO OHARA**

**ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA  
MICROGERADOR OFF-GRID COMPARADO AO  
CUSTO DE LIGAÇÃO NOVA COM A  
CONCESSIONÁRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a banca examinadora da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador:

Prof. Dr. Etienne Biasotto.

Área de Concentração: 3.04.04.01-0  
Sistemas Elétricos de Potência

**DOURADOS - MS**

**2023**

## **Estudo de implementação de Sistema Microgerador *Off-Grid* comparado ao custo de ligação nova com a concessionária**

Fabian Yuitiro Ohara<sup>1</sup>; Etienne Biasotto<sup>2</sup>

Discente do curso de Engenharia de Energia<sup>1</sup>; Docente do curso de Engenharia de Energia<sup>2</sup>;

Fabian.y.ohara@gmail.com<sup>1</sup>; etiennebiasotto@ufgd.edu.br<sup>2</sup>;

**RESUMO** – Neste trabalho é apresentado um sistema isolado de microgeração off-grid, instalado na região da Grande Dourados, em uma área rural situada no Distrito de Itahum – Estação Ferroviária Ministro Pestana (distrito da cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul). O microgerador foi implementado devido aos empecilhos encontrados na obtenção de uma nova conexão à rede da concessionária de energia (Energisa MS). O sistema solucionou problemas de iluminação e conforto causados pela falta temporária de energia, que anteriormente era suprida por um gerador a diesel. O cliente enfrentou dificuldades ao solicitar uma nova conexão de energia, incluindo problemas de comunicação, direcionamento inadequado e falta de prazos para respostas, motivando a escolha pelo sistema microgerador off-grid. O trabalho inclui uma análise dos custos totais suportados pelo cliente para a implementação do sistema gerador com armazenamento em baterias, comparados com os custos associados à implementação do novo ponto de conexão pela concessionária Energisa MS. As análises econômicas são conduzidas por meio dos métodos *payback*, valor presente líquido e taxa interna de retorno, culminando na apresentação do desempenho energético esperado pelo sistema microgerador.

**Palavras-chave:** Microgeração, área rural, concessionária, ligação nova.

**ABSTRACT** – This work presents an isolated off-grid microgeneration system, installed in the Greater Dourados region, in a rural area located in the Itahum District – Minister Pestana Railway Station (district of the city of Dourados, Mato Grosso do Sul). The microgenerator was implemented due to obstacles encountered in obtaining a new connection to the energy concessionaire's network (Energisa MS). The system solved lighting and comfort problems caused by the temporary lack of energy, which was previously supplied by a diesel generator. The customer faced difficulties when requesting a new energy connection, including communication problems, inadequate routing and lack of deadlines for responses, motivating the choice for the off-grid microgenerator system. The work includes an analysis of the total costs borne by the customer for the implementation of the generator system with battery storage, compared with the costs associated with the implementation of the new connection point by the Energisa MS concessionaire. Economic analyzes are conducted using the payback, net present value and internal rate of return methods, culminating in the presentation of the energy performance expected by the microgenerator system.

**Keywords:** Microgeneration, rural area, concessionaire, new connection.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

O36e Ohara, Fabian Yuitiro

Estudo de implementação de Sistema Microgerador Off- Grid comparado ao custo de ligação nova com a concessionária [recurso eletrônico] / Fabian Yuitiro Ohara. -- 2024.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Etienne Biasotto.

TCC (Graduação em Engenharia de Energia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Microgeração. 2. Concessionária. 3. Ligação nova. I. Biasotto, Etienne. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO G – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 15:20 horas do dia 13 de novembro de 2023, realizou-se no(a) sala de reuniões da unidade 1 da UFGD (local) a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Energia, intitulado Estudo de implementação de Sistema Microgerador Off-Grid comparado ao custo de ligação nova com a concessionária de autoria do(a) discente Fabian Yuitiro Ohara, como requisito para a aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II. Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho apresentado deve ser:

Aprovado

Reprovado

O(A) discente declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento do componente curricular, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Energia da UFGD. O(A) orientador(a) se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelo(a) discente para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

• Conforme Arguição de documentos encaminhados pela Banca.  
• Alteração do título

DISCENTE

Nome: Fabian Yuitiro Ohara

Assinatura:

Fabian Yuitiro Ohara

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Etienne Biasotto

Assinatura:

Etienne Biasotto

Membro: Laura Beatriz Teodoro Quintela

Assinatura:

Laura Quintela

Membro: Gerson Bessa Gibelli

Assinatura:

Gerson Bessa Gibelli

## 1 INTRODUÇÃO

O sol é uma fonte abundante de energia, gerando cerca de  $1,5 \times 10^{18}$  kWh através da fusão nuclear de átomos de hidrogênio. Essa energia é transmitida como ondas eletromagnéticas e é vital para a vida na Terra. A radiação solar atinge a superfície terrestre, sendo absorvida, refletida e dispersa, resultando na radiação total do planeta, composta por radiação direta e difusa. (CPFL, 2022)

Historicamente, a humanidade dependeu fortemente de combustíveis fósseis, mas devido a preocupações ambientais e avanços tecnológicos, houve um movimento em direção a fontes renováveis, como hidrelétricas, biomassa, eólica e solar. A história da energia solar fotovoltaica remonta a 1839 com a descoberta do efeito fotovoltaico. Avanços subsequentes levaram à criação da célula fotovoltaica em 1883, com melhorias ao longo do tempo, resultando na criação da primeira célula solar eficiente em 1958 pelo NREL.

Ao longo da história da energia solar fotovoltaica, ocorreram marcos significativos, como a célula de silício amorfo em 1976, a célula de filme fino com 15,89% de eficiência em 1992 e a célula de concentração com 180 sóis em 1994. A instalação dos primeiros sistemas de energia solar conectados à rede em 2000 marcou um passo importante para o aumento da capacidade de geração solar. (SOLAR, 2018).

Cada vez mais no Brasil, devido às facilidades em financiar projetos de energia solar, muitas pessoas estão em busca destes

sistemas para proporcionar conforto e solucionar problemas com a energia elétrica. Nos centros urbanos, as pessoas buscam por aproveitar por mais tempo o uso de eletrodomésticos como geladeiras, *freezers* e ar-condicionados. Nas áreas rurais que constantemente sofrem pela má qualidade de energia elétrica, como as frequentes quedas de eletricidade e acabem por buscar soluções com bancos de baterias para melhor proveito dos equipamentos eletrodomésticos e ferramentas, conseguindo melhor qualidade de vida.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil, a geração distribuída de energia elétrica teve seu início em 17 de abril de 2012, quando a Resolução Normativa ANEEL Nº 482/2012 entrou em vigor. Posteriormente revisada no ano de 2015, foi publicada a Resolução Normativa ANEEL Nº 687/2015 realizou diversas alterações na Resolução Normativa Nº 482/2012 e foi substituída em janeiro de 2023, através da Resolução Normativa ANEEL no 1.000/2021.

A Resolução Normativa ANEEL Nº 482/2012, permitiu que os consumidores brasileiros começassem a gerar sua própria energia elétrica, fazendo uso de fontes renováveis ou cogeração qualificada, e até mesmo injetar o excesso na rede de distribuição.

Com as novas regras, da Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021, a microgeração distribuída é definida como centrais geradoras com potência instalada de até 75 quilowatts (kW) de equipamento, enquanto a minigeração distribuída abrange potências instaladas maiores que 75 kW e menores ou iguais a 3 MW de equipamento entre

inversores e módulos fotovoltaicos (ANEEL, 2012, ANEEL 2021).

A implementação de um projeto de Geração Distribuída requer avaliações técnicas e financeiras, a fim de cumprir as regulamentações e garantir a gestão operacional do sistema instalado. Através da Resolução Normativa ANEEL N° 1.000/2021, são fornecidas orientações técnicas e operacionais para o acesso e conexão do novo sistema à rede das concessionárias (EDISON, 2023).

Os principais documentos base de estudo e desenvolvimento de projetos são listados abaixo e nas seções seguintes.

- Resolução Normativa ANEEL no 1.000/2021;
- Padrão Técnico de micro e minigeração da Concessionária de Energia local (disponíveis nos sites das concessionárias);
- Módulo 3 do PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional;
- Literatura especializada de engenharia de energia e geração distribuída;
- Caderno Temático de Micro e Mini Geração Distribuída ANEEL (ANEEL, 2021; IST, 2023).

É importante destacar as principais vantagens da Geração Distribuída para quem investe e para quem consome. Desta forma, destaca-se abaixo as vantagens para quem investe:

- Alta rentabilidade, com contratos de venda de energia a longo prazo;

- Contribui para uma matriz energética mais segura e limpa, que tem incentivado grandes consumidores de energia a buscar em investidores para suprir seu consumo;

Para os consumidores, as principais vantagens da Geração Distribuída são:

- Os preços de energia da Geração Distribuída são mais baixos em relação às tarifas das concessionárias;
- Podem atender condomínios, empresas, indústrias e outros grupos consumidores, visando atingir metas ambientais e sustentabilidade;
- Consumidores em Baixa Tensão possuem tarifas mais caras, o que viabiliza os projetos de Geração Distribuída, implicando em maiores reduções de custo em larga escala, ainda mais para grandes grupos comerciais.

Além das vantagens citadas para os investidores e consumidores a Geração Distribuída também traz vantagens para o Brasil e para o meio ambiente, pois os custos de expansão da geração e as perdas de energia ao longo do sistema são reduzidas e a oferta de energia renovável é amplificada (GH, 2023).

## **2.1 A ENERGIA ELÉTRICA EM ZONA RURAL**

No ano de 2020, a zona rural brasileira representou um consumo de 6,5 % da matriz energética do país, segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética).

Para ter a instalação da energia em áreas rurais exige alguma burocracia junto à ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) para que se

enquadre dentro da modalidade tarifária e para obter os direitos e vantagens do enquadramento.

A energia rural que é fornecida para unidades consumidoras que possuem alguma relação com as atividades de agricultura, pecuária e aquicultura e desde a Resolução Normativa ANEEL n. 414, de 9 de setembro de 2010, é obrigatória a apresentação de Registro de Produtor de Rural para comprovação da unidade. (EPE, 2020).

A energia elétrica rural ainda é carente de eletrificação, sendo um dos problemas do sistema elétrico no Brasil. O problema é agravado quando as propriedades rurais se localizam distantes dos centros de carga. Quanto maior a distância, menor a densidade de carga (consumidores) por quilômetro e a escassez de recursos contribuem para a ausência de energia elétrica aos consumidores rurais.

Outro fator que contribui para a má qualidade da energia é o fato da própria ser gerenciada pelas concessionárias e cooperativas de energia, em que não é dada a devida atenção por parte delas devido à falta de atratividade financeira para investimentos da expansão na rede rural, uma vez que o consumo nessa classe é pequeno. Algumas soluções, como a geração de energia descentralizada através de geradores, são implementadas para amenizar os problemas.

Os problemas mais comuns são os distúrbios elétricos frequentes (sobrecarga no condutor neutro, perdas de tensão, sobreaquecimento de transformadores), que causam desligamentos que podem se estender por longos períodos. (SILVA, Adriano J, 2002).

A instalação de energia limpa (solar, eólica e biomassa) em zonas rurais tem sido uma alternativa encontrada pelos moradores, assim como os geradores a diesel, derivados dos combustíveis fósseis. Com as tecnologias de geração própria, os consumidores rurais conseguem contornar esses problemas de fornecimento e oscilação da energia, bem como os possíveis prejuízos causados (perdas de equipamentos por sobretensão, falta de energia e prejuízos com alimentos que necessitam de refrigeração e outras perdas como a morte de animais de granjas como suínos e as aves) (SILVA; MUNHOZ; CORREIA, 2002).

## **2.2 SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA**

Os sistemas elétricos de potência têm como objetivo fornecer energia elétrica às pessoas com qualidade nos momentos em que ela é necessária. Podem ser subdivididos em três grandes grupos denominados geração, transmissão e distribuição, como apresentado a seguir (UNESP, 2020).

- Geração: Responsável por converter formas de energia em energia elétrica.
- Transmissão: Responsável por transportar energia elétrica dos centros de geração aos centros de consumo.
- Distribuição: Responsável por distribuir energia elétrica recebida do sistema de transmissão aos pequenos, médios e grandes consumidores.

As tensões usualmente utilizadas nos Sistemas Elétricos de Potência estão demonstradas na Tabela 1.

**Tabela 1 - Tensões usuais em Sistemas Elétricos de Potência**

Tensão (kV)		Aplicação
Padrão	Usual	
0,22/0,127	0,127	A
0,38/0,220	0,230/0,115	
13,8	11,900	B
34,5	22,500	
34,5	88,000	C
69,0		
138,0		
138,0	440 e 750	D
230,0		
345,0		
500,0		

A	Distribuição Secundária (BT)
B	Distribuição Primária (MT)
C	Subtransmissão (AT)
D	Transmissão

Fonte: Apostila SDEE

Os sistemas de distribuição são responsáveis por receber a energia das subestações e distribuí-las aos consumidores por linhas trifásicas que podem operar em 138 kV, 69 kV e 34,5 kV. As subestações de distribuição (SEs) são responsáveis pela transformação de tensão de subtransmissão para a distribuição primária (13,8kV).

As redes de distribuição primária emergem das subestações de distribuição, podendo ser aéreas (mais comumente utilizadas devido ao seu baixo custo de implementação) ou subterrâneas (mais utilizadas em casos de áreas com maior densidade de carga).

### 2.3 ESTUDOS DE CARGAS ELÉTRICAS E OS TIPOS DE CONSUMIDORES

Os estudos de um sistema de distribuição permitem aos engenheiros alguma liberdade na seletividade de fatores ao sistema distribuidor. O conceito de carga está ligado com a potência elétrica de absorção de uma fonte de suprimento. Podendo se distinguir da seguinte forma:

- Carga de um consumidor (potência utilizada pelos equipamentos);
- Carga de um Transformador (potência utilizada pela totalidade dos consumidores) conectados a ele);
- Carga de uma rede primária ou linha de distribuição (potência absorvida por todos os transformadores que alimentam);
- Carga de uma SE (potência absorvida por todos os alimentadores que saem de seus barramentos de distribuição);

A finalidade da utilização da energia realizada por um usuário pode ser um critério para classificação de cargas. São elas:

- Residenciais: Iluminação, carga resistiva e carga indutiva;
- Comerciais: Iluminação e ar condicionado, comércios, escritórios;
- Industriais: com predomínio de motores de indução, em geral são trifásicas;
- Iluminação pública: Iluminação;
- Rurais: Irrigação, agroindústrias;

E a utilização de energia de um usuário o classifica em diferentes tipos de consumidores:

- Residenciais: São realizadas medições e verificando o hábito do uso. A finalidade das medições são para determinar

características da ponta da carga, ou seja, da energia utilizada por determinados equipamentos.

- Comerciais: O estudo para esta categoria envolve etapas como caracterização das atividades e finalidade, que servirão para medir as curvas de carga, análise dos resultados e agrupamento de trabalho.

## 2.4 TARIFAS DE ENERGIA

O sistema tarifário vigente no Brasil é determinado por um conjunto de normas e regulamentos que possuem como finalidade estabelecer o preço da energia elétrica para variados consumidores (residencial, comercial, industrial e rural). O objetivo da tarifa é promover retorno financeiro suficiente para os agentes investidores e operadores.

As tarifas são basicamente divididas em dois tipos:

- Monômias: Cobrança somente do consumo efetivo de energia;
- Binômias: Acrescenta um componente em que remunera a capacidade disposta aos consumidores e incorporado junto a preços diferenciados de energia em diferentes horas e épocas do ano. Além disso, o preço final da energia paga pelo consumidor é inclusa parcelas de encargos e impostos que são independentes do consumo;

## 2.5 MODALIDADES DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

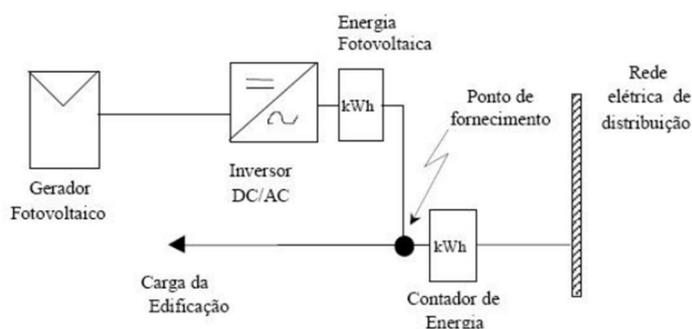
A energia solar fotovoltaica é dividida, principalmente, em duas modalidades

denominadas *on grid* e *off grid*. Ambas diferenciadas principalmente pela conexão à rede ou ao armazenamento por meio de banco de baterias.

Os sistemas fotovoltaicos do tipo *on-grid* possuem como característica principal estarem conectados à rede de distribuição da concessionária ou cooperativa de energização. Seu funcionamento se caracteriza pelo consumo instantâneo durante a produção de energia e pela injeção da energia não consumida na rede de distribuição, contabilizando assim créditos para abatimento do consumo durante os períodos sem incidência solar.

Sua aplicação é amplamente utilizada em áreas urbanas, onde há redes de distribuição preparadas para atender a demanda residencial, comercial e até industrial (SOLAR, 2023).

Figura 1 - Esquema sistema *On-Grid*



Fonte: Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação

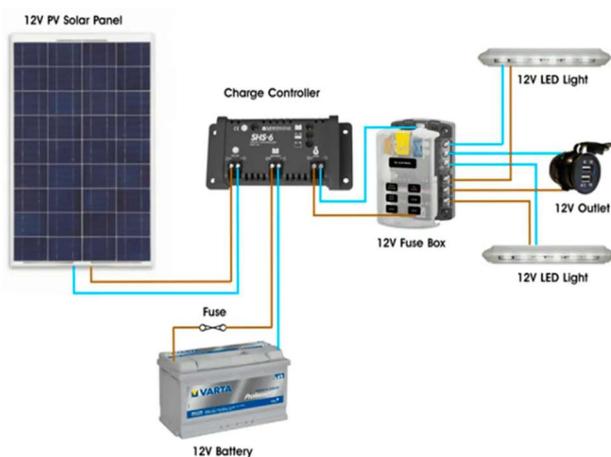
Já os sistemas fotovoltaicos do tipo *off-grid* possuem como característica principal serem a não conexão com a rede elétrica, por essa característica, sendo também chamados de “sistema isolado”. É um sistema que é preparado para armazenar a energia não consumida durante a geração que será utilizada nos períodos de baixa incidência dos raios solares e durante a noite.

Sua aplicação é comumente utilizada em áreas remotas, onde uma rede de distribuição não alcança ou é inviável economicamente para a concessionária e para o cliente.

Os sistemas *off-grid*, além dos módulos e do inversor, necessitam também de um controlador de carga para realizar o controle do fluxo de energia e de baterias para armazenamento.

Seu funcionamento é análogo ao do sistema *on-grid*, porém com diversas aplicações além do uso residencial como o sistema de bombeamento de água, eletrificação de cercas, irrigação e outras. Seu diferencial é a tecnologia *off-grid* ser capaz de armazenar a energia gerada em sistemas de baterias (as baterias mais empregadas hoje são a de chumbo-ácido e a de lítio que apresenta melhor custo-benefício) (SOLAR, 2023).

Figura 2 - Esquema sistema *Off-Grid*



Fonte: JR Solar

## 2.6 NORMAS UTILIZADAS NA EXECUÇÃO DOS PROJETOS

Normas de microgeração distribuída tratadas pela ANEEL (Agência Nacional de

Energia Elétrica) são atendidas nos projetos de geração de energia fotovoltaica. A Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 estabelece as regras de Prestação de Serviço Público de Distribuição de Energia e revoga as antigas resoluções normativas ANEEL nº 414 (9 de setembro de 2010); nº 470 (13 de dezembro de 2011) e nº 901 (8 de dezembro de 2020).

A Resolução normativa se aplica às concessionárias e permissionárias de serviços públicos de Distribuição de Energia Elétrica e ao usuário do serviço, pessoa física ou jurídica beneficiada, que utiliza, efetiva ou em potencial de uso do serviço público (como consumidor, central geradora, distribuidora, agente exportador e importador).

As duas normas utilizadas na execução do projeto e que são regulamentadas pela ANEEL para a formação do profissional e da segurança dos envolvidos na execução das instalações, estão listadas a seguir.

- **NBR 16690: Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos;**
- **Normas Regulamentadoras NR-10 e NR-35;**

A NR 35 estabelece normas e diretrizes para trabalhos em altura, incluindo as medidas de proteção e execução de serviços. Com planejamento, organização, melhor meio de execução e forma de garantir a segurança e saúde dos trabalhadores envolvidos com a atividade em altura (ANEEL, 2021; EDISON, 2023).

A NR 10 regulamenta todos os processos que envolvem a utilização da energia elétrica

desde a geração, transmissão, distribuição e consumo, etapa de projeto, montagem, operação e manutenção de instalações elétricas (IST, 2023). [16]

### 3 METODOLOGIA

Para atender ao caso, a metodologia utilizada foi coletar os dados junto ao cliente, como forma de entrevista, sobre o possível consumo energético do local sobre as cargas dos equipamentos já instalados no local (chuveiro, freezer e iluminação – cargas abastecidas anteriormente por gerador a diesel) e prevendo a ampliação do consumo de novas cargas (geladeira, ventilador, televisor e um novo *freezer*). Outra metodologia empregada foi a coleta de informações sobre a viabilidade e empecilhos encontrados pelo cliente para a instalação da ligação nova da rede da concessionária e a coleta de informações sobre custos de obras junto à concessionária (material e mão de obra). Após os estudos, implementação de sistema microgeração *off-grid* e a coleta de dados sobre a ligação nova, foram realizadas análises e cálculos sobre a viabilidade das duas possibilidades de energização do local referido.

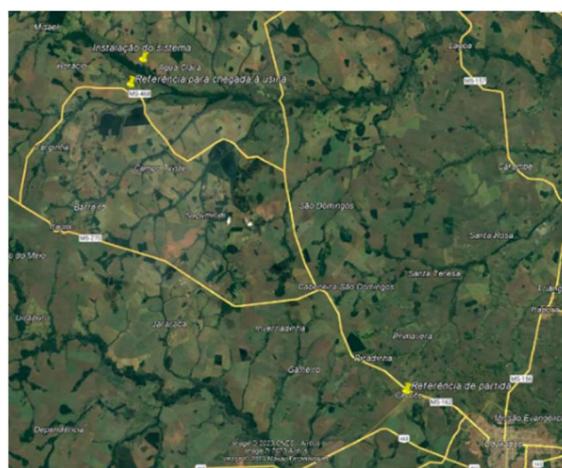
Para mostrar a importância do projeto microgerador com armazenamento, foi preciso percorrer uma distância aproximada de 120 km e o deslocamento demorou aproximadamente 1h e 30 min para chegar ao local da instalação (Figura 2). Distância que o cliente precisou percorrer para solicitar uma ligação nova e seria a mesma distância que uma equipe da concessionária Energisa MS precisaria percorrer para realizar

atendimento em caso de problemas na rede e até mesmo para realizar a ligação nova da rede.

Nessa visita foram coletados dados para analisar o melhor local de instalação (Figura 3) e verificar as melhorias a serem feitas para a realização da instalação. Na visita, foi constatado que a casa do local não havia condições de receber a quantidade dos módulos dimensionados, necessitando alterar o tipo de estrutura a ser utilizado no solo. Outra constatação foi a construção da ampliação de um abrigo próximo à usina para a alocação do inversor, controlador de carga e do banco de baterias, como mostram as Figuras 4 e 5.

Para melhor visualização da localização, é possível ver através das coordenadas abaixo da figura (abrir aba de pesquisa no Google Maps e inserir as coordenadas) a localidade da estação ferroviária de referência e também as coordenadas da localização da ilha onde o Sistema microgerador foi instalado.

Figura 2 do deslocamento percorrido



Fonte: Próprio autor

Coordenadas de acesso: -21.9318900553, -  
55.3028441242

Figura 3 localização da instalação



Fonte: Próprio autor

Coordenadas de acesso: -21.9318900553,  
-55.3028441242

Figura 4 do local para instalação já com o material instalado



Fonte: Próprio autor

Figura 5 do local para instalação já com o material instalado



Fonte: Próprio autor

### 3.1 DIMENSIONAMENTO DO KIT GERADOR OFF-GRID

A Tabela 1 de cargas apresenta os equipamentos e suas potências de operação, permitindo então, realizar o cálculo do consumo médio em Watts hora por mês (Wh/mês).

Tabela 1 de cargas

Aparelho	Potência (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Chuveiro Elétrico	5500	1	5500
Freezer Horizontal	500	2	1000
Televisor 21"	90	2	180
Ventilador	100	2	200

Fonte: EFLUL

Com as informações das cargas já instaladas como as lâmpadas (uso por 6 h),

chuveiro (uso por 2 h) e *freezer*(16 h) e somadas às cargas futuras (adição de lâmpadas em novas áreas, televisores (uso por 6 h), outro *freezer* (uso moderado e por 12 h) e ventiladores (uso por 8 h) e considerando uma margem de 3 h (três horas) a mais de uso total, foi calculado, utilizando-se a equação 1, que o consumo médio é de aproximadamente 430kWh.

$$C = P \cdot h \quad (1)$$

Onde:

C = Consumo de energia pelos equipamentos (Wh)

P = Potência consumida (W);

h = tempo de funcionamento (horas);

### 3.2 LIGAÇÃO NOVA COM A REDE

Para solicitar uma nova ligação com a rede, o cliente realizou a instalação de um padrão de entrada de energia (poste, caixa de medição, sistema de aterramento) após um pedido da concessionária, conforme regulamenta a NDU 001. Outro critério solicitado, que não foi atendido pela concessionária, foi a execução da extensão de rede (rede localizada a uma distância superior a 40 metros), cujo o custo não foi inserido no orçamento da solicitação junto ao cliente. Custo na qual, de acordo com a Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021, as concessionárias têm por obrigatoriedade fornecer o valor total do custeio da ligação nova com a rede e qual o valor de participação financeira do cliente também em um document chamado de “Carta de Obra”.

Critérios obrigatórios solicitados pela Energisa MS, como carga instalada inferior a 21

kW em até 4 unidades monofásicas, ausência de débitos junto à concessionária e demanda inferior à 32,9 kVA, já haviam sido atendidos pelo cliente. A concessionária possui um prazo de 60 (sessenta) dias para a execução da melhoria de rede, referente exclusivamente a obras na rede de distribuição aérea de tensão secundária (incluindo a instalação ou substituição do poste do transformador) e mesmo assim essa melhoria não foi realizada após 1 (um) ano e meio da realização da solicitação feita pelo cliente.

### 3.3 A ESCOLHA DO CLIENTE

O sistema *off-grid* foi escolhido pelo cliente devido às adversidades encontradas e também à agilidade da instalação e no funcionamento, em comparação ao tempo já investido pelo cliente para receber o fornecimento da energia no local. A instalação do microgerador e seu pleno funcionamento levaram aproximadamente 3 (três) meses, no processo de assinatura de contrato, pagamento, compra do material e instalação.

### 3.4 TECNOLOGIAS À DISPOSIÇÃO DO CONSUMIDOR NO ESTUDO DE CASO

O sistema de microgeração da modalidade *off-grid* em estudo é composto por 8 módulos fotovoltaicos da marca Jinko com potência de 450 W cada (3,6kWp de potência de geração). O controlador de carga é da marca Victron Energy com operação máxima de 85 A, enquanto o inversor de tensão é da marca EP Solar com potência de 2 kW e fornecimento de tensão em 127 V. Além disso, foi utilizado um conjunto de 4 unidades de baterias da marca Moura, com capacidade de 220 Ah. Outros materiais também

foram utilizados, como os cabos fotovoltaicos vermelho e preto, pares de conectores MC4, e um kit de estrutura para sustentação e fixação dos módulos fotovoltaicos no solo e um kit de materiais para conexão no sistema elétrico da ilha, operando em corrente alternada (CA).

A tabela 2 mostra os materiais, mão de obra e o valor a serem custeados pela concessionária Energisa para a Ligação Nova e a Tabela 3 estão os materiais e os custos de instalação do sistema fotovoltaico. A origem da tabela de implementação da nova ligação de rede foi enviada pela Cooperativa de Energização da Grande Dourados, onde foi possível obter os dados referentes à implementação, já que a concessionária Energisa MS não enviou respostas ou informações acerca do material e custo até a finalização deste estudo de caso.

Tabela 2 - Custo da implementação da nova ligação de rede

<b>Materiais e Serviço - 200 metros de rede MRT 10kVA</b>		
<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição</b>
6	PC	Alça Pref. P/ Cabo Alum. 4
1	KG	Arame Galvanizado 14 BWG
5	PC	Armação Sec. S-1 Media
2	PC	Arruela de Alumínio 1
7	PC	Arruela quadrada 57mm
4	PC	Bucha de Alumínio 1
26	KG	Cabo de Alumínio 4 CAA
11	KG	Cabo de Cobre NU 25mm
3	MT	Cabo Rede Compacta 35mm <sup>2</sup> - 15KV
80	MT	Cabo Rígido 1KV 10mm Preto
35	MT	Cabo Triplex 2AWG 25mm
1	PC	Caixa Medição Polifásica de Policarbonato
1	PC	Chave Fusível XS 15KV
2	SC	Cimento 50KG
4	PC	Conector Cunha Tipo I - Cinza
6	PC	Conector Cunha Tipo II - Verde
11	UN	Conector Para Haste Reforçado TH-58 R
1	UN	Conector Perfurante 16-120/16
4	UN	Conector Perfurante 16-120/4 - 35mm
2	PC	Curva de PVC 1
2	UN	Eletroduto de PVC 1
1	PC	Elo Fusível 02 H
1	RL	Fita Isolante 10 m Imperial 3M
11	PC	Haste Terra Cobreado 2.4m
2	PC	Isolador de Suspensão Polimerico 15KV
3	PC	Isolador Pilar 15KV
3	PC	Isolador Roldana 72X72
3	PC	Laço Distribuidor UTC P/ Cabo 4 13.6KV
2	PC	Luva de PVC 1
2	PC	Manilha Sapatilha
1	KG	Massa de Calafetar 3M 1KG
1	PC	Medidor Bifásico - 1 Elemento 3 Fios
2	PC	Olhal 5/8X700KGF
1	PC	Para Raio Polimerico 12KV-10KA
4	PC	Parafuso Maquina 5/8X200mm
2	PC	Parafuso Maquina 5/8X225mm
2	PC	Parafuso Maquina 5/8X250mm
3	PC	Parafuso Maquina 5/8X300mm
3	PC	Pino Auto Travante 85mm P/Chapa
2	PC	Poste de Concreto DT 10/150
1	PC	Poste de Concreto DT 10/600
1	PC	Poste de Concreto DT 7/150
2	PC	Protetor C. Telef/Energ DPS VCL 275V
1	UN	Protetor de Bucha
80	HH	Serviço de Construção da Rede
100	KM	Serviço Prestado Ref. Deslocamento
13	UN	Serviços Técnicos
3	PC	Suporte P/ Isolador Pliar
1	PC	Suporte P/ Chave Fusível/Para Raio 500
1	PC	Terminal de Compressão 35mm
1	PC	Transformador Monofásico 10KVA 13.8KV
<b>Valor modular</b>		<b>R\$ 17.750,00</b>

Fonte: CERGRAND – Cooperativa de Energização da Grande Dourados

Tabela 3 - Custo de implementação do gerador fotovoltaico off grid

Gerador Fotovoltaico 3,6 kWp		
Quantidade	Unidade	Descrição
8	UN	Módulos Jinko JKM440M-60HL4-V 450W
1	UN	Controlador de Carga Solar VICTRON 85A
2	UN	Monitoramento de Bateria VICTRON
4	UN	Bateria Solar Moura Estacionaria 12V 220AH
1	UN	Inversor Senoidal Epever Ipower Plus IP2kW 24/120V
4	UN	Conector MC4 Fêmea
4	UN	Conector MC4 Macho
1	UN	Conector MC4 Fêmea - Conector em paralelo
1	UN	Conector MC4 Macho - Conector em paralelo
50	MT	Cabo Solar NEXANS 0,6-1KV 1500V DC Preto
50	MT	Cabo Solar NEXANS 0,6-1KV 1500V DC Vermelho
1	Kit	Estrutura Solar Fotovoltaico Romagnole
1	HH	Mão de Obra para execução
Valor Modular: R\$		27.800,00

Fonte: Próprio autor

### 3.4 ANÁLISE ECONÔMICA DOS PROJETOS

Para realizar a análise de viabilidade econômica da usina e do custo de ligação nova, foram empregados três métodos: *payback*, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). O *payback* é a determinação do tempo para recuperação do capital investido - inclusive a variação do valor monetário no período. Baseado na metodologia utilizado por Kusniecow *et. Al.* (2014), apresentado na Equação 3. (KUSNIECOW, 2014).

$$F_{ca} = \frac{FC}{(1+i)^n} \quad (3)$$

Onde  $F_{ca}$  significa fluxo de caixa corrigido monetariamente,  $F_c$  é o fluxo de caixa,  $i$  é a taxa de juros e  $n$  é o período selecionado.

No que se diz respeito ao Valor Presente Líquido, a soma das variações do fluxo de caixa é subtraída à taxa de atratividade. Isso também representa a taxa para a data de início do fluxo de caixa de todos os recebimentos e desembolsos

esperados, descontados na taxa de juros considerada. (Oliveira, 2017).

A Eq. (4) demonstra o método utilizado.

$$VPL = \sum_{n=0}^t \frac{FC}{(1+i)^n} \quad (4)$$

Onde FC é o fluxo de caixa,  $i$  é a taxa de juros e  $t$  é o período final do projeto. Para indicar atratividade, seu valor deve ser positivo. Quanto maior o valor do VPL, maior será a atratividade do investimento.

Enfim, a Taxa Interna de Retorno (TIR). Igualando o valor de VPL igual a zero, conforme apresentado na equação 3, ela fornece a taxa de juros para possíveis conclusões. Um valor de TIR maior que a taxa de juros, significará boa atratividade.

$$TIR = \sum_{n=0}^t \frac{FC}{(1+i)^n} = 0 \quad (5)$$

### 3.5 CÁLCULO TEÓRICO DA GERAÇÃO DE ENERGIA

Para o cálculo teórico da estimativa de geração de energia, o equacionamento utilizado foi apresentado por Narimatu *et. Al.* (2019). Foi utilizado também a correção de inclinação e orientação dos módulos - método aplicado por Santos - Equação 6, denominado método dos rendimentos.

$$E_{ger} = \sum R * A_m * n_{dias} * (\eta_m - FT) * \eta_{inv} * N * FC \quad (6)$$

Em que  $E_{ger}$  é a energia gerada no mês (em kWh),  $R$  é a taxa de irradiação média incidente (kWh/m<sup>2</sup>.dia),  $A_m$  é a área do módulo,  $\eta_m$  é a eficiência do módulo,  $FT$  é o fator de correção relativo à inclinação e orientação dos módulos

fotovoltaicos (GUIMARÃES; NARIMATU; CRIBARI, 2018).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

São considerados para a análise de viabilidade os investimentos iniciais da usina fotovoltaica que totalizam a R\$ 27.800,00, e do custo de uma nova ligação, que é igual a R\$ 17.750,00 (além dos R\$ 360,00 anuais de taxa mínima cobrados pela concessionária de energia). A taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC) do ano de 2021 para títulos federais foi igual a 10,75 % ao ano. O *payback* descontado da usina *off-grid* é de aproximadamente 7 anos e 6 meses, o que representa o tempo necessário para o retorno total do investimento realizado. O VPL é de R\$ 28.869,34 e a TIR é de 12 %, indicando que o investimento é atrativo. No caso da usina foi considerado a vida útil das baterias (5 anos), uma vez que as baterias de chumbo-ácido serão os primeiros equipamentos a serem substituídos.

No caso do CNL (Custo de Nova Ligação), o investimento inicial é de R\$ 17.750,00, e ao longo do tempo, são somados os custos da taxa mínima anual de área rural, que totalizam aproximadamente R\$ 360,00. Foram consideradas as mesmas condições da taxa SELIC do ano de 2021, que foi de 10,75 %. O *payback* descontado é de aproximadamente 35 anos, o VPL é de R\$ 9.931,74 e a TIR é de 6 % ao ano. Apesar do longo período de um *payback* (cálculo que inclui pagamentos mensais de taxa mínima determinada por contrato com a concessionária), sua atratividade medida, pela TIR, ainda é comparativamente baixa. Ao

comparar os valores de VPL, TIR e *payback*, a Usina Fotovoltaica *off-grid* é a mais vantajosa.

O custo a curto prazo da ligação nova se mostra mais viável, com um valor de R\$ 17.750,00, em comparação com o sistema *off-grid*, que tem um custo a curto prazo de R\$ 27.800,00. No entanto, a longo prazo, a ligação nova implica em taxas mensais aproximadas no valor de R\$ 89,17 (uma taxa estabelecida por contrato com a concessionária e aplicável a uma ligação bifásica) e isso influencia no *payback* e fluxo de caixa a longo prazo.

O *payback* do sistema *off-grid* é de aproximadamente 8 anos, enquanto da ligação nova é de aproximadamente 35 anos. O fluxo de caixa do sistema *off-grid* é, em média, de R\$ 3.608,67, enquanto o da ligação nova é de R\$ 694,47. Portanto pode-se afirmar que o retorno do sistema *off-grid* é mais rápido devido ao alto valor de retorno por ano.

A tabela 4 de Energia gerada estimada, mostra os valores estimados de geração pelo Sistema, através dos dados de irradiação da cidade de Dourados e em conjunto dos dados de operação dos módulos e do inversor de tensão e seus dados da tabela são estimativas em kWh nos respectivos meses.

Tabela 4 – Energia gerada estimada

FC (solo)	Mês	Irradiação (kwh/m2 *dia)	FT	Eger (kWh)
0,95	Jan	5,89	1,3448%	533,23
0,95	Fev	5,72	1,3448%	467,72
0,95	Mar	5,26	1,3448%	476,19
0,95	Abr	4,48	1,3448%	392,50
0,95	Mai	3,67	1,3448%	332,25
0,95	Jun	3,34	1,3448%	292,62
0,95	Jul	3,47	1,3448%	314,14
0,95	Ago	4,44	1,3448%	401,96
0,95	Set	4,75	1,3448%	416,15
0,95	Out	5,32	1,3448%	481,63
0,95	Nov	5,89	1,3448%	516,03
0,95	Dez	6,34	1,3448%	573,97

Fonte: Próprio autor

Com o funcionamento da usina, através do método empregado, a média anual é de 433,20 kWh. Pela tabela acima, é possível visualizar as gerações durante o ano e destacar o período dos meses de verão (dezembro a março), com uma média de 512,78 kWh.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi apresentado o impacto econômico da instalação de um sistema off-grid, com uma potência de 4,32 kWp, em uma área rural situada no Distrito de Itahum (distrito da cidade de Dourados) – Estação Ferroviária Ministro Pestana. Para efeito de comparação, um orçamento foi realizado para uma nova ligação de rede, a fim de analisar os custos a curto e longo prazo (custos que envolvem materiais, mão de obra e cobrança mínima no caso de ligação nova).

A instalação da usina *off-grid* solucionou alguns problemas de fornecimento de energia no local, como quedas de energia causadas por

chuvas, ventos e outros distúrbios. A independência da rede da concessionária ajuda a evitar possíveis problemas de relacionamento devido a reclamações ou descasos por parte da concessionária, uma vez que atendimentos em áreas rurais geralmente possuem menor grau de urgência em comparação com as áreas urbanas. O funcionamento do sistema melhorou e proporcionou uma nova condição de vida ao cliente. Agora, a iluminação do local foi aprimorada e novos equipamentos como chuveiro elétrico, televisão, ventiladores, ponto de internet e *freezer* foram instalados. Casos de falta de energia da rede da sede da fazenda foram registrados, mas o sistema *off-grid* conseguiu manter os refrigeradores em funcionamento, permitindo a conservação dos alimentos, além de proporcionar conforto com os demais equipamentos domésticos.

## REFERÊNCIAS

- [1] História da Energia Elétrica | Grupo CPFL. Disponível em: <<https://www.grupocpfl.com.br/energias-sustentaveis/historia-da-energia-eletrica#:~:text=Milhares%20de%20anos%20se%20passaram>>. Acesso em: 18 nov. 2022.
- [2] Sistema de Energia Solar Off Grid. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/sistema-energia-solar-off-grid>>. Acesso em: 18 nov. 2022.
- [3] Sistema de energia solar on-grid (conectado à rede) | Tudo sobre energia solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/sistema-solar-conectado-a-rede-on-grid>>. Acesso em: 18 nov. 2022.
- [4] Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto APRESENTAÇÃO. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.solarize.com.br/downloads/manual-energia-solar/NBR-16690-2019-consulta-publica.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2022.

- [5] Geração Distribuída. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. Acesso em: 18 nov. 2022.
- [6] Origem da Energia Solar - História e Desenvolvimento. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/historia-e-origem-da-energia-solar>>. Acesso em: 18 nov. 2022.
- [7] GERAIS, A.; SISTEMA, D.; DISTRIBUIÇÃO, D. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/apostila\\_sdee\\_01](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/apostila_sdee_01)>. Acesso em: 18 nov. 2022.
- [8] NACIONAL, I. RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL No 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021 - DOU - Imprensa Nacional. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>>. Acesso em: 18 nov. 2022.
- [9] PIX W. S. -. Centro Universitário Unifacvest. Disponível em: <<https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/33936-santos>>. Acesso em: 18 nov. 2022.
- [10] **Geração Distribuída**. Disponível em: <<https://www.geracaodistribuida.com/geracao-distribuida/>>. Acesso em: 18 nov. 2022.
- [11] **Geração Distribuída**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. Acesso em: 6 fev. 2023.
- [12] PETERLINI, G. **Inversores off-grid interativos com a rede para aplicações fotovoltaicas**. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/inversores-off-grid-interativos-com-a-rede-para-aplicacoes-fotovoltaicas/>>. Acesso em: 9 fev. 2023.
- [13] RODRIGUES, E. **Projeto Fotovoltaico Offgrid - Dimensionamento solar off-grid - JrSolar Empresa de Energia Solar - Fotovoltaico**. Disponível em: <<https://jrsolar.com.br/projeto-fotovoltaico-offgrid/>>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- [14] DE, G.; JANNUZZI, M. **RELATÓRIO FINAL Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO\\_PROJETO\\_2\\_FINAL.pdf](http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO_PROJETO_2_FINAL.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- [15] EDISON, I. **Curso nr10 e nr35**. Disponível em: <<https://cursostecnicos.institutoedison.com.br/curso-nr10-nr35#:~:text=NR10%20e%20NR35%20%C3%A9%20que>>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- [16] TREINAMENTOS, I. S. C. **Normas Regulamentadoras Comentadas: NR10, NR35 e NR 33**. Disponível em: <<https://www.institutosc.com.br/web/blog/normas-regulamentadoras-comentadas>>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- [17] GUIMARÃES, W. T.; NARIMATU, B. R. S.; CRIBARI, F. A. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COMERCIAL DE 14,56 KWP NO MUNICÍPIO DE SERRA. **Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS**, 1 dez. 2018. Acesso em: 15 nov. 23
- [18] Oliveira, V. M. 2017. **Gestão Energética em um Clube Recreativo**. Dissertação de Mestrado (Mestre em Eficiência Energética) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande.
- [19] EPE. (2020). **Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-o-160/topico168/EPEFactSheetAnuario2021.pdf>. Acesso em: 13 de março de 2023.
- [20] SILVA, Adriano J., MUNHOZ, Fernando C. and CORREIA, Paulo B. **Qualidade na utilização de energia elétrica no setor rural: problemas, legislação e alternativas..** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000022002000200047&lng=en&nr=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000200047&lng=en&nr=abn)>. Acesso em: 13 Mar. 2023.
- [21] CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em 31 mar. 2023
- [22] **Consumidores - Tabela de Consumo dos Aparelhos - EFLUL**. Disponível em: <<http://www.eflul.com.br/consumidores/tabela-de-consumo>>. Acesso em: 18 de agosto de 2023

[23] Kuzniecowa, Yuri De Seixas; Nava, Delrobson; Paula, Gabriel Negrão de. 2014. **Análise comparativa de viabilidade econômica entre dois projetos de armazém inseridos em uma fábrica de fertilizantes**. In: ENEGEP, 34. Anais... Curitiba, 2014. Disponível em: <[https://abepro.org.br/biblioteca/tn\\_sto\\_240\\_390\\_31751.pdf](https://abepro.org.br/biblioteca/tn_sto_240_390_31751.pdf)> . Acesso em: 18 de nov. de 2023