



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS**

CAMPUS PALMAS

BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

LEONARDO SOUSA DE LIMA

VITOR DA CUNHA SOUSA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS (BESS) PARA
OPERAÇÃO NO HORÁRIO DE PONTA NO IFTO - CAMPUS PALMAS**

PALMAS - TO

2024

LEONARDO SOUSA DE LIMA

VITOR DA CUNHA SOUSA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS (BESS) PARA
OPERAÇÃO NO HORÁRIO DE PONTA NO IFTO - CAMPUS PALMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, como exigência à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Me. Felipe Tozzi Bittencourt

PALMAS - TO

2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins**

S725a Sousa, Vitor da Cunha
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE
ENERGIA EM BATERIAS (BESS) PARA OPERAÇÃO NO HORÁRIO
DE PONTA NO IFTO - CAMPUS PALMAS / Vitor da Cunha Sousa,
Leonardo Sousa de Lima. – PALMAS, TO, 2024.
71 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, PALMAS, TO, 2024.

Orientador: Me. Felipe Tozzi Bittencourt

1. ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA. 2. ANÁLISE DA
VIABILIDADE ECONÔMICA. 3. BESS. I. Lima, Leonardo Sousa de.
II. Bittencourt, Felipe Tozzi III. , . IV. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).

LEONARDO SOUSA DE LIMA

VITOR DA CUNHA SOUSA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS (BESS) PARA
OPERAÇÃO NO HORÁRIO DE PONTA NO IFTO - CAMPUS PALMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em
Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Tocantins, como exigência à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em: 09/09/2024

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Felipe Tozzi Bittencourt

Orientador



Prof. Dr. Elcio Precioso de Paiva

Membro da Banca Avaliadora



Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque

Membro da Banca Avaliadora

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo fazer a análise da viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de armazenamento de energia em baterias (BESS) para operação no horário de ponta no IFTO - Campus Palmas. A implementação do sistema proposto objetiva a redução da tarifa de energia do IFTO - Campus Palmas, armazenando uma energia com menor custo no horário fora de ponta para ser consumida no horário de ponta. As viabilidades foram avaliadas conforme necessidade da instituição tanto por simulações quanto pelas condições reais do local. A viabilidade técnica passou por avaliação do sistema local já existente de acordo com o sistema de armazenamento de baterias dimensionado, com necessidades técnicas a serem cumpridas conforme resultados apresentados ao longo do estudo. A viabilidade econômica foi avaliada por meio de parâmetros econômicos tais como Taxa Interna de Retorno, Valor Presente Líquido, Retorno sobre o Investimento, Payback Simples e Payback Descontado, todos levando em consideração o Custo Presente Líquido (NPC), o CAPEX, os custos operacionais anuais (OPEX) e o custo médio por kWh de energia elétrica (LCOE) para diferentes cenários. Os resultados mostraram que um sistema para atender a totalidade do consumo no horário de ponta é inviável, mesmo sem a aplicação de impostos sobre o BESS. Para o IFTO, o cenário considerou a incidência de impostos, apontando a capacidade de 213 kWh como a melhor escolha, o qual se mostrou economicamente viável, recuperando o investimento até o fim de sua vida útil.

Palavras Chave: Viabilidade técnica, viabilidade econômica, armazenamento, energia, BEES, bateria de íons de lítio.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the technical and economic feasibility of implementing a battery energy storage system (BESS) for peak hour operation at IFTO - Campus Palmas. The proposed system aims to reduce energy costs at IFTO - Campus Palmas by storing lower-cost energy during off-peak hours for consumption during peak hours. The feasibilities were assessed based on the institution's needs through both simulations and real local conditions. The technical feasibility involved evaluating the existing local system in accordance with the designed battery storage system, with technical requirements to be met as indicated by the study's results. The economic feasibility was assessed using economic parameters such as Internal Rate of Return (IRR), Net Present Value (NPV), Return on Investment (ROI), Simple Payback, and Discounted Payback, all considering Net Present Cost (NPC), CAPEX, annual operational costs (OPEX), and the Levelized Cost of Energy (LCOE) for different scenarios. The results showed that a system designed to meet the total consumption during peak hours is not viable, even without the application of taxes on the BESS. For IFTO, the scenario considered tax incidence, pointing to a capacity of 213 kWh as the best choice, which proved to be economically feasible, recovering the investment by the end of its useful life.

Keywords: Technical feasibility, economic feasibility, storage, energy, BESS, lithium-ion battery.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Imagem 1 – Dados da fatura de energia IFTO.....	21
Imagem 2 – Sistema de armazenamento de energia em bateria - BESS.....	30
Imagem 3 – Uma estrutura BESS típica.....	35
Imagem 4 - Consumo faturado e demanda medida dos últimos 12 meses.....	42
Imagem 5 - Topologia esquemática da configuração do projeto.....	43
Imagem 6 - Valores do perfil de carga de 2016, e do período de OUT/22 a SET/23.....	45
Imagem 7 - Dados da conta de energia elétrica do IFTO.....	54
Imagem 8 - NDU 015 Energisa 8.9.2 - Conexão em MT e medição em MT.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Subgrupos do Grupo de Tensão A.....	14
Tabela 2 – Subgrupos do Grupo de Tensão B.....	15
Gráfico 1 – Consumo de Energia IFTO - Palmas.....	22
Gráfico 2 – Compra de Energia IFTO - Palmas.....	22
Tabela 3 - Tipos de baterias eletroquímicas.....	26
Tabela 4 – Aplicações do BESS no setor elétrico.....	31
Gráfico 3 - Perfil de carga médio diário de 2016 do IFTO - Palmas.....	45
Gráfico 4 - Perfil de carga anual de 2016 do IFTO - Palmas.....	45
Tabela 5 – Tarifas de energia ponta e fora de ponta.....	46
Tabela 6 – CAPEX e OPEX.....	49
Tabela 7 - Lista base de mão-de-obra para adequações civis em subestações.....	59
Tabela 8 – Desempenho Econômico em Diferentes Cenários.....	61
Tabela 9 – Comparação com o caso base.....	61

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IFTO	Instituto Federal do Tocantins
BESS	Battery Energy Storage System (Sistema de armazenamento de energia em bateria)
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
kWh	Quilowatt-hora
kW	Quilowatt
kV	Quilovolt
MWh	Megawatt-hora
TE	Tarifa de Energia
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
GMG	Grupo Moto Gerador
REN	Resolução Normativa
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
N. P.	Não Paginado
S. D.	Sem Data
UCs	Unidades Consumidoras
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor presente líquido
NPC	Net present cost (Custo presente líquido)
TIR	Taxa interna de retorno
ROI	Retorno sobre o Investimento
LCOE	Levelized Cost of Energy" (Custo Nivelado de Energia)
COE	Cost of Energy" (Custo de Energia)
CAPEX	Capital Expenditure (Despesas de Capital)
OPEX	Operational Expenditure (despesas operacionais).
EMS	Energy Management System (Sistema de Gerenciamento de Energia)
BMS	Battery Management System (Sistema de Gerenciamento de Baterias)
PCS	Power Conversion System (Sistema de Conversão de Energia)
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. Problemática.....	12
1.2. Justificativa.....	12
1.3. Objetivo.....	13
1.3.1. Objetivos Gerais.....	13
1.3.2. Objetivos Específicos.....	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1. Grupos tarifários.....	14
2.1.1. Grupo A.....	14
2.1.2. Grupo B.....	15
2.2. Tarifa de energia.....	16
2.3. Demanda Contratada.....	17
2.4. Modalidade tarifária.....	18
2.4.1. Postos tarifários.....	18
2.4.2. Modalidade tarifária convencional monômnia.....	19
2.4.3. Modalidade tarifária branca.....	19
2.4.4. Modalidade tarifária azul.....	19
2.4.5. Modalidade tarifária verde.....	20
2.5. IFTO - Campus Palmas.....	20
2.5.1. Consumo de energia elétrica.....	21
2.6. Armazenamento de energia.....	23
2.6.1. Armazenamento de energia elétrica.....	23
2.6.1.1. Baterias de íons de lítio.....	24
2.6.1.2. Baterias de chumbo ácido.....	24
2.6.1.3. Baterias de níquel-cádmio.....	25
2.6.1.4. Baterias de íons de sódio.....	25
2.6.2. Comparação entre tipos de baterias.....	26
2.6.3. Utilização das Baterias de Íon de Lítio.....	27
2.6.4. Descarte ambiental das baterias de Íon de Lítio.....	29
2.7. Sistema de armazenamento de energia em bateria - BESS.....	29
2.7.1. Aplicação do BESS.....	30
2.7.1.1. Arbitragem.....	31
2.7.1.2. Controle de demanda.....	31
2.7.1.3. Aumento do autoconsumo por geração intermitente.....	32
2.7.1.4. Back-up.....	32
2.7.2. Configuração do BESS com baterias de íons de lítio.....	32

2.7.2.1. Baterias.....	33
2.7.2.2. Sistema de Gerenciamento de Baterias (BMS):.....	33
2.7.2.3. Sistema de conversão de Energia (PCS):.....	33
2.7.2.4. Sistema de Gerenciamento de Energia (EMS):.....	34
2.7.2.5. Sistemas de Segurança.....	34
2.8. Métodos de avaliação econômica.....	35
2.8.2. Taxa Mínima de Atratividade - TMA.....	36
2.8.3. Valor presente líquido - VPL.....	37
2.8.4. Taxa interna de retorno - TIR.....	38
2.8.5. Payback.....	39
2.8.6. CAPEX e OPEX.....	39
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	41
3.1. Levantamento do perfil de consumo do IFTO - Campus Palmas.....	41
3.1.1. Demanda máxima no horário de ponta.....	41
3.1.2. Consumo médio no horário de ponta.....	42
3.1.3. Tensão de conexão.....	43
3.2. Simulação de viabilidade técnica e econômica no HOMER PRO.....	43
3.2.1. TMA e taxa de inflação.....	44
3.2.2. Modelagem da carga do IFTO.....	44
3.2.3. Modelagem da rede de distribuição.....	46
3.2.3.1. Tarifa de energia.....	46
3.2.3.2. Tarifa de demanda.....	47
3.2.4. Modelagem do BESS.....	47
3.2.4.1. CAPEX, OPEX e custos de reposição do BESS.....	48
3.3. Viabilidade Técnica.....	50
3.3.1. Capacidade de armazenamento e potência de conversão do sistema.....	50
3.3.2. Parâmetros de conexão com a rede.....	51
3.3.3. Segurança e viabilidade local.....	51
3.4. Parâmetros para análise econômica.....	52
4. RESULTADOS.....	53
4.1. Dimensionamento do sistema de armazenamento.....	53
4.1.1. Demanda no horário de ponta.....	53
4.1.2. Capacidade armazenamento para o horário de ponta.....	53
4.1.3. Tensão de conexão.....	54
4.2. Simulação do BESS.....	55
4.3. Viabilidade técnica.....	55
4.3.1. Potência do Conversor.....	55
4.3.2. Conexão da rede.....	56
4.3.3. Proteção (Inversão de Fluxo).....	57

4.3.4. Aterramento e SPDA.....	57
4.3.5. Proteção contra Incêndios.....	58
4.3.6. Supervisão e Controle remotos.....	58
4.3.7. Adequação Civil.....	59
4.4. Viabilidade econômica.....	60
5. CONCLUSÕES.....	64
5.1. Sugestões para trabalhos futuros.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

1. INTRODUÇÃO

No cenário atual, pelo crescente uso de energia em diversas atividades humanas, a demanda por energia elétrica está em constante crescimento no mundo. No Brasil, a matriz energética é composta na maior parte por usinas hidrelétricas, uma fonte de energia renovável, porém vulnerável às variações climáticas (EPE, S.D.). Em períodos de pouca chuva, é necessário recorrer às termelétricas movidas a combustíveis fósseis, encarecendo as tarifas de energia e contribuindo para o aumento das emissões de gases do efeito estufa.

Diante desse contexto, a geração fotovoltaica e eólica surge como uma alternativa promissora de geração de energia renovável. No entanto, essas formas de geração são intermitentes, apresentando desafios no fornecimento contínuo de energia. Os Sistemas de Armazenamento de Energia de baterias (BESS) surgem como solução para tornar despachável a energia produzida por esse tipo de fonte, assegurando qualidade e confiabilidade. É notável o avanço tecnológico e a redução dos custos dessa tecnologia de armazenamento eletroquímico, resultante de sua integração bem-sucedida com energias renováveis e do seu papel crescente na indústria de veículos elétricos.

Além disso, os BESS podem ser eficazmente aplicados em consumidores do grupo A, que enfrentam custos elevados com tarifas horária e/ou contrato de demanda (SILVA, 2022). Em muitos casos, esses consumidores não têm a flexibilidade de ajustar suas operações para períodos fora do horário de ponta. Os bancos de baterias oferecem a possibilidade de armazenar energia durante os períodos fora do horário de ponta, para ser utilizada nos horários quando os custos de energia são mais elevados.

Um exemplo notável é o Instituto Federal de Ciências e Tecnologia do Tocantins (IFTO), que tem que estar em pleno funcionamento durante o horário de ponta. Diante dessa necessidade, este projeto visa realizar uma análise de

viabilidade técnica e econômica para implementação de um sistema de armazenamento de energia elétrica, por meio de baterias, que serão utilizadas para suprir a demanda elétrica durante o horário de ponta no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas.

1.1. Problemática

O IFTO - Campus Palmas, especificamente, é abastecido em média tensão (Grupo A) e se enquadra no subgrupo A4, sendo atendido com tensão nominal de 13,8 kV e seu plano tarifário segue o modelo horo-sazonal verde. Nesse contexto, as tarifas variam com base no horário do dia e no dia da semana em que a energia é consumida. No período de pico (horário de ponta), que vai das 18:00 às 21:00 horas, exceto aos finais de semana e feriados nacionais, o custo por quilowatt-hora (kWh) pode ser até oito vezes superior ao custo em outros horários.

Desta forma, o IFTO - Campus Palmas não se beneficia ao máximo dessa modalidade de atendimento do serviço elétrico, pois no horário de ponta possui um consumo faturado elevado por haver atividades que não podem ser remanejadas para outro horário, ao contrário do que acontece nas indústrias, por exemplo. Mesmo que o consumo do horário de ponta não seja maior que o consumo do horário fora de ponta, o valor pago é maior.

1.2. Justificativa

O IFTO - Campus Palmas possui um GMG diesel que supre apenas parte da energia consumida durante o horário de ponta, necessitando de outra opção neste horário, para fornecimento de energia elétrica. Por meio das contas de energia é possível ver que essa necessidade se confirma, visto que nos meses de outubro/2022 a setembro/2023, o IFTO - Campus Palmas teve um gasto com

fornecimento de energia elétrica, o qual custou R\$ 943.586,71, deste, cerca de R\$ 522.967,69, foram consumo no horário de ponta.

Com as fontes de energia renováveis não despacháveis crescendo cada vez mais e a chegada dos carros elétricos cada vez maior no mercado, os estudos de baterias mais eficientes e sistemas de armazenamentos mais viáveis é cada vez maior, abrindo novas oportunidades e viabilidades no mercado, com isso, a tendência é que o custo destes equipamentos se torne mais viável economicamente, o que é interessante para o armazenamento e deslocamento de energia elétrica para utilização da mesma no horário de ponta.

Diante das condições atuais, viabiliza-se a análise da viabilidade de implantação de um sistema de armazenamento de energia elétrica no IFTO - Campus Palmas. Tendo em vista um estudo realizado em 2021, o objetivo é reavaliar a viabilidade do BESS.

1.3. Objetivo

1.3.1. Objetivos Gerais

Analisar a viabilidade técnica e econômica da implementação do sistema de armazenamento de energia em baterias (BESS), visando utilizar a energia armazenada durante os períodos de horário de ponta, no Instituto Federal de Ciências e Tecnologias do Tocantins - Campus Palmas.

1.3.2. Objetivos Específicos

Análise dos dados de consumo do IFTO - Campus Palmas.

Avaliação técnica da viabilidade para implementação do sistema de banco de armazenamento de energia no IFTO - Campus Palmas.

Avaliação econômica da viabilidade para implementação do sistema de banco de armazenamento de energia no IFTO - Campus Palmas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Grupos tarifários

De acordo, com a resolução nº1000 da ANEEL (2021), os grupos tarifários são definidos conforme o nível de tensão em que os consumidores são atendidos. São divididos em grupo A e grupos B, sendo que os grupos são subdivididos em subgrupos.

2.1.1. Grupo A

Composto pelo agrupamento de consumidores atendidos em média e alta tensão, maior ou igual a 2,3 kV, ou atendidos por tensão menor que 2,3kV, mas em sistema subterrâneo de distribuição. É dividida em seis subgrupos com níveis de tensão definidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Subgrupos do Grupo de Tensão A.

SUBGRUPO	Classificação
A1	$\geq 230\text{kV}$
A2	88kV a 138kV
A3	69kV
A3a	30kV a 44kV
A4	2,3kV a 25kV
AS	(Sistemas Subterrâneos) $\leq 2,3\text{kV}$

Fonte: ANEEL (2021)

Em geral, nesse grupo estão incluídas as médias e grandes empresas, bem como indústrias e estabelecimentos comerciais de grande porte, são UCs com carga instalada superior a 75 kW. Para esses consumidores, além da cobrança da energia

consumida em kWh, devem se preocupar com o fator de potência, uma vez que também pagam pela energia reativa, e com a demanda contratada, que deve ser disponibilizada continuamente pela distribuidora, e deve ser paga independente de ser consumida ou não.

Ainda, o grupo A deve considerar a tarifa horo sazonal, que está diretamente vinculada à demanda contratada e com os períodos de horário de ponta e fora de ponta.

2.1.2. Grupo B

Grupo composto por consumidores atendidos em baixa e média tensão, menor que 2,3kV, e subdividido nos subgrupos apresentados pela Tabela 2.

Tabela 2 – Subgrupos do Grupo de Tensão B

SUBGRUPO	Classificação
B1	Residencial
B2	Rural
B3	Demais Classes
B4	Iluminação Pública

Fonte: ANEEL (2021)

Atende clientes residenciais, comerciais, pequenas indústrias e pequenas propriedades rurais, UCs com carga instalada igual ou inferior a 75kW. Em comparação com o Grupo A, o Grupo B apresenta uma menor complexidade, pois o ponto central está em pagar pelo consumo de energia em kWh. Também, não é preciso contratar demanda, mas há a obrigação de pagar uma taxa mínima de disponibilidade.

Além da tarifa convencional, esse grupo tem a alternativa de escolher pela tarifa branca, que estabelece valores diferentes para o consumo de energia de acordo com diferentes horários do dia.

2.2. Tarifa de energia

Tarifas são um valor monetário definido pela ANEEL, fixado em R\$ (reais) por unidade de energia elétrica, geralmente em MWh, ou unidade de demanda de potência, em kW. (ANEEL, 2021). Elas englobam os custos relacionados à geração de energia, despesas de transporte, encargos setoriais e impostos, representando os gastos necessários para cobrir essas operações.

Estabelecidas em dois tipos diferentes, conhecidos como tarifa de energia (TE) e tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD). A TE está relacionada à quantidade mensal de energia consumida. Já a TUSD é referente ao serviço prestado pela distribuidora para levar energia ao consumidor por meio do sistema de distribuição.

A tarifa de energia (TE) ainda sofre influência da bandeira tarifária que estará vigente no mês. Devido à matriz de geração de energia ser predominante hídrica, em épocas de escassez de chuvas e baixo nível dos reservatórios, há a necessidade de ligar as termelétricas. O sistema de bandeiras tarifárias visa repassar ao consumidor o aumento dos custos da geração em função das condições climáticas.

Conforme a ANEEL, as bandeiras foram divididas nas cores verde, amarela, vermelha -patamar 1 e vermelha - patamar 2, em que cada uma com um valor de acréscimo para cada kWh consumido:

“Bandeira verde: condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;

Bandeira amarela: condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,01874 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos;

Bandeira vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,03971 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

Bandeira vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,09492 para cada quilowatt-hora kWh consumido.” (ANEEL, 2022, N. P.).

2.3. Demanda Contratada

Para os consumidores do grupo A, além de pagarem pelo volume de energia consumida mensalmente, também devem pagar uma taxa fixa mensal para a distribuidora, pela demanda de potência ativa, conhecida como demanda contratada.

Demanda contratada é definida pela Agência Nacional de Energia Elétrica na REN nº1000/2021, como, “demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela distribuidora no ponto de conexão, conforme valor e período de vigência fixados em contrato, em kW (quilowatts)” ANEEL (2021, pág.4). Em outras palavras, a potência contratada deve ser fornecida pela distribuidora ao consumidor sempre que solicitada, independentemente do momento do dia.

O objetivo do contrato é garantir que a distribuidora forneça um sistema capaz de atender às necessidades dos consumidores. No entanto, o consumidor deve manter a demanda dentro do volume contratado. Caso a demanda seja excedida, por um consumo momentâneo que ultrapassou o limite máximo, o consumidor está sujeito ao pagamento de uma multa. Além disso, caso não seja utilizada toda a demanda durante o período de faturamento, o valor total da demanda deve ser pago, mesmo que não tenha sido utilizado.

2.4. Modalidade tarifária

As modalidades tarifárias são uma série de tarifas relacionadas ao consumo de energia elétrica e demanda de potência ativa. São estabelecidas conforme o grupo tarifário que o consumidor está inserido, conforme as opções de contratação definidas pela Resolução Normativa nº 1000/2021 da ANEEL e no módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária- Proret (ANEEL, 2022).

2.4.1. Postos tarifários

São períodos do dia em que as tarifas têm valores diferenciados. A ANEEL(2021) divide os postos tarifários em três: ponta, intermediário e fora de ponta.

- **Horário de ponta:** período diário de 3h consecutivas, das 18h às 21h;
- **Horário intermediário:** período de horas combinadas ao horário de ponta, aplicado apenas às unidades consumidoras do grupo B que optem pela Tarifa Branca. Varia de 1h a 1h30 antes e depois do horário de ponta; e
- **Horário fora de ponta:** período diário em que não coincide com o período de ponta ou intermediário.

Os postos são aplicados apenas em dias úteis, portanto, nos finais de semana e feriados nacionais, todas as horas do dia são consideradas fora de ponta.

No grupo A, aplicam-se apenas os horários de ponta e fora de ponta. Enquanto para o grupo B, na tarifa branca, aplicam-se os três postos. Além disso, esses postos tarifários são definidos por área de concessão ou permissão (ANEEL, 2022).

2.4.2. Modalidade tarifária convencional monômnia

Aplicada a todas as unidades consumidoras do grupo B. É a única tarifa que não possui diferenciação tarifária de acordo com o horário, portanto, tem uma única tarifa para o consumo de energia elétrica.

2.4.3. Modalidade tarifária branca

Caracterizada como uma modalidade tarifária horária admissível ao grupo B, possui tarifas que variam de acordo com o horário de utilização do dia. Organizado em três tarifas diferentes por horário do dia:

- Tarifa para horário de ponta
- Tarifa para horário intermediário
- Tarifa fora do horário de ponta intermediário

O grupo B tem a opção de aderir à tarifa branca, ou permanecer na convencional. A tarifa branca é ideal para consumidores que conseguem deslocar seu horário de consumo de energia para fora do horário de ponta, uma vez que a tarifa nesse horário é menor que a tarifa convencional.

2.4.4. Modalidade tarifária azul

Na REN nº 1060/2023, módulo 7 do Proret, a modalidade tarifária azul é caracterizada como “Tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia”, ANEEL (2023, pág. 4). Essa modalidade é disponibilizada para todos os subgrupos do grupo A.

2.4.5. Modalidade tarifária verde

Definida pela ANEEL(2023) no módulo 7 do Proret como tarifas de consumo de energia elétrica diferenciadas conforme as horas de utilização do dia. Ao contrário da tarifa azul, a tarifa de demanda de potência é única, o que significa que não está sujeita aos postos horários. Esta modalidade está disponível apenas para os subgrupos A3a, A4, e AS.

2.5. IFTO - Campus Palmas

O estudo será feito no IFTO - Campus Palmas, visando a redução de custos decorrentes das tarifas elevadas durante o horário do pico. Para tanto, será necessária uma breve apresentação do campus.

“Oficialmente inaugurado em abril de 2003 – na época, Escola Técnica Federal de Palmas - o Campus Palmas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins tem capacidade para atender mais de 4.000 estudantes. A unidade é referência em ensino de qualidade na capital do Tocantins e região e ocupa uma área de 128.508,38m².

Oferta cursos nos níveis de pós-graduação lato sensu, graduação em bacharelados, licenciaturas e tecnológicos, técnicos nas modalidades subsequente, integrado ao ensino médio e EaD, e Proeja. Além disso, também oferta cursos de formação inicial e continuada, voltados à capacitação rápida da comunidade para o mercado de trabalho.” (IFTO, 2016, N. P.)

2.5.1. Consumo de energia elétrica

Para analisar o consumo mensal de energia elétrica no IFTO – campus Palmas, serão examinadas as faturas de energia referentes ao período de 12 meses, entre outubro/2022 e setembro/2023. Visto que a instituição estava operando normalmente durante esse intervalo de tempo, permitindo assim a definição do padrão de consumo.

Conforme a imagem 1, onde estão presentes os detalhes da fatura de energia, o Campus está classificado no subgrupo A4, sendo atendido a 13,8 kV e pertencendo à modalidade tarifária verde. Nesse cenário, as tarifas de consumo de energia elétrica variam conforme os horários de ponta e fora de ponta, enquanto a tarifa de demanda de potência permanece constante.

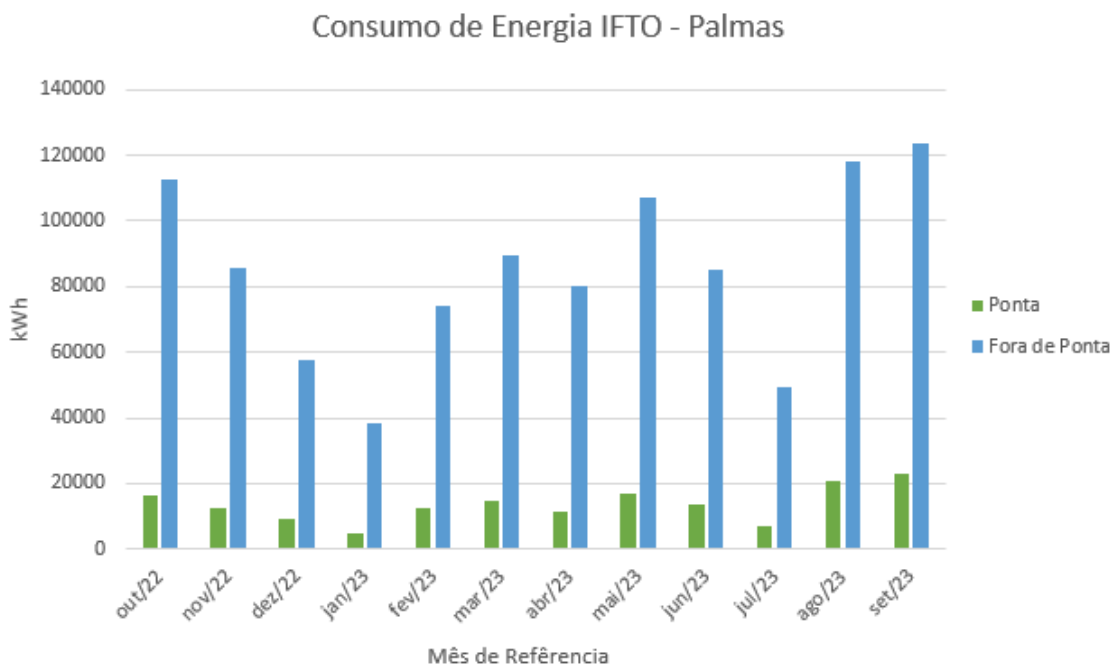
Imagem 1 – Dados da fatura de energia IFTO

Classificação: MTV-MOD.TARIFÁRIA VERDE / A4 PODER PÚBLICO / POD. PÚB. FEDERAL		LIGAÇÃO: TRIFASICO	
TENSÃO NOMINAL EM VOLTS	DISP: 13800	Lim. Min.: 12834	Lim. Max.: 14490

Fonte: Fatura de energia (2023)

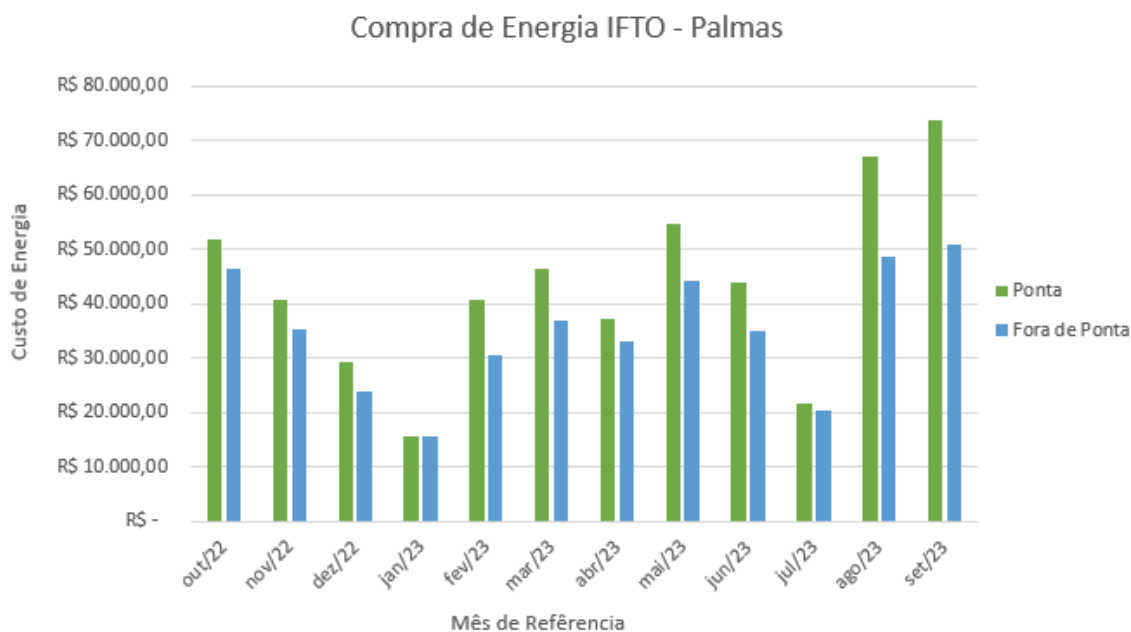
A seguir, os gráficos apresentam dados de consumo de energia elétrica no IFTO - Campus Palmas durante o período mencionado acima. O Gráfico 1 mostra a quantidade de energia consumida (em kWh) tanto no horário de ponta quanto no horário fora de ponta. Já o Gráfico 2 ilustra o valor em reais pago pelo consumo de energia nos horários de ponta e fora de ponta.

Gráfico 1 – Consumo de Energia IFTO - Palmas



Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 2 – Compra de Energia IFTO - Palmas



Fonte: Autoria própria (2023)

Examinando os gráficos, é evidente que, mesmo o consumo durante o horário de ponta sendo consideravelmente inferior ao registrado em outros momentos do

dia, o montante pago por esse consumo é ligeiramente maior do que o valor pago pelo consumo no horário fora de ponta. Isso acontece pelo fato da tarifa aplicada durante o horário de ponta, ter um valor mais elevado que no horário fora de ponta, chegando a ser quase 8 vezes maior.

2.6. Armazenamento de energia

O armazenamento é algo muito importante num contexto geral, e neste estudo, ele é a base, pois utiliza-se do armazenamento de energia para que o estudo traga uma resposta viável e eficaz. Desta forma, se torna necessário uma breve resumo do conceito relacionado ao armazenamento de energia.

“O armazenamento de energia é um processo através do qual se armazena a energia produzida anteriormente num sistema, sendo que a que mais necessita de ser armazenada, tendo em vista a sua demanda, é a elétrica.”
(GOLDENERGY, S.D.)

2.6.1. Armazenamento de energia elétrica

Devido ao alto custo e dos níveis insatisfatórios de armazenamento, a armazenagem de energia elétrica por muito tempo encontrou dificuldades e inviabilidades para que fosse implantada em diversos setores.

Para o armazenamento de energia elétrica, é necessário que esta seja convertida em outro tipo de energia, como por exemplo química, que é o caso de armazenamento em baterias, objeto deste estudo.

Assim, com o avanço da tecnologia, os estudos e pesquisas por soluções para as dificuldades enfrentadas por armazenagem de energia elétrica aumentaram. Isso se deve ao aumento da produção de energias renováveis, as quais não são

despacháveis, e também aos carros elétricos, cada vez mais consolidados e procurados no mercado mundial.

2.6.1.1. Baterias de íons de lítio

“As baterias de íons lítio funcionam movendo os íons de lítio através de um eletrólito dentro da bateria. Como os íons são partículas que ganham ou perdem elétrons, movê-lo de um ânodo para um cátodo produz elétrons livres (elétrons que foram liberados dos átomos de lítio). Por sua vez, o acúmulo desses elétrons livres é a forma como as baterias carregam e armazenam eletricidade.” (PATEL, 2022)

Esse tipo de bateria é muito vantajoso em relação a outros tipos de baterias recarregáveis, como, por exemplo, no número de ciclos de operação, velocidade de carregamento, capacidade de armazenamento e até mesmo no custo-benefício.

Seu único problema está relacionado à segurança, sendo inflamável, a qual pode causar incêndios sob altas temperaturas, necessitando de um sistema de gerenciamento de baterias (BMS).

2.6.1.2. Baterias de chumbo ácido

“As baterias de chumbo-ácido usam dois eletrodos imersos em ácido sulfúrico para funcionar. O positivo é de chumbo revestido com dióxido de chumbo e o negativo é de chumbo metálico poroso. Uma reação química entre este último e o sulfato contido no ácido sulfúrico conduz a carga do eletrodo negativo para o positivo, gerando corrente. Essa reação pode ser revertida, permitindo que a bateria seja recarregada quando conectada a uma fonte elétrica.” (BARONTINI, S.D., tradução: CESAR)

Baterias de chumbo ácido precisam de manutenções rotineiras em relação à sua carga, pois precisam ser armazenadas com capacidade máxima, sob a técnica

de flutuação, que é basicamente uma manutenção de carga com corrente elétrica baixa, a qual é suficiente para evitar o efeito da auto-descarga desse tipo de bateria.

2.6.1.3. Baterias de níquel-cádmio

“Uma bateria elementar de níquel-cádmio é formada por dois eletrodos separados por um isolante, enrolados um sobre o outro e imersos num eletrólito. O eletrodo positivo ou ânodo é constituído de níquel e tem sobre a superfície externa um composto mais ativo, à base de hidróxido de níquel. O eletrólito é constituído por uma solução de hidróxido de potássio.”
(GOMES, S.D.)

As baterias de níquel-cádmio tem ótimo desempenho em condições mais rigorosas, além de ser preferível usar carga rápida para alimentá-las e descarga completa, para evitar o efeito memória, que é a formação de grandes cristais nas placas das células, quando não descarregadas completamente antes de serem recarregadas, assim perdendo sua capacidade de armazenamento inicial, mesmo que pareçam estar completamente carregadas.

2.6.1.4. Baterias de íons de sódio

As baterias de íons de sódio têm um funcionamento semelhante às de baterias de lítio, já que a química dos dois elementos é semelhante pelo fato de ambos serem alcalinos, porém a bateria de sódio transporta a carga usando íons de sódio (Na^+) em vez de íons de lítio (Li^+).

“Uma célula de sódio é basicamente composta por um cátodo constituído por um material capaz de conter sódio, um ânodo geralmente feito de carbono e um eletrólito líquido contendo átomos de sódio na forma iônica. O eletrólito é um líquido orgânico que preenche o volume interno da célula, atuando como

uma ligação entre o cátodo e o ânodo que permite a movimentação dos íons.” (PASTORELLI, 2023)

As baterias de íons de sódio são uma alternativa econômica, aproveitando a abundância do sódio na natureza, e se destacam por recargas rápidas e segurança térmica. São ecologicamente corretas, por serem livres de metais pesados e versáteis em suas aplicações. Contudo, enfrentam limitações como menor densidade energética e vida útil reduzida, além da falta de uma cadeia de suprimentos desenvolvida, o que restringe seu uso em larga escala.

2.6.2. Comparação entre tipos de baterias

Visto que cada sistema de armazenamento de energia elétrica tem suas particularidades, é preciso analisar e entender qual o melhor método de uso das baterias nesse sistema.

A Tabela 3 abaixo mostra as vantagens e desvantagens de cada tipo de bateria apresentada anteriormente.

Tabela 3 - Tipos de baterias eletroquímicas

Tipos de baterias	Vantagens	Desvantagens
Íons de Lítio	Alta eficiência; Alto número de ciclos de operação; Bem ambientalmente; Alta velocidade de carregamento; Boa capacidade de armazenamento; Baixa manutenção.	Alto custo inicial; Alto custo em sistema de gerenciamento de baterias (BMS).
Chumbo Ácido	Alta eficiência; Baixo custo; Tecnologia confiável e consolidada.	Baixa vida útil; Baixa capacidade de armazenamento; Prejudicial ao meio ambiente;

		Precisa de controle térmico.
Níquel Cádmio	Baixo custo; Bom desempenho em condições rigorosas; Alta velocidade de carregamento.	Baixa capacidade de armazenamento; Material tóxico e prejudicial ao meio ambiente; Efeito memória.
Íons de Sódio	Custos de produção relativamente baixos; Recarga rápida; Estabilidade contra temperaturas extremas; Menos tóxicas.	Novas no cenário comercial; Baixa densidade de energia; Menos eficientes; Vida útil mais curta;

Fonte: Autoria própria (2023)

Dessa forma, o tipo de armazenamento de energia que será utilizado precisará de uma alta capacidade de armazenamento, o que torna as baterias de íons de lítio a melhor escolha. Um fator importante será a vida útil do sistema, que terá maior longevidade com esse tipo de bateria, o que torna menor a desvantagem do alto custo de aquisição de um sistema deste tipo, além da ocupação local física ser menor em relação aos outros tipos de baterias. Assim, é importante a escolha da bateria de íons de lítio, mesmo com um custo inicial mais alto, para que se tenha uma maior longevidade do sistema e aproveite por mais tempo todas as suas vantagens sobre as outras.

2.6.3. Utilização das Baterias de Íon de Lítio

“Os primeiros testes, pesquisas e desenvolvimento que envolviam o lítio no desenvolvimento de baterias começaram em 1912 pelas mãos do físico Gilbert Newton Lewis, mas demorou décadas para a bateria de lítio se tornar um produto extremamente seguro e comercial. Apesar da iniciativa de Lewis, muitos pesquisadores contribuíram com a criação da tecnologia de

íon de lítio. Na história é citada alguns nomes como M Stanley Whittingham, Adam Heller e Samar Basu.

Em 1979, na Universidade de Oxford, o professor John Goodenough descobriu que o lítio poderia ser usado em uma bateria recarregável capaz de armazenar energia. A descoberta só aconteceu porque Goodenough convidou o físico e pesquisador japonês Koichi Mizushima para visitar a Universidade de Oxford, onde trabalharam juntos e desenvolveram uma bateria de lítio óxido cobalto (LiCoO₂).” (SECPOWER, S.D.)

A partir disso, a evolução deste tipo de bateria teve um enorme salto, tornando novos aparelhos eletrônicos portáteis menores e melhores. Seguindo o mesmo princípio, as baterias de íon de lítio foram implementadas em sistemas de energias renováveis, indústrias e até mesmo os carros elétricos, tornando o desempenho destes sistemas melhores e mais compactos. Com todas as vantagens destas baterias, os estudos e procuras por elas passaram a ser ainda maiores, o que torna o mercado mais competitivo e com mais eficiência em seus sistemas.

“Do ponto de vista de armazenamento de energia renovável, as baterias de íons de lítio se estabeleceram por serem mais resistentes ao comportamento cíclico de carga e descarga do que as de chumbo-ácido e não por não precisarem estar totalmente carregadas. Aliás, baterias de íons de lítio sofrem menos estresse químico quando recebem carga parcial. Mas o lítio-íon tem um custo mais elevado do que o chumbo-ácido em termos de compra do sistema.” (BATTERY UNIVERSITY, 2021)

Conforme mencionado anteriormente, é essencial a implementação de um sistema de gestão de baterias para garantir o controle e otimizar a eficiência de um sistema de armazenamento de baterias de íons de lítio, comumente denominado BMS (Sistema de Gerenciamento de Baterias). Suas funções primárias englobam o controle do processo de carga e descarga, equilíbrio de energia, proteção contra curtos-circuitos, entre outras.

2.6.4. Descarte ambiental das baterias de Íon de Lítio

Chega um momento em que as baterias, devido à degradação significativa ou danos, precisam ser substituídas. Com o avanço de novas técnicas de reciclagem, possibilita-se não apenas recuperar essas baterias, mas também reutilizar seus componentes em aplicações futuras.

As baterias de íons de lítio, compostas por múltiplas pequenas células agrupadas em um único pacote, passam por um processo inicial de desmontagem. Esse processo é essencial para identificar as células que ainda podem ser reutilizadas em baterias de segunda vida. As células que atingem o fim da sua vida útil são encaminhadas para reciclagem ou descarte apropriado. Geralmente, esse processo é feito em baterias de carros elétricos que chegam ao fim da vida útil, e podem ser reutilizadas como baterias estacionárias.

Para as células destinadas ao descarte, métodos hidrometalúrgicos e pirometalúrgicos são frequentemente empregados para reciclar os materiais, embora a reciclagem direta também seja uma prática comum. "A hidrometalurgia utiliza soluções (principalmente aquosas) para extrair e separar metais das baterias. A pirometalurgia emprega calor para transformar óxidos metálicos em metais ou compostos metálicos. A reciclagem direta consiste na remoção do material catódico para sua reutilização ou recondicionamento." (BAUM, 2021).

2.7. Sistema de armazenamento de energia em bateria - BESS

O BESS é um sistema completo de gerenciamento e armazenamento de energia elétrica que pode ser configurado para realizar inúmeras funções em um sistema elétrico de potência, agregando maior disponibilidade de energia, qualidade e confiabilidade à rede de energia elétrica.

“O sistema consiste em uma solução de controle e gerenciamento de energia que coordena os modos de operação e otimiza seu desempenho, garantindo maior eficiência e melhor aproveitamento dos recursos energéticos, além de proporcionar flexibilidade operacional e confiabilidade no fornecimento de energia.” (WEG, 2023, p. 8)

A expansão dos sistemas de armazenamento está vinculada ao avanço das inovações tecnológicas e à sustentabilidade dos produtos. Os sistemas de armazenamento mais populares são atualmente baseados em baterias de lítio, utilizadas em conjunto com novas tecnologias, ilustrado na imagem 2. Por conta principalmente da sua densidade de potência, eficiência e aspectos econômicos.

Imagem 2 – Sistema de armazenamento de energia em bateria - BESS



Fonte: WEG (2023)

2.7.1. Aplicação do BESS

Em relação às aplicações, para Silva (2022), o BESS tem uma ampla faixa de funcionalidades, podendo ser utilizado por unidades consumidoras, por sistemas de distribuição, transmissão e geração de energia elétrica. A tabela 4 mostra algumas aplicações do BESS no setor elétrico.

Tabela 4 – Aplicações do BESS no setor elétrico

Operador (na rede)	Consumidor (atrás do medidor)
Arbitragem	Arbitragem
Reserva operativa	Redução no consumo na ponta
Controle de frequência	Aumento do autoconsumo de fonte fotovoltaica
Controle de tensão	Geração de emergência (<i>back-up</i>)
Auto restabelecimento de energia elétrica em usinas (<i>black start</i>)	-

Fonte: SILVA (2022)

Em unidades consumidoras, com o perfil de consumo do IFTO- Palmas, os principais métodos de aplicações do BESS são:

2.7.1.1. Arbitragem

A arbitragem de energia, que envolve armazenar energia quando as tarifas são mais baixas, geralmente durante o horário fora de ponta, ou mesmo de um fonte de energia não despachável, e utilizá-la durante o horário de ponta, quando a tarifa é mais alta, é uma estratégia eficaz para redução de custos.

Este método, conforme descrito por Solovev (2021), não só reduz os gastos com energia nos períodos de tarifação mais alta, mas também assegura uma economia significativa na conta de energia. Esta abordagem pode servir como uma alternativa viável ao uso de geradores a diesel, oferecendo uma solução mais sustentável e econômica para o gerenciamento de energia.

2.7.1.2. Controle de demanda

Esta aplicação é útil para clientes que precisam estabelecer um limite de demanda máxima contratada, evitando ultrapassagens que resultam em tarifas adicionais. O controle de demanda é uma ferramenta eficaz tanto para reduzir a

demanda contratada quanto para diminuir os picos de consumo, considerando que o consumo de energia varia ao longo do dia e pode exceder os limites de demanda máxima.

O BESS pode ser configurado para prevenir essas ultrapassagens. Conforme Silva (2022) destaca, as baterias atuam como um regulador, garantindo que o consumo não exceda a demanda contratada, proporcionando assim uma gestão de energia mais eficiente e evitando custos adicionais com tarifas de ultrapassagem.

2.7.1.3. Aumento do autoconsumo por geração intermitente

Por exemplo, sistemas de geração fotovoltaica podem carregar o BESS ao longo do dia, permitindo que essa energia seja utilizada mais tarde, quando a geração solar cessar. Essa estratégia maximiza o aproveitamento da energia proveniente de uma fonte intermitente, que além de ser mais econômica, é também sustentável (SHIMIDT, 2022).

2.7.1.4. Back-up

Para consumidores com cargas essenciais, em que não pode haver a interrupção de energia elétrica, a utilização de baterias como reserva emergencial (back-up) é outra aplicação importante do BESS (SILVA, 2022);

2.7.2. Configuração do BESS com baterias de íons de lítio

Os BESS possui vários componentes necessários para seu funcionamento, os principais são: baterias, Battery Management System (BMS), Energy

Management System (EMS), Power Conversion System (PCS), sistemas de segurança, contêiner e outros sistemas auxiliares.

2.7.2.1. Baterias

Os componentes principais de um BESS são suas células de bateria, encontradas em diversas tecnologias, incluindo as de íons de lítio. Tecnologia é conhecida por seu custo relativamente baixo, estabilidade térmica, longa vida útil, capacidade de carregamento rápido e uso de minerais facilmente acessíveis na natureza (SOUZA, 2022).

No entanto, enfrenta desafios em termos de segurança, já que sobrecargas, danos físicos ou aumento de temperatura, podem causar explosões, ou incêndios nas células. Além disso, interrupções prematuras na descarga podem danificar permanentemente as baterias, o que torna necessário monitorar continuamente a tensão e a temperatura de cada célula de bateria.

2.7.2.2. Sistema de Gerenciamento de Baterias (BMS):

Responsável pelo gerenciamento do banco de baterias. Garante o funcionamento das baterias dentro da faixa de tensão, corrente e temperatura especificadas, garantindo um funcionamento confiável e duradouro.

2.7.2.3. Sistema de conversão de Energia (PCS):

É o responsável por conectar o BESS à rede elétrica. Convertendo corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC) da fonte de energia para o carregamento

da bateria. E de CC para CA, quando necessário descarregar a bateria para alimentar a carga.

2.7.2.4. Sistema de Gerenciamento de Energia (EMS):

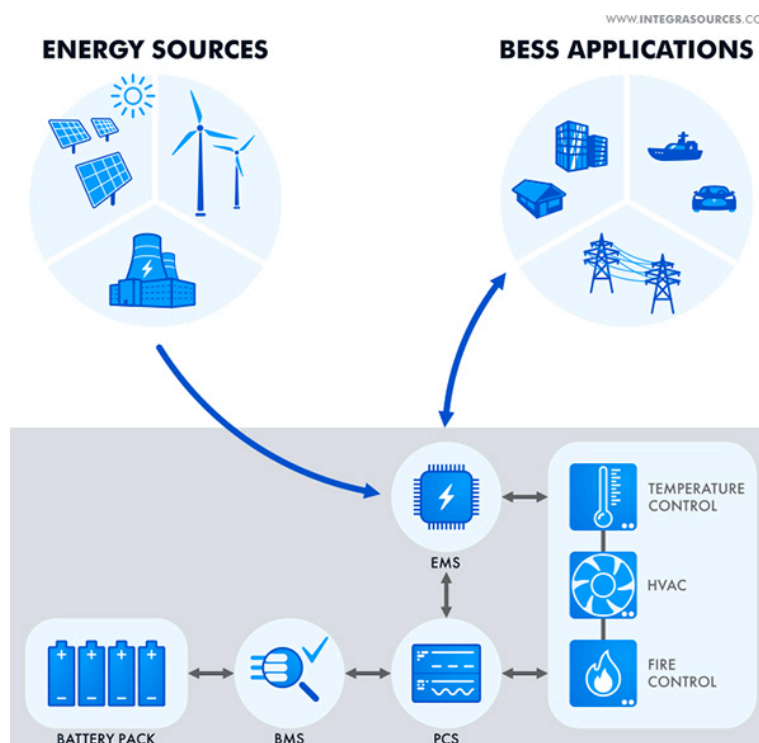
É o sistema responsável pelo monitoramento e operação de todo o sistema. “O EMS pode ser considerado o “cérebro” do sistema, ou seja, uma parte essencial do BESS, em que todas as funções são coordenadas” (SOLOVEV, 2021, N.P.). Dessa maneira, ele concentra todas as informações do sistema, e gerencia a energia disponível, decidindo quando, por qual motivo e em que quantidade acumular ou liberar essa energia.

2.7.2.5. Sistemas de Segurança

Solovev (2021) destaca a possibilidade de existirem sistemas múltiplos de segurança, cada um encarregado por alguma tarefa. Por exemplo, um sistema HVAC regula a temperatura e a umidade de um BESS por meio de aquecimento, ventilação e ar-condicionado, um sistema de proteção contra incêndio que pode detectar fumaça e evitar possíveis incidentes de incêndio.

A Imagem 3 mostra detalhadamente a estrutura típica do BESS:

Imagem 3 – Uma estrutura BESS típica.



Fonte: SOLOVEV (2021)

2.8. Métodos de avaliação econômica

Uma maneira de prever o investimento necessário e o retorno de um projeto é a análise de viabilidade financeira. Com esse estudo, pode ser determinado se o tempo e dinheiro a serem investidos resultarão em um retorno significativo, ajudando a avaliar a continuidade do projeto.

O principal objetivo da análise é diminuir os riscos, evitando que projetos que não garantam o retorno mínimo de lucro sejam realizados (SEBRAE, 2019). Dessa forma, a empresa não tem o risco de iniciar a um projeto, e no meio dele, perceber que terá apenas prejuízos.

Portanto, devem ser analisados diversos indicadores, sendo os principais: taxa mínima de atratividade (TMA), valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), Payback e o retorno sobre o investimento (ROI).

2.8.1. Retorno sobre o Investimento - ROI

ROI é a abreviação, em inglês, de return on investments, ou seja, retorno sobre investimentos. É um parâmetro importante para a análise econômica de um projeto, permitindo avaliar o retorno financeiro sobre o valor aplicado no investimento inicial (SEBRAE, 2023).

Para o cálculo, deve-se partir do custo inicial e da receita final obtida. Basta reduzir o custo inicial da receita total, e dividir pela pelo custo inicial, e em seguida transformar em porcentagem. Como indica a Equação 1:

$$ROI = \frac{V_1 - V_0}{V_0} * 100 \% \quad (1)$$

Onde:

- V0 = custo inicial
- V1 = receita final

2.8.2. Taxa Mínima de Atratividade - TMA

“A TMA é o mínimo que um investidor ou empresa deseja ganhar ao fazer um investimento. Também significa a taxa máxima que deseja pagar ao fazer um financiamento” (SCHULTZ, 2019, N. P.). Esse conceito representa a taxa de retorno que um investidor considera aceitável para escolher um investimento em vez de outras opções.

Como, por exemplo, ao escolher aplicar um valor “x” em um novo projeto, porém, esse valor já está aplicado em um negócio que rende 14% ao ano. Neste caso, a TMA é de 14% que é o custo de abrir mão dessa aplicação para investir em um novo empreendimento (SCHULTZ, 2019). Assim o novo investimento terá que ter uma taxa de retorno maior, para se tornar viável.

A Taxa Mínima de Atratividade depende de fatores externos e internos, é geralmente obtida analisando três componentes, que são o custo de oportunidade, risco de negócio e a liquidez. Sendo que, uma das formas de avaliar a TMA, é calculando o Valor Presente Líquido (VPL).

2.8.3. Valor presente líquido - VPL

Utilizado para indicar o valor atual de um investimento levando em consideração as taxas de juros para obter a verdadeira noção do valor do dinheiro investido.

Pode ser entendido como a diferença entre o valor presente das entradas e saídas, menos o investimento inicial usando como taxa de desconto a TMA. Segundo Camargo (2017), com o VPL obtém-se a verdadeira noção do valor do dinheiro resgatado no futuro. Pois no cálculo do valor presente líquido leva em consideração a valorização do capital ao longo do tempo, ou seja, ele vai além de uma comparação entre o valor investido com o retorno esperado.

O cálculo do VPL pode resultar em três cenários distintos para o investidor: positivo, neutro ou negativo. Um valor positivo indica que o investimento é viável e proporcionará ganhos financeiros. Um valor neutro do VPL, significa que o investimento não trará lucros nem prejuízos. E caso um valor negativo, indica que o investimento não é economicamente viável.

O cálculo do VPL se dá pela Equação 2:

$$V_{PL} = \sum_{t=1}^n \frac{Fc_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

Onde:

- VPL = Valor Presente Líquido
- FC = fluxo de caixa
- t = momento em que o fluxo de caixa ocorreu
- i = taxa mínima de atratividade
- n = período de tempo

2.8.4. Taxa interna de retorno - TIR

O TIR é uma taxa calculada a partir de uma projeção de receitas geradas por um investimento em um determinado período, quando considera-se que seu Valor Presente Líquido (VPL) é igual a zero (WARREN, 2021). Ou seja, é a taxa de desconto de um projeto ou investimento quando o VPL é igual a zero, o que não representa o lucro do investimento, mas sim o desconto necessário para que o projeto não dê lucro, nem prejuízo.

A Taxa Interna de Retorno reflete a qualidade de um investimento. Os resultados do cálculo do TIR são usados para comparação com a TMA. Se a TIR ultrapassa a TMA de um projeto, isso indica que o mesmo é viável. Se o TIR ficar abaixo, significa que o projeto é inviável. Enquanto, para o TIR igual a TMA, investimento pode não trazer lucros (CAMARGO, 2017).

O cálculo do TIR se dá pela mesma fórmula do VPL, porém o VPL é igual a zero, e a taxa de desconto é a TIR, conforme Equação 3.

$$V_{PL} = \sum_{t=1}^n \frac{Fc_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (3)$$

Onde:

- VPL = 0 (Valor Presente Líquido igual a zero)
- FC = fluxo de caixa
- t = momento em que o fluxo de caixa ocorreu
- TIR = Taxa interna de retorno
- n = período de tempo

2.8.5. Payback

Payback é um cálculo que indica a quantidade de tempo que leva para um investimento se pagar. É uma ferramenta normalmente adotada por empresas e investidores na comparação de projetos e investimentos.

Existem dois tipos de Payback, simples e descontado. No Payback simples não é considerado o valor do dinheiro no decorrer do tempo, calcula-se apenas o valor investido dividido pelo fluxo de caixa médio. Porém, o Payback descontado, leva em conta uma taxa de desconto que considera a desvalorização do dinheiro ao longo do tempo. É calculado pelo somatório dos fluxos de caixa descontados até o momento em que o valor acumulado seja igual ao investimento.

2.8.6. CAPEX e OPEX

“CAPEX é a sigla da expressão inglesa Capital Expenditure, que pode ser definida como Despesas de Capital ou Investimentos em Bens de Capitais. Na contabilidade, uma despesa é considerada um gasto de capital quando o ativo que foi recém-adquirido começa a apresentar as suas despesas com depreciação e amortização. Isso acontece porque segundo as normas de contabilidade, toda empresa deve descontar os seus custos fixos com depreciação e amortização durante a vida útil do ativo.” (DARONCO, 2018)

Logo CAPEX, representa um investimento direcionado a ativos que visam melhorar as operações de um negócio, ampliando a capacidade de atendimento às demandas tanto da empresa quanto de seus clientes. Isso pode incluir aquisições de novos equipamentos, a construção ou ampliação de instalações industriais, entre outros.

Já o OPEX, está associado às despesas decorrentes das atividades cotidianas, abrangendo elementos como encargos tributários, contas, manutenção de equipamentos, e outros gastos relacionados à operação regular de equipamentos.

“OPEX é a sigla do termo em inglês Operational Expenditure. Ao contrário do CAPEX, o foco desse tipo de gasto está nas despesas e dispêndios operacionais, bem como na manutenção de equipamentos da empresa.”
(DARONCO, 2018)

Então, somente a introdução de novos bens é considerada como despesa de capital (CAPEX), enquanto a manutenção contínua desses ativos ao longo do tempo é categorizada como despesas operacionais (OPEX).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. Levantamento do perfil de consumo do IFTO - Campus Palmas

Para o dimensionamento de um sistema de armazenamento de energia em baterias (BESS) em que a finalidade é a arbitragem de energia, é essencial especificar a potência do conversor e a capacidade de armazenamento do banco de baterias. A potência do conversor determina a demanda máxima que pode ser atendida, enquanto a capacidade de armazenamento define a quantidade total de energia que pode ser armazenada no sistema. Além disso, é necessário estabelecer o nível de tensão de conexão do sistema.

Para o levantamento dessas informações, será realizado um levantamento do perfil de consumo do campus. Isso incluirá a análise de dados de consumo das contas de energia durante o período de um ano, de outubro de 2022 a setembro de 2023, e análise de um relatório de consumo do ano de 2016 por software de simulação. Esse estudo detalhado permitirá um dimensionamento mais preciso e eficaz do BESS.

3.1.1. Demanda máxima no horário de ponta

A demanda máxima pode ser definida como a potência máxima requisitada pela carga à rede em um determinado instante. Especificamente, para analisar a demanda máxima durante o horário de ponta, é necessário focar no período entre 18 e 21 horas.

A informação sobre a demanda máxima pode ser obtida diretamente da conta de energia da unidade consumidora. Que detalha a demanda máxima do mês atual e também dos 12 meses anteriores, diferenciando os dados relativos aos horários de ponta e fora de ponta.

Com isso, é possível selecionar a maior demanda em quilowatts (kW) entre o período de um ano, especificamente durante o horário de ponta. A Imagem 4, retirada da na conta de energia, mostra os valores da demanda medida.

Imagem 4 - Consumo faturado e demanda medida dos últimos 12 meses

CONSUMO DOS ÚLTIMOS 12 MESES											
MÊS	CONSUMO FATURADO	DEMANDA MEDIDA	CONS. FAT.	CONSUMO FATURADO	DEMANDA MEDIDA	ERE	DRE	ERE	DRE	CONS.	ERE
SET/23	23.096,43	581,28		126.427,56	661,08			163,17			
AGO/23	21.032,55	508,20		118.080,06	587,16			102,69			
JUL/23	6.802,32	372,96		49.394,10	465,36			134,61			
JUN/23	13.700,61	374,64		85.170,33	444,36			186,90			
MAI/23	17.086,65	419,16		107.299,08	517,44			92,82			
ABR/23	11.691,12	394,80		80.169,39	474,60			116,13			
MAR/23	14.550,48	338,52		89.574,03	407,40			55,86			
FEV/23	12.778,29	379,68		74.310,81	539,28			135,66			
JAN/23	4.858,56	294,84		38.230,08	348,60			177,45			
DEZ/22	9.177,21	351,96		57.796,20	458,64			118,02			
NOV/22	12.793,62	351,12		85.406,79	441,84			77,28			
OUT/22	16.201,92	465,36		112.681,38	577,08			190,89			
SET/22	17.801,70			112.248,57							
	PONTA		INTERME-DIÁRIA	FORA DE PONTA		PONTA		FORA DE PONTA		RESERVADO	

*FATURAMENTO PELA MÉDIA/MÍNIMO

Fonte: FATURA DE ENERGIA (2023)

3.1.2. Consumo médio no horário de ponta

O consumo de energia no horário de ponta se refere à energia utilizada entre as 18 horas e as 21 horas de um dia. Essa informação de consumo está disponível na fatura de energia, onde é apresentada como a energia consumida durante o horário de ponta ao longo do mês, conforme mostrado na Imagem 4, em quilowatts-hora (kWh).

Calculando a média do consumo mensal durante o horário de ponta do mês com maior consumo, considerando o número de dias em que esse horário ocorre no mês, pode-se determinar o consumo diário médio nesse período. Importante para o dimensionamento e o planejamento financeiro do BESS.

3.1.3. Tensão de conexão

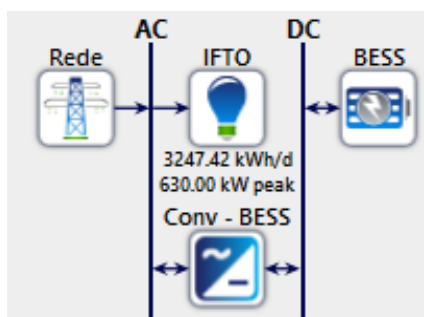
A adequação da tensão de entrada do BESS é crucial para a viabilidade técnica do sistema, garantindo a compatibilidade com a tensão fornecida à unidade consumidora. No caso específico do IFTO - Campus Palmas, um consumidor do grupo A atendido em média tensão, será necessário utilizar um transformador para elevar a tensão de saída do conversor para a média tensão. Para atender a média tensão, alguns fornecedores já integram uma unidade de transformação ao BESS. A informação sobre a tensão de fornecimento da rede para a unidade consumidora está disponível na conta de energia.

3.2. Simulação de viabilidade técnica e econômica no HOMER PRO

A análise da viabilidade técnica e econômica será auxiliada pelo software de simulação HOMER Pro, que otimiza e analisa projetos de sistemas elétricos a serem implementados. Ele integra recursos, perfis de carga e componentes para fornecer soluções de baixo custo e estratégias econômicas que minimizam riscos, facilitando a colaboração entre engenharia e economia.

Para este estudo, utilizou-se apenas os componentes da rede, da carga, das baterias e do conversor, sendo que os dois últimos constituem o BESS, como mostra a imagem 5.

Imagem 5 - Topologia esquemática da configuração do projeto



Fonte: Autoria própria (2024)

3.2.1. TMA e taxa de inflação

Para a simulação, é necessário especificar alguns parâmetros econômicos, a TMA (Taxa Mínima de Atratividade) e a Taxa de Inflação. Normalmente, investidores utilizam a taxa Selic como a TMA, uma vez que ela é um importante indicador da economia brasileira e determina a taxa de juros. Qualquer retorno abaixo dessa taxa pode ser considerado pouco atrativo. De acordo com o Banco Central do Brasil, a taxa Selic para junho de 2024 é de 10,50% ao ano.

Para a taxa de inflação, será utilizado o IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo), produzido pelo IBGE e considerado o índice oficial pelo governo federal. Conforme dados do IBGE, o IPCA acumulado nos últimos 12 meses até junho de 2024 é de 4,23%.

Indicando TMA anual e a taxa de inflação esperada, o HOMER calcula a taxa de desconto real pela Equação 4, que representa o verdadeiro ganho em um investimento, pois subtrai os impactos da inflação:

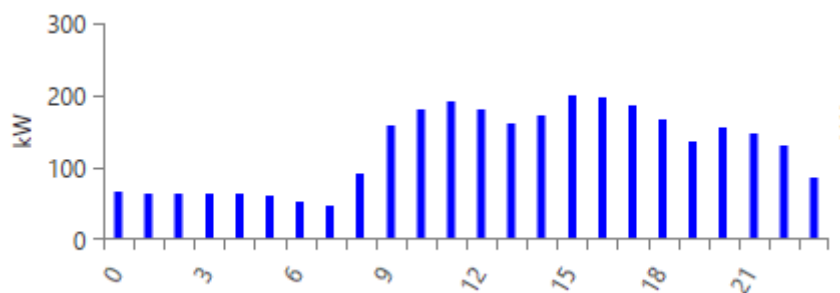
$$taxa\ de\ desconto\ real = \frac{TMA - inflação}{1 + inflação} = \frac{0,105 - 0,0423}{1 + 0,0423} = 6,015\% \quad (4)$$

3.2.2. Modelagem da carga do IFTO

Na modelagem de dados do IFTO - Campus Palmas, será importado para o HOMER um relatório de consumo de 2016 da instituição, que servirá como modelo do perfil de consumo anual. Esses dados serão editados e ajustados para refletir, da forma mais precisa possível, o período de análise deste trabalho, que vai de outubro de 2022 a setembro de 2023.

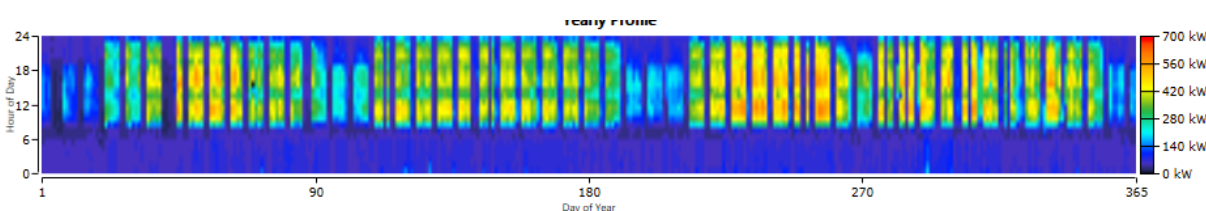
Os Gráficos 3 e 4 ilustram o perfil de carga importado para o software, evidenciando a redução da demanda durante os períodos em que não há aulas na instituição.

Gráfico 3 - Perfil de carga médio diário de 2016 do IFTO - Palmas



Fonte: Autoria própria (2024)

Gráfico 4 - Perfil de carga anual de 2016 do IFTO - Palmas



Fonte: Autoria própria (2024)

Com a importação do perfil de carga, o Homer pede a para indicar a média anual diária de consumo (kWh/dia), para que a demanda e o consumo passe a refletir os valores de acordo com essa média.

Para o período de 1 ano, de outubro de 2022 a setembro de 2023, pelos dados de consumo obtidos na fatura de energia de SET/23, a média anual diária é 3.247,42 kWh/dia. Abaixo, a imagem 6 faz a comparação entre o perfil de carga de 2016, e o espelhamento para o período do estudo.

Imagem 6 - Valores do perfil de carga de 2016, e do período de OUT/22 a SET/23

Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	4,468.1	3,247.4
Average(kW)	186.17	135.31
Peak (kW)	630	457.88
Load factor	.3	.3

Fonte: Autoria própria (2024)

3.2.3. Modelagem da rede de distribuição

No software, é possível adicionar o elemento Grid para modelar a rede de distribuição de energia conectada à carga. A página Grid permite especificar a rede de diferentes maneiras, podendo ser por tarifa simples, por hora do dia ou por postos horários. No caso do IFTO - Campus Palmas, que utiliza a tarifa verde, a rede será configurada com tarifa de energia por postos horários e a tarifa de demanda única, na opção "Scheduled rates" do software.

3.2.3.1. Tarifa de energia

Para um consumidor do grupo A, adepto da tarifa verde, tem-se duas tarifas de energia separadas por postos horários. Elas são facilmente obtidas na conta de energia, com ou sem tributos incluídos. Neste estudo, considerou-se o valor das tarifas com tributos em ambos os horários, de ponta e fora de ponta.

As tarifas de energia utilizadas, será a média dos valores dos meses de junho, julho, agosto e setembro de 2023. Os valores consultados e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Tarifas de energia ponta e fora de ponta

Mês de Referência	Tarifa de energia no Horário de Ponta (R\$/kWh)	Tarifa de energia no Horário Fora de Ponta (R\$/kWh)
jun/23	3,09378	0,45058
jul/23	3,18368	0,41549
ago/23	3,19333	0,41175
set/23	3,19333	0,41175
Média	3,16603	0,4223925

Fonte: Autoria própria (2024)

No HOMER essas serão o preço de compra da energia da rede (grid power price). O preço de revenda (grid sellback price) deve ser definido como zero, pois este estudo foca na arbitragem de energia com o BESS, sem injeção na rede.

Também é necessário especificar os horários de cada tarifa. A tarifa para o horário de ponta será aplicada em um período de 3 horas consecutivas, das 18h às 21h, excluindo dias não úteis como sábados, domingos e feriados.

Para garantir a arbitragem de energia, o BESS será configurado para carregar durante apenas no horário fora ponta e descarregar no período de ponta, ativando as opções "prohibit any battery charging" na tarifa da ponta, e "prohibit any battery discharging" na tarifa da fora ponta.

3.2.3.2. Tarifa de demanda

Além das tarifas de energia por postos horários, o grupo A paga uma taxa pela potência ativa instantânea consumida, com uma tarifa única de demanda na tarifa verde. Essa tarifa, encontrada na conta de energia da unidade consumidora, será usada na modelagem da rede nas simulações e será considerada com tributos incluídos.

Como a tarifa de demanda tem o mesmo valor nos meses das faturas analisadas (junho, julho, agosto e setembro de 2023), o valor da tarifa será definido como R\$55,02 por kW.

3.2.4. Modelagem do BESS

A modelagem do BESS será realizada através dos componentes das baterias e do conversor. Dado que este é um estudo de viabilidade e há dificuldades em obter orçamentos específicos para esses sistemas, serão utilizados modelos genéricos desses componentes para a simulação. Para as baterias, será utilizado o modelo "íon lítio genérico de 1 kWh", e para o conversor, será empregado o "conversor genérico gratuito".

A capacidade de armazenamento do BESS será definida tanto pelo dimensionamento da seção 3.1.2 quanto pelo próprio HOMER, para que os

resultados possam ser comparados. O modelo de bateria genérica de íon-lítio de 1 kWh utilizado possui as seguintes propriedades, que não podem ser alteradas:

- Tensão nominal (V): 6
- Capacidade nominal (kWh): 1
- Capacidade nominal (Ah): 167
- Eficiência de ida e volta (%): 90
- Corrente de carga máxima (A): 167
- Corrente de descarga máxima (A): 500

Outras propriedades, que podem ser editadas, incluem o tempo de vida útil definido em 15 anos, com rendimento de 3 MWh, valores padrões do modelo utilizado. O estado inicial de carga será 100%, e o estado mínimo de carga será 20%, resultando em uma profundidade de descarga de 80%, o que pode influenciar a vida útil do sistema de armazenamento de baterias de lítio.

Para que o HOMER conecte a bateria do barramento CC com a carga CA, é necessário selecionar um conversor, composto por um inversor e um retificador, cuja potência será dimensionada conforme a seção 3.1.1. Ele será responsável por considerar as perdas por conversão, que terá uma eficiência de retificação de 95% e de inversão de 95%, valores padrões que serão mantidos na simulação.

A vida útil do inversor será de 15 anos, semelhante à vida útil das baterias do BESS. A capacidade relativa do retificador será simulada com valores entre 100% e 5%, para identificar a porcentagem de potência que minimiza os custos de demanda durante o carregamento do sistema.

3.2.4.1. CAPEX, OPEX e custos de reposição do BESS

Como as baterias e o conversor fazem parte do BESS, os valores de CAPEX, custos de reposição e OPEX do sistema serão considerados apenas nos custos do componente das baterias. Portanto, não serão adicionados custos ao componente do conversor, que é o PCS do BESS.

Com a utilização de baterias de 1 kWh, os custos do BESS serão definidos em R\$/kWh. Dessa forma, o HOMER poderá dimensionar a capacidade de

armazenamento do sistema para obter o melhor retorno financeiro. Além disso, apenas os custos de CAPEX e OPEX, o custo de reposição não será levado em consideração, pois será analisado apenas o tempo até o final da vida útil das baterias do sistema.

Para o OPEX de sistemas de armazenamento, de acordo com Hoff & Lin (2016) apud THOMÉ (2017), pode ser considerado os percentuais de 0,2%, 2% e 0,2% e 1,2% do CAPEX, para manutenção, reparo, energia auxiliar e gerenciamento do sistema, respectivamente. Por tanto esse custo corresponderá a 3,6% do custo inicial do BESS.

Segundo o relatório de previsão de preços da CEA - Clean Energy Associates (2023), o preço médio de BESS é de US\$256/kWh se fabricado nos EUA (entrega em 2024/25) e US\$218/kWh se fabricado na China (entrega em 2025). Para a simulação, será considerado para o CAPEX o maior custo de US\$256/kWh, que, convertido, equivale a R\$1444,75/kWh, sem custos de importação.

Atualmente, pessoas físicas e jurídicas podem importar até US\$3 mil por operação. Até US\$500, o imposto é de 60% do valor total da compra. Entre US\$500 e US\$3 mil, incidem o ICMS e uma taxa de despacho aduaneiro de R\$150. Acima de US\$3 mil, a compra é considerada de pessoa jurídica, sendo tarifada conforme o Imposto de Importação, IPI, PIS e Cofins (MÁXIMO, 2023). Como o preço do BESS ultrapassa US\$3 mil, usou-se um imposto simplificado de 60% sobre o valor aduaneiro (bens, frete e seguro) e ICMS de 17%, conforme indicado pela Receita Federal. Para fins de comparação, a simulação será realizada considerando os valores com e sem tributos, conforme mostrado na tabela 6.

Tabela 6 – CAPEX e OPEX

	CAPEX	OPEX - 3,6% do CAPEX
Sem tributos	R\$1444,75/kWh	R\$52,01/kWh
Com tributos	R\$2704,57/kWh	R\$97,36/kWh

Fonte: Autoria própria (2024)

3.3. Viabilidade Técnica

A viabilidade técnica será avaliada por meio da validação de dispositivos que estão presentes em um BESS, verificando se atendem às necessidades específicas do IFTO - Campus Palmas. Esta análise incluirá a capacidade de armazenamento e potência de conversão do sistema, os parâmetros necessários para a conexão com a rede elétrica e as normas regulamentadoras para segurança e viabilidade local.

3.3.1. Capacidade de armazenamento e potência de conversão do sistema

O sistema de armazenamento de energia proposto neste estudo visa compensar o consumo durante o horário de ponta, conforme sua capacidade de armazenamento dimensionada. Porém, é crucial considerar a degradação gradual da capacidade de armazenamento das baterias ao longo dos anos, uma vez que esta diminui progressivamente. O estado de carga da bateria pode chegar a 100%, mas deve ser descarregada até, no máximo, 20%. Portanto, apenas 80% da capacidade da bateria pode ser utilizada.

É fundamental considerar as perdas associadas aos processos de carga e descarga das baterias, assim como a conversão de energia realizada pelos inversores e retificadores, pois esses fatores também influenciam a eficiência do sistema. O conversor de energia desempenha um papel fundamental ao transformar a energia armazenada nas baterias em energia utilizável pela carga conectada ao sistema. Ele realiza essa conversão tanto de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) por meio do inversor, quanto vice-versa pelo retificador.

A potência do conversor precisa ser dimensionada de forma compatível com a demanda máxima de potência ativa do sistema de armazenamento de energia (BESS), para evitar compras da rede no horário de funcionamento do BESS. Pela simulação pode ser visto a demanda máxima e a demanda média solicitada do conversor pela carga, possibilitando analisar a viabilidade do conversor.

O dimensionamento inicial da capacidade do BESS será determinado pela simulação no HOMER levando esses fatores em consideração, otimizado para o melhor resultado possível.

3.3.2. Parâmetros de conexão com a rede

A validação da conexão do BESS com a carga será realizada comparando os dados de saída do sistema de armazenamento com o ponto de conexão da carga. É essencial que a tensão de saída do BESS corresponda à tensão de conexão da carga, evitando a necessidade de ajustes no ponto de conexão. Assim, é importante garantir as proteções adequadas para que o BESS não interfira na medição do consumo da rede, nem cause distúrbios que possam afetá-la, evitando desgastes e problemas com a concessionária.

3.3.3. Segurança e viabilidade local

Apesar de não existirem normas regulamentadoras para os sistemas de armazenamento de energia com baterias, por serem tecnologias recentes, é importante prezar pela segurança técnica e coletiva no local onde o sistema será implementado. Para isso, é necessário atentar-se, por exemplo, aos parâmetros de conexão com a rede e suas proteções, conforme citados na seção 3.3.2.

Para validar a segurança e a viabilidade local, serão avaliadas as necessidades para a implementação do sistema, incluindo a necessidade de aterramento e SPDA local, proteção contra incêndios, sistema de supervisão e controle remotos, e adequações civis que melhorem o uso do espaço utilizado para o sistema e garantam a segurança técnica e coletiva.

3.4. Parâmetros para análise econômica

Os parâmetros utilizados para a análise da viabilidade econômica nas simulações foram descritos na seção 2.8. Além da análise técnica, a principal função do HOMER é comparar economicamente diferentes cenários. Neste estudo, serão analisados cinco casos: dois sem considerar os impostos sobre o BESS, sendo um com a capacidade de armazenamento capaz de atender todo o horário de ponta e outra com um capacidade que tem o menor custo presente líquido, outras duas simulações considerando os impostos e mudando a capacidade de armazenamento do mesmo jeito, e um caso base, que é a simulação do sistema apenas com a rede, sem o BESS.

O HOMER faz a comparação dos casos levando em consideração o custo presente líquido (CPL), que inclui o custo de capital inicial (CAPEX), o custo operacional (OPEX) e o custo de energia (COE). O sistema com o menor custo ao final do tempo do projeto é considerado o mais viável financeiramente. A diferença de custos entre o caso com menor custo final e o custo do caso base é o Valor Presente Líquido (VPL) da simulação.

No entanto, para uma análise econômica mais precisa, é necessário considerar outros indicadores econômicos fornecidos pelos resultados da simulação. Entre esses indicadores estão o payback simples e descontado, que indicam o tempo necessário para recuperar o investimento; a Taxa Interna de Retorno (TIR), que deve ser comparada com a TMA para refletir a qualidade do investimento; e o Retorno sobre o Investimento (ROI), que avalia a lucratividade do sistema.

4. RESULTADOS

4.1. Dimensionamento do sistema de armazenamento

4.1.1. Demanda no horário de ponta

O valor máximo da demanda registrada no horário de ponta, que é fundamental para determinar a potência do conversor, foi obtido através do procedimento descrito na Seção 3.1.1. Utilizando a fatura de energia de setembro de 2023, foi possível consultar a demanda máxima ao longo de um ano. Conforme ilustrado na Imagem 4, entre outubro de 2022 e setembro de 2023, a maior demanda no horário de ponta atingiu 581,28 kW. Com base nesse dado, a potência do conversor foi definida em 600 kW, garantindo assim que toda a demanda no horário de ponta seja atendida.

4.1.2. Capacidade armazenamento para o horário de ponta

Conforme descrito no procedimento da seção 3.1.2, ao consultar o consumo mensal na fatura de energia de referência, como ilustrado na Imagem 4, foi possível identificar que o mês com maior consumo de energia elétrica durante o horário de ponta totalizou 23.096,43 kWh. Considerando que o horário de ponta abrange apenas os dias úteis, tem-se 20 dias úteis no mês, resultando em um consumo médio diário máximo de 1.154,83 kWh durante o horário de ponta.

Para atender a todo o consumo do horário de ponta ao longo da vida útil do sistema, é necessário considerar vários fatores: a profundidade de descarga e a eficiência de carga e descarga das baterias, a eficiência do conversor de energia, e a capacidade de armazenamento das baterias ao final de sua vida útil. Os parâmetros considerados na simulação são os seguintes:

- Eficiência de conversão do conversor: 95%
- Eficiência de carga e descarga das baterias: 90%

- Profundidade de descarga das baterias: 80%

Esses dados estão configurados nos componentes da simulação, exceto a capacidade de armazenamento ao final da vida útil, que será considerada como 100%. A capacidade inicial de armazenamento do sistema foi calculada usando a equação 5:

$$\text{Armazenamento inicial} = \frac{\text{Consumo diário}}{\text{Eficiência 1} * \text{Eficiência 2} * \text{Profundidade de descarga}} \quad (5)$$

Substituindo os valores na equação 5.1:

$$\text{Armazenamento inicial} = \frac{1.154,83}{0,95 * 0,9 * 0,8} = \frac{1.154,83}{0,684} = 1.688,35 \text{ kWh} \quad (5.1)$$

O resultado obtido, 1.688,35 kWh, representa a capacidade de armazenamento necessária para garantir que as baterias possam armazenar energia suficiente para suprir o consumo diário durante o horário de ponta.

4.1.3. Tensão de conexão

Conforme mencionado no item 3.1.3, a tensão de conexão do BESS deve corresponder ao nível de tensão de fornecimento da unidade consumidora. Este valor pode ser encontrado na própria fatura de energia. Assim, determina-se que a tensão é de 13,8 kV, conforme mostrado na Imagem 7, retirada da fatura de energia.

Imagem 7 - Dados da conta de energia elétrica do IFTO

ROTEIRO: 081 - 0122 - 901 - 5023			
MATRÍCULA: 0000216978-2023-09-8			
DOM. BANC.:			DOM. ENT.:
SEGUNDA VIA			
Classificação: MTV-MOD.TARIFÁRIA VERDE / A4 PODER PÚBLICO / POD. PÚB. FEDERAL		LIGAÇÃO: TRIFASICO	
TENSÃO NOMINAL EM VOLTS	DISP:	13800	Lim. Min.: 12834 Lim. Max.: 14490
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO CIENCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS			

Fonte: FATURA DE ENERGIA (2023)

4.2. Simulação do BESS

Com a modelagem estabelecida no capítulo 3.2, o BESS foi simulado para avaliar tanto a viabilidade técnica quanto, principalmente, a viabilidade econômica. A potência do conversor utilizada foi determinada pelo dimensionamento descrito no capítulo 4.1.1.

Foram conduzidas quatro simulações, variando o preço do kWh e a capacidade de armazenamento do sistema. Considerou-se o preço do kWh tanto com quanto sem tributos, conforme especificado no capítulo 3.2. da metodologia. No que diz respeito à capacidade de armazenamento, realizou-se simulações do BESS com duas abordagens distintas: uma com capacidade suficiente para atender o consumo durante todo o horário de ponta, conforme definido na seção 4.1.2, e outra com a capacidade dimensionada pelo HOMER, visando identificar o sistema que oferece o melhor retorno financeiro.

4.3. Viabilidade técnica

Os resultados da viabilidade técnica do projeto foram avaliados por meio de uma análise local e técnica para a implementação do Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias (BESS), considerando tanto as simulações realizadas quanto às condições reais encontradas durante o desenvolvimento do projeto.

4.3.1. Potência do Conversor

Conforme o item 4.1.1, a potência do conversor foi estabelecida em 600 kW, tomando como referência o pico de demanda registrado no horário de ponta na fatura do IFTO - Campus Palmas. Esse valor foi intencionalmente sobredimensionado por razões técnicas de segurança e para atender a situações opcionais, como quando a carga eventualmente ultrapassar o pico de consumo

registrado em faturas anteriores (581,28 kW). Dessa forma, evita-se o consumo de energia da rede e a incidência da tarifa de horário de ponta na conta.

O conversor será ajustado para não exceder a demanda contratada durante o carregamento, enquanto ainda possibilita carregar o sistema de baterias no momento mais favorável durante o horário fora de ponta, evitando assim a aplicação de multas por parte da concessionária ao ultrapassar o limite estabelecido. Com uma eficiência de 95%, este conversor será suficiente para atender às necessidades do projeto.

4.3.2. Conexão da rede

No IFTO - Campus Palmas, o uso do BESS será destinado para o horário de ponta, sendo necessário atender todas as cargas naquele período. Dessa forma, como será utilizado a energia da própria rede elétrica, é preciso fazer a conexão do BESS na subestação de entrada, que é atendida em média tensão, sendo necessário um posto de transformação para carregamento das baterias. A maioria dos fornecedores já integram uma unidade de transformação ao BESS, portanto a conexão da rede ao Sistema de Armazenamento de Energia (BESS) será feita em média tensão, conforme estabelecido na seção 3.1.3.

Por ser um sistema bastante novo, ainda em P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), e ainda não haver normas reguladoras, a concessionária enxerga o sistema como uma carga “normal”. Dessa forma, a conexão precisa ser feita entre o sistema de medição e os transformadores das subestações que a alimentam as cargas, assim se comportando como uma carga também, para que não haja interferência na medição aferida pela concessionária, conforme critério de Conexão em Média Tensão de Acessantes de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição em MT e medição em MT, estabelecido na NDU 015 da Energisa, esquematizado na Imagem 8.

Imagem 8 - NDU 015 Energisa 8.9.2 - Conexão em MT e medição em MT



Fonte: Energisa (2024, adaptação)

4.3.3. Proteção (Inversão de Fluxo)

O BESS é equipado com proteções integradas, incluindo contra sobretensão, subtensão, sobrecorrente, curto-circuito e sobrecarga, além de mecanismos para lidar com falhas esporádicas e outras proteções específicas a serem definidas conforme as particularidades do projeto.

O relé de proteção contra inversão de fluxo é um item importante e necessário a ser exigido na particularidade deste projeto, onde a direção do fluxo de energia deve ser as cargas do IFTO- Campus Palmas, assim não podendo haver injeção de energia na rede. Dessa forma, ele atuará caso haja essa inversão de fluxo, evitando que haja danos em equipamentos, garantindo a segurança e eficiência do sistema.

4.3.4. Aterramento e SPDA

Embora o BESS venha completo em diversos aspectos, sua integração ao sistema local exigirá uma adequação elétrica importante para instalações desse porte. O aterramento de todos os componentes do BESS, assim como de toda a

estrutura e as adequações realizadas, será fundamental para proteger o sistema como um todo, garantindo a segurança operacional e prevenindo falhas. Para isso, podem ser aplicadas normas nacionais de aterramento, como a NBR 5410:2004 da ABNT, que trata de instalações elétricas de baixa tensão, em conjunto com a NBR 14039, também da ABNT, que aborda instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV, considerando que o sistema contará com um posto de transformação integrado.

O SPDA do BESS é essencial, pois o sistema será instalado em um local aberto e público, devendo seguir as diretrizes da NBR 5419 da ABNT, que abrange todos os aspectos de proteção contra descargas atmosféricas. Dessa forma, a combinação do SPDA com o aterramento do sistema aumentará a proteção, tornando-o mais seguro e confiável.

4.3.5. Proteção contra Incêndios

No âmbito legal, a Lei nº 13.425/2017 torna obrigatória a proteção contra incêndios em todos os locais de uso coletivo. No que diz respeito às instalações elétricas, a norma ABNT NBR 5410:2004 complementa essa exigência ao reforçar as medidas de proteção contra incêndios. Considerando que o IFTO-Campus Palmas é um órgão público, todas essas normas devem ser observadas na implementação do sistema. Embora a parte interna do sistema já venha de fábrica com os dispositivos de proteção contra incêndio, é necessária a adequação na área externa da construção para atender às exigências normativas.

4.3.6. Supervisão e Controle remotos

Sistemas de supervisão e controle são ferramentas utilizadas para monitorar, controlar e gerenciar processos em diferentes tipos de sistemas. Dessa forma, a integração do sistema de gerenciamento e controle já incluídos no BESS, composto pelo EMS, BMS e PCS, pode ser adequado e integrado ao SCADA (Controle de

Supervisão e Aquisição de Dados), permitindo a coleta dados em tempo real e o controle remoto do BESS, conforme as especificações particulares do projeto, assegurando uma gestão mais eficiente do sistema, otimizando as manutenções e proporcionando benefícios tanto a curto quanto a longo prazo.

4.3.7. Adequação Civil

A adequação civil para a implementação do BESS no IFTO - Campus Palmas é necessária, considerando que um novo ativo será conectado ao sistema local existente. Para reduzir custos, podem ser realizadas adaptações que minimizem as despesas nesta parte do projeto. Com uma adequação no local, haverá uma infraestrutura adequada para suportar todo o sistema, ambiente seguro, proteção contra condições climáticas adversas, cumprimento de normas e regulações, integração eficiente com sistema local, acessibilidade e manutenção seguros com áreas apropriadas. O DMSL (Departamento de Manutenção de Subestações e Linhas) da Energisa Tocantins disponibilizou uma lista base de mão-de-obra para adequações civis de bases de ativos elétricos instalados nos pátios de subestações transmissoras no Estado do Tocantins, para embasamento do projeto, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Lista base de mão-de-obra para adequações civis em subestações.

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	Und.
Mobilização de mão-de-obra e equipamentos	ud
Registro e licenças para construção da obra CREA/ DRT / PREFEITURA/BOMBEIROS...	sv
Obtenção de alvará de segurança contra incêndio e emergência da SE	sv
Fornecimento e Instalação de Placas de Identificação da obra e sinalização de equipamentos e segurança	sv
Desmobilização	ud
As-built do projeto civil e Eletromecânico da SE	sv
Desmatamento, destocamento e limpeza da área	m ²
Remoção do solo vegetal (camada de 30cm)	m ³
Aterro e compactação de solo	m ³

Retirada do Material (Todo material oriundo da atividade de Terraplanagem na área da SE)	sv
Construção de muro de alvenaria h=2,40 (incluso o fornecimento e instalação de concertina)	m
Desmobilização de mão-de-obra e equipamentos para execução de terraplanagem e muro	ud
Execução de sistema de drenagem (dreno de brita com tubo PEAD perfurado e manta bidim, dreno cego com manta bidim, meia cana de concreto, caixa de drenagem, boca de lobo e dissipadores)	sv
Britamento do pátio (com meio-fio)	m ²
Fornecimento e instalação de portões da SE (5,20x2,40 m)	ud
Construção de Abrigo de Extintor	ud
Base concreto reforçada para GMG/SAE	ud
Construção de Canaletas tipo C2 - Reforçada (área interna 80x60cm)	m
Instalação de SPDA	sv
Execução de malha de aterramento em cabos CU Nú 70mm e hastes 5/8x2400mm	m ²
Aterramento de pórticos e equipamentos	sv
Lançamento de cabos de força e controle	sv
Instalação de luminárias, rede de alimentação e tomadas de pátio	sv

Fonte: ENERGISA TOCANTINS (2024)

4.4. Viabilidade econômica

A análise de viabilidade econômica do sistema de armazenamento de energia (BESS) foi conduzida com base em diferentes cenários, conforme descrito nos capítulos 3.4 e 4.2. O BESS foi simulado para duas capacidades de armazenamento distintas: uma destinada a atender todo o consumo no horário de ponta e outra dimensionada pelo HOMER, buscando o melhor retorno financeiro. Em ambos os casos, consideraram-se os custos com e sem a incidência de impostos. Além disso, o software HOMER simulou um caso base, no qual a carga é atendida apenas pela rede elétrica, sem o uso de BESS.

A Tabela 8 apresenta os dados econômicos das simulações, incluindo o Custo Presente Líquido (NPC), o CAPEX, os custos operacionais anuais (OPEX) e o custo médio por kWh de energia elétrica (LCOE) para os diferentes cenários.

Tabela 8 – Desempenho Econômico em Diferentes Cenários

	SEM IMPOSTOS		COM IMPOSTOS		CASO BASE (SEM O BESS)
	1.688 kWh	1.015 kWh	1.688 kWh	213 kWh	
Tamanho do BESS	1.688 kWh	1.015 kWh	1.688 kWh	213 kWh	-
NPC (R\$)	R\$ 11,1M	R\$ 10,6M	R\$ 14,0M	R\$ 11,3M	R\$ 11,6M
CAPEX (R\$)	R\$ 2,44M	R\$ 1,47M	R\$ 4,57M	R\$ 576.073	-
OPEX (R\$/ano)	R\$890.928	R\$942.413	R\$967.479	R\$1,11M	R\$ 1,19M
LCOE (R\$/kWh)	R\$ 0,9637	R\$ 0,9226	R\$ 1,21	R\$ 0,9863	R\$ 1,01

Fonte: Aatoria própria (2024)

Na análise dos resultados, verificou-se que a simulação do BESS com capacidade para atender todo o horário de ponta, sem a incidência de impostos, resultou em um NPC de R\$11,1 milhões e um CAPEX de R\$2,44 milhões. Em contrapartida, a simulação com impostos elevou o NPC para R\$14,0 milhões, com um CAPEX de R\$4,57 milhões. Esse aumento de R\$2,13 milhões no CAPEX, devido à carga tributária, compromete significativamente a viabilidade econômica do projeto, podendo torná-lo inviável.

Nos cenários onde a capacidade do BESS foi dimensionada para maximizar o retorno financeiro, observou-se que sistemas com capacidade reduzida, que não atendem todo o consumo no horário de ponta, apresentam resultados econômicos mais favoráveis, tanto com quanto sem a incidência de impostos. Isso sugere que, em alguns casos, dimensionar o BESS para uma capacidade menor pode otimizar o investimento e melhorar a viabilidade econômica do projeto.

Tabela 9 – Comparação com o caso base

Capacidade de armazenamento	SEM IMPOSTOS		COM IMPOSTOS	
	1.688 kWh	1.015 kWh	1.688 kWh	213 kWh
VPL	R\$484.525	R\$945.859	-R\$2.384.777	R\$224.907
ROI	5,7%	12,5%	-1,7%	7,7%

Capacidade de armazenamento	SEM IMPOSTOS		COM IMPOSTOS	
	1.688 kWh	1.015 kWh	1.688 kWh	213 kWh
TIR	8,9%	17,5%	-	11,5%
Payback simples	8,09 anos	5,22 anos	-	6,98 anos
Payback descontado	11,43 anos	6,45 anos	-	9,32 anos

Fonte: Autoria própria (2024)

A Tabela 9 compara os diferentes cenários com o caso base. O Valor Presente Líquido (VPL) é um dos principais indicadores de viabilidade financeira. No cenário sem impostos, tanto o sistema recomendado pelo HOMER (1.015 kWh) quanto o sistema dimensionado para atender todo o horário de ponta (1.688 kWh) apresentaram VPL positivo, com o sistema de 1.015 kWh sendo o mais lucrativo. No entanto, no cenário com impostos, apenas o sistema recomendado pelo HOMER (213 kWh) manteve um VPL positivo, enquanto o sistema com 1.688 kWh apresentou um VPL negativo de R\$ 2,384 milhões, indicando inviabilidade econômica.

Em termos de Retorno sobre o Investimento (ROI) e Taxa Interna de Retorno (TIR), os cenários dimensionados pelo HOMER se destacaram. O cenário de 213 kWh com impostos apresentou melhores taxas do que o cenário de 1.688 kWh sem impostos. O sistema de 1.015 kWh sem impostos obteve a melhor TIR, de 17,5%, superando a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 10,5%, indicando alta viabilidade. O cenário de 213 kWh com impostos também apresentou uma TIR positiva de 11,5%, superior à TMA, sugerindo viabilidade. Por outro lado, o cenário de 1.688 kWh sem impostos teve uma TIR de 8,9%, abaixo da TMA, apontando para uma viabilidade limitada, enquanto o sistema de 1.688 kWh com impostos teve um desempenho negativo, evidenciado pelo ROI negativo.

Os indicadores de payback reforçam esses resultados. O menor tempo de retorno simples foi de 5,22 anos no cenário de 1.015 kWh sem impostos, enquanto o cenário de 213 kWh com impostos teve um payback simples de 6,98 anos. O

payback descontado para esses mesmos cenários foi de 6,45 e 9,32 anos, respectivamente, evidenciando o impacto significativo dos impostos na viabilidade econômica do BESS.

Para o sistema com capacidade de 1.688 kWh sem impostos, o payback simples de 8,09 anos, enquanto o payback descontado foi de 11,43 anos, ambos indicando que o sistema demora mais tempo para se pagar, comparado aos cenários de menor capacidade. No entanto, no cenário de 1.688 kWh com impostos, o sistema não atingiu o ponto de retorno, ou seja, não houve payback.

5. CONCLUSÕES

Este estudo explorou as particularidades dos Sistemas de Armazenamento de Energia em Baterias (BESS), com destaque nos que utilizam baterias de íons de lítio como método de armazenamento. Foram abordadas as principais propriedades e aplicações desses sistemas. O objetivo central do trabalho foi avaliar a viabilidade técnica e econômica da implementação de um BESS no IFTO - Campus Palmas, buscando oferecer uma solução eficaz para a redução dos custos com energia elétrica na instituição.

Na análise da viabilidade técnica, às necessidades encontradas foram cruciais para determinação da viabilidade econômica, visto que os parâmetros avaliados são de suma importância para segurança técnica e coletiva do sistema. Dessa forma, o BESS a ser implementado necessitará das exigências determinadas na seção 4.3, visto que todas elas foram compatibilizadas com as instalações já existentes no IFTO - Campus Palmas. Conclui-se que desde que o sistema cumpra com as exigências técnicas locais viabilizadas neste trabalho, o sistema é apto para ser implementado no IFTO - Campus Palmas, com segurança técnica e coletiva.

Para a análise de viabilidade econômica, foram utilizados parâmetros amplamente reconhecidos em finanças, incluindo o Valor Presente Líquido (VPL), Retorno sobre o Investimento (ROI), Taxa Interna de Retorno (TIR), e payback. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) foi estabelecida em 10,5%, com base na taxa Selic de junho de 2024, conforme descrito na seção 3.2.1. Os resultados indicam que um sistema dimensionado para atender todo o consumo no horário de ponta é inviável, mesmo sem a incidência de impostos sobre o BESS. No entanto, sistemas com menor capacidade, que cobrem apenas parte do consumo nesse período, demonstram retorno positivo ao longo dos 15 anos, que é a vida útil prevista do BESS.

Para o sistema dimensionado pelo HOMER sem a consideração de impostos, a capacidade de armazenamento escolhida foi maior em comparação àquela que considera os impostos, devido ao menor custo por kWh. Entretanto, o sistema

recomendado para o IFTO deve levar em conta a incidência de impostos, resultando em na capacidade de 213 kWh, como melhor opção. Este cenário se mostrou economicamente viável, indicando que o capital investido no BESS será recuperado dentro de sua vida útil.

5.1. Sugestões para trabalhos futuros

Com o crescimento significativo dos veículos elétricos e dos postos de recarga rápida, a tecnologia associada a esses sistemas está se tornando cada vez mais comum na sociedade, com o objetivo de reduzir custos e aumentar a sustentabilidade.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de um estudo focado na relação entre a energia elétrica e o meio ambiente, analisando as formas de descarte das baterias de sistemas de armazenamento de energia, tanto de veículos quanto de sistemas armazenamentos de energia em baterias no geral, promovendo a sustentabilidade global. Seguindo nos descartes das baterias, sugere-se que realize um estudo para implementação de sistema de armazenamento de energia em baterias estacionárias recondicionadas após seu fim de vida útil.

Outra linha de pesquisa interessante seria investigar a integração de sistemas de armazenamento de energia por baterias alimentados por energia solar, explorando a combinação entre tecnologias de armazenamento e fontes de energia renovável. Essas abordagens podem contribuir significativamente para a redução do impacto ambiental e a otimização do uso de recursos energéticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2W ECO BANK. **Você sabe o que é demanda contratada?**. [S. l.]: 2W ECO BANK. Disponível em: <<https://2wecobank.com.br/voce-sabe-o-que-e-demanda-contratada/#:~:text=S%C3%A3o%20as%20tarifas%20diferenciadas%20de,hor%C3%A1rio%20de%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20do%20dia>>. Acesso em: 6 nov. 2023.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5410:2004 - Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. (Parte 1 a 4).

ANEEL. **Modalidades Tarifárias. Brasil**. ANEEL, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>>. Acesso em: 29 out. 2023.

ANEEL. **Postos Tarifários. Brasil**. ANEEL, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/postos-tarifarios>>. Acesso em: 5 nov. 2023.

ANEEL. **Procedimentos de Regulação Tarifária - Proret- módulo 7: Módulo 7: Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição**. Brasil: ANEEL, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/proret>>. Acesso em: 5 nov. 2023.

ANEEL. **Sobre Bandeiras Tarifárias. Brasil**. ANEEL, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 1 nov. 2023.

AKINYELE, D. O. *et al.*, Review of Energy Storage Technologies for Sustainable Power Networks, **Journal of Sustainable Energy Technologies and Assessments**, Nova Zelândia, Julho, 2014. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2014.07.004>>. Acesso em: 31 de out. 2023.

ARMAZENAMENTO DE ENERGIA. Gold Energy, s. d. Disponível em: <<https://goldenergy.pt/glossario/armazenamento-energia/>>. Acesso em: 31 de out. 2023.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxas de juros básicas – Histórico**. Brasil: Banco Central do Brasil, 2024. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>>. Acesso em: 20 jul. 2024.

BARONTINI, Francesco. **Baterias de chumbo-ácido e Ni-Mh: o que são e como funcionam**. Tradução: CESAR, Julio. Inside EVs, 06 de ago. 2023. Disponível em: <<https://insideevs.uol.com.br/news/680518/baterias-chumbo-acido-funcionamento-autonomia/>>. Acesso em: 04 de nov. 2023.

BAUM, Zach. **A próxima onda de crescimento: tecnologias de reciclagem de baterias de íons de lítio.** [S. l.]: CAS – American Chemical Society, 2021. Disponível em: <<https://www.cas.org/pt-br/resources/cas-insights/materials/next-growth-wave-lithium-ion-battery-recycling-technologies>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

BLOG.ESFERA. **Horário de ponta e fora de ponta: entenda a diferença.** [S. l.]: Blog.Esfera, 2023. Disponível em: <<https://blog.esferaenergia.com.br/mercado-livre-de-energia/horario-ponta-e-fora-ponta>>. Acesso em: 7 nov. 2023.

BRASIL. **Lei nº 13.425, de 30 de março de 2017.** Estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13425.htm>. Acesso em: 6 de ago. 2024.

BU-205: Types of Lithium-ion. Battery University, 22 de out. 2021. Disponível em: <<https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>>. Acesso em: 11 de nov. 2023.

CAMARGO, Renata Freitas. **Estudo de Viabilidade Econômica e Financeira de projetos: como a Análise de Viabilidade Econômica e Financeira contribui para manter as surpresas longe de seu negócio.** [S. l.]: Treasy, 2017. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/estudo-de-viabilidade-economica-e-financeira-de-projetos/>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

CAMARGO, Renata Freitas. **Com o cálculo do Valor Presente Líquido é possível fazer os ajustes, descontando as taxas de juros para obter a verdadeira noção do valor do dinheiro no futuro.** [S. l.]: Treasy, 2017. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/valor-presente-liquido-vpl/>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CAMARGO, Renata Freitas. **Taxa Interna de Retorno: como a TIR é aplicada na análise de viabilidade de investimento em um projeto?** [S. l.]: Treasy, 2017. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/taxa-interna-de-retorno-tir/>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CEA – CLEAN ENERGY ASSOCIATES. **BESS Price Forecasting Report Q3 2023.** [S. l.]: Clean Energy Associates, 2023. Disponível em: <<https://info.cea3.com/hubfs/CEA%20BESS%20PFR%202023%20Q3%20Executive%20Summary.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2024.

CHARGAS, Eduardo. **CAPEX E OPEX: Entenda Diferenças E Qual Escolher Para Sua Empresa.** [S. l.]: 4Cinco. Disponível em: <<https://4cinco.com/capex-e-opex-entenda-diferencas-e-qual-escolher-para-sua-empresa/#:~:text=Qual%20a%20diferen%C3%A7a%20entre%20CAPEX,s%C3%A3o%20despesas%20de%20curto%20prazo>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CHEN, Haisheng *et al.*, Progress in Electrical Energy Storage System: A critical Review, **Journal of Progress in Natural Science**, China, Julho, 2008. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.07.014>>. Acesso em: 31 de out. 2023.

CLARKE ENERGIA. **O que é TE e TUSD na conta de luz?** [S. l.]: Clarke Energia, 2020. Disponível em: <<https://clarke.com.br/o-que-e-te-e-tusd-na-conta-de-luz/#:~:te>>

xt=A%20TE%20est%C3%A1%20relacionada%20ao,sua%20casa%2C%20atrav%C3%A9s%20dos%20postes>. Acesso em: 29 out. 2023.

DARONCO, José. **CAPEX e OPEX: o que é e quais as diferenças**. Suno, 04 de abr. 2018. Disponível em: <https://www.suno.com.br/artigos/capex/>. Acesso em: 18 de nov. 2023.

DOBIES, José. **Sistema de monitoramento de baterias Íon-Lítio**. Orientador: André Alves. 2022. 63 f. TCC (Graduação) - Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, Conselho de Curso de Graduação, Universidade Estadual Paulista, São João da Boa Vista, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/items/9d755f26-a3cb-464e-8324-128d67a4e3ae>>. Acesso em: 10 de nov. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Mudanças climáticas e transição energética**. Brasil: EPE. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/clima-e-energia>>. Acesso em: 1 nov. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Sistemas de Armazenamento em Baterias: Aplicações e Questões Relevantes para o Planejamento**. Brasil: EPE, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-441/EPE-DEE-NT-098_2019_Baterias%20no%20planejamento.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2023.

ENERGISA. **Normas Técnicas**. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/normas-tecnicas.aspx>>. Acesso em: 4 de ago. 2024.

FABRICIO, Fabiano. **Grupo Tarifário de Energia: Quais são e sua importância!**. [S.l.]: CUBI Energia, 2021. Disponível em: <<https://www.cubienergia.com/grupo-tarifario-de-energia/#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20um%20Grupo,A%20e%20o%20Grupo%20B>>. Acesso em: 29 out. 2023.

GOMES, Amanda M. F. **Avaliação de viabilidade técnica e econômica de sistemas de armazenamento de energia de pequeno porte associados a geradores solares fotovoltaicos residenciais**. Florianópolis : UFSC, 2022. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/244047/PECV1292-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

GOMES, Orlando. **Pilhas e Baterias: Baterias de níquel-cádmio**. Wordpress, s.d. Disponível em: <<https://pilhasebaterias.wordpress.com/baterias-de-niquel-cadmio/>>. Acesso em: 04 de nov. 2023.

HOMER. **Documentação HOMER Pro 3.15**. Disponível em: <<https://homerenergy.com/products/pro/docs/3.15/index.html>>. Acesso em: 25 jan. 2024.

IBGE. **Inflação**. Brasil: IBGE, 2024. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>>. Acesso em: 20 jul. 2024.

IBGE. **IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo: Variação mensal durante o Plano Real (%), julho 1994 - junho 2024**. Brasil: IBGE, 2024.

Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?t=series-historicas&utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=inflacao#plano-real-mes>. Acesso em: 20 jul. 2024.

INSTITUTO FEDERAL DO TOCANTINS. **Institucional**. Tocantins: IFTO, 2018. Disponível em: <<http://www.ifto.edu.br/palmas/aceso-a-informacao-palmas/institucional>>. Acesso em: 29 out. 2023.

MACHADO, Nayara. **Baterias estão mais viáveis para consumidores de média e alta tensão**. [S. L.]: EPBR, 2021. Disponível em: <<https://epbr.com.br/armazenamento-de-energia-solar-fotovoltaica-mais-no-brasil/>>. Acesso em: 1 nov. 2023.

MURRAY, Cameron. **Preços do BESS no mercado dos EUA cairão mais 18% em 2024, diz CEA**. [s. l.]: Energy Storage News, 2024. Disponível em: <<https://www.energy-storage.news/bess-prices-in-us-market-to-fall-a-further-18-in-2024-says-cea/>>. Acesso em: 24 jul. 2024.

LAU, Lucas. **Entenda as modalidades de tarifa de energia elétrica**. [S. l.]: SHAREENERGY, 2018. Disponível em: <<https://www.shareenergy.com.br/entenda-as-modalidades-de-tarifa-de-energia-eletrica/#:~:text=A%20tarifa%20de%20energia%20paga,sistema%20de%20distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia>>. Acesso em: 30 out. 2023.

LEOBAS, Murilo Fernandes. **Análise Da Viabilidade Técnica E Econômica Da Implantação De Sistema De Armazenamento De Energia Através De Grupo De Baterias Para Operação No Horário De Ponta No Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Do Tocantins - Ifto Campus Palmas**. Palmas: IFTO, 2021.

LINDLEY, D. The Energy Storage Problem. *Nature*. Vol 463, Janeiro 2010.

PASSOS. Rafael S. SANTOS, Bruno de O. **Sistemas de armazenamento de energia e geração distribuída: Um estudo de caso**. Rio de Janeiro: PUC Rio, 2021. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/53389/53389.PDF>>. Acesso em: 1 nov. 2023.

PASTORELLI, ALAN. **Baterias de sódio: a tecnologia do futuro**. [S. l.]: Flash Battery, 2023. Disponível em: <<https://www.flashbattery.tech/en/sodium-batteries/>>. Acesso em: 1 mai. 2024.

PATEL, Neil. **Tudo sobre armazenamento de energia solar e baterias solares**. Maya Energy, 13 de out. 2022. Disponível em: <<https://mayaenergy.com.br/armazenamento-de-energia-solar/>>. Acesso em: 31 de out. 2023.

PIMENTEL, Danilo de Oliveira; ROSAS, Pedro André Carvalho. **Dimensionamento de um Sistema para Fornecimento de Energia para uma Comunidade Isolada**. Recife: Escola Politécnica de Pernambuco, [S. a.]. Dissertação - Pós-Graduação em Energias Solar e Eólica, Pernambuco, Brasil. Disponível em: <<http://revistas.poli.br/index.php/repa/article/view/1265/634>>. Acesso em: 22 jul. 2024.

PIOVESAN, Armando; TEMPORINI, Edméa. Pesquisa exploratória: procedimento

metodológico para o estudo de fatores humanos no campo da saúde pública. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, Maio, 1995. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rsp/a/ff44L9rmXt8PVYLNvphJgTd/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 11 de nov. 2023.

RAMOS, Gilmar. **Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias para a Central Fotovoltaico da Ilha do Príncipe em São Tomé e Príncipe**. 2022. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/24775/1/Gilmar%20Ramos.pdf>>. Acesso em: 5 de ago. 2024.

REDAÇÃO WARREN. **Taxa Interna de Retorno (TIR): o que é, por que importa e como calcular**. [S. l.]: Warren Magazine, 2023. Disponível em: <<https://warren.com.br/magazine/taxa-interna-de-retorno-tir/>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SANTOS, Rafael; et. al. **Sistemas de armazenamento de energia baseados em baterias: tecnologias para sistemas de geração distribuída**. São Paulo: Universidade do Estado de São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/James-Oliveira-Reis/publication/371293545_Sistemas_de_armazenamento_de_energia_baseados_em_baterias_tecnologias_para_sistemas_de_geracao_distribuida/links/650bacd682f01628f0346ac9/Sistemas-de-armazenamento-de-energia-baseados-em-baterias-tecnologias-para-sistemas-de-geracao-distribuida.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SANTOS, Raphael. **Lista base de mão-de-obra para adequações civis em subestações**. 2024. Documento não publicado. Energisa Tocantins.

SCHMIDT, Fernando. **BESS: solução para gerenciar energia no horário de ponta e backup**. [S. l.]: Canal Solar, 2022. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/bess-solucao-para-gerenciar-energia-no-horario-de-ponta-e-backup/>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

SCHULTZ, Felix. **Saiba tudo sobre a TMA – Taxa Mínima de Atratividade**. [S. l.]: Bom Controle, 2019. Disponível em: <<https://blog.bomcontrole.com.br/tma-taxa-minima-de-atratividade/>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SEBRAE. **ROI calcula o retorno de seus investimentos**. [S. l.]: Sebrae, 2023. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/roi-calcula-o-retorno-de-seus-investimentos,17870ffe48437810VgnVCM1000001b00320aRCRD>>. Acesso em: 5 mai. 2024.

SEBRAE. **Viabilidade Financeira**. [S. l.]: SEBRAE, 2019. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/pr/artigos/viabilidade-financeira,4e8ccd18a819d610VgnVCM1000004c00210aRCRD>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SERPA, Maria T. M. D. **PROTEÇÃO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA**. Portugal: UNIVERSIDADE DO ALGARVE, 2020. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Elétrica e Eletrônica, Universidade Do Algarve, Portugal, 2020. Disponível em: <https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/15341/1/Tese_TeresaSerpa_final.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

SILVA, Rogério Diogne De Souza E. **Novas tecnologias e infraestrutura do setor**

elétrico brasileiro: Armazenamento de energia em baterias. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11111/1/td_2746.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2023.

SOLOVEV, Andrey. **BESS: Uma solução para gerenciar energia proativamente.** [S. l.]: DigiKey, 2021. Disponível em: <<https://www.digikey.com.br/pt/articles/bess-a-solution-to-manage-energy-proactively>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

SOUZA, AMANDA C. M. **Aplicação De Sistemas De Armazenamento De Energia Por Baterias Para A Suavização De Potência Em Usinas Eólicas.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/47409/1/AmandaMonteiro_TCC.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

THOMÉ, Matheus Howes Coimbra. **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE BATERIAS DE LÍTIO-ÍON EM UNIDADES CONSUMIDORAS CONECTADAS NA MÉDIA TENSÃO.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024819.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

VAZ, Nuno Manuel F. P. R. **ESTUDO DAS VANTAGENS DA INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NOS SEE (D1415-032).** Portugal: ISEP, 2019. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, Departamento de Engenharia Electrotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2019. Disponível em: <https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/15643/1/DM_NunoVaz_2019_MEESE.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

VILLALVA, Marcelo. **Armazenamento de energia: tecnologias de baterias elétricas.** Canal Solar, 22 de fev. 2021. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/armazenamento-de-energia-tecnologias-de-baterias-eletricas/>>. Acesso em: 01 de nov. 2023.

WEG. **BESS Sistemas de Armazenamento de Energia em Baterias.** [S. l.]: WEG, 2023. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h0e/h3c/WEG-ESSW-sistema-de-armazenamento-de-energia-50100243-pt.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

ZAPAROLLI, Domingos. **O desafio de reciclar baterias de lítio. Grupos de pesquisa no Brasil procuram desenvolver técnicas para separar e reaproveitar metais contidos nesses módulos de armazenamento de energia.** São Paulo: Pesquisa FAPESP, 2023. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/o-desafio-de-reciclar-baterias-de-litio/>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

ZAPAROLLI, Domingos. **Pesquisadores brasileiros desenvolvem bateria à base de sódio: Novo sistema de armazenamento energético pode ser alternativa aos módulos tradicionais que utilizam lítio.** São Paulo: Pesquisa FAPESP, 2023. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/pesquisadores-brasileiros-desenvolvem-bateria-a-base-de-sodio/>>. Acesso em: 1 mai. 2024.