



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MURILO FERNANDES LEOBAS

**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 – TO

2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MURILO FERNANDES LEOBAS

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

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Elétrica da Unidade Campus Palmas
do Instituto Federal do Tocantins, como exigência à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque
Coorientador: Prof. Me. Felipe Tozzi Bittencourt

Palmas – TO

2021

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

L576a 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 / Murilo Fernandes Leobas. – Palmas, TO, 2021.

64 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, 2021.

Orientador: Dr. Fábio Lima de Albuquerque

Coorientador: Me. Felipe Tozzi Bittencourt

1. Sistemas de armazenamento de energia elétrica. 2. Baterias de íons de lítio. I. Albuquerque, Fábio Lima de. II. Bittencourt, Felipe Tozzi. III. 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).

MURILO FERNANDES LEOBAS

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

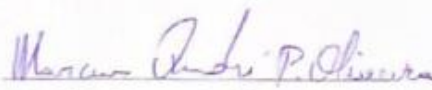
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Elétrica da Unidade Campus Palmas
do Instituto Federal do Tocantins, como exigência
à obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

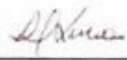
Aprovado em: 05 / 02 / 2021

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque
Orientador


Prof. Me. Felipe Tozzi Bittencourt
Coorientador


Prof. Dr. Marcus André Pereira Oliveira
Membro da Banca Avaliadora


Prof. Me. Luiz Cláudio Ferreira Lima
Membro da Banca Avaliadora

RESUMO

Neste trabalho foi realizada uma análise da viabilidade técnica e econômica da implantação de um Sistema de Armazenamento de Energia (SAE) com baterias de íons de lítio no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO Campus Palmas. O principal benefício do sistema proposto é a redução dos gastos com energia elétrica no horário de ponta, ocasionada pela diferença do preço da tarifa entre o momento que a energia é armazenada nas baterias e o momento que a energia é consumida pela carga. A viabilidade técnica foi avaliada a partir da comparação das características do SAE e da unidade consumidora a qual o mesmo seria conectado. Já a avaliação da viabilidade econômica ocorreu através da análise de parâmetros econômicos como Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Payback Descontado, que foram determinados a partir das despesas e economias geradas pela aquisição e operação do Sistema de Armazenamento de Energia.

Palavras Chave: Armazenamento de energia; baterias de íons de lítio; viabilidade técnica; viabilidade econômica.

ABSTRACT

In this work, an analysis of the technical and economic feasibility of implementing an Energy Storage System (ESS) with lithium ion batteries was carried out at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins - IFTO Campus Palmas. The main benefit of the proposed system is the reduction of expenses with electricity at peak hours, caused by the difference in the tariff price between the moment the energy is stored in the batteries and the moment the energy is consumed by the load. Technical feasibility was assessed by comparing the characteristics of the ESS and the consumer unit to which it would be connected. The economic viability assessment was carried out through the analysis of economic parameters such as Net Present Value, Internal Rate of Return and Discounted Payback, which were determined from the expenses and savings generated by the acquisition and operation of the Energy Storage System.

Key words: Energy storage. Lithium ion batteries. Technical viability. Economic viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 — Consumo de Energia IFTO – Palmas.....	17
Gráfico 2 — Compra de Energia IFTO – Palmas	18
Quadro 1 — Tipos de baterias eletroquímicas	27
Figura 1 — Parâmetros de relatório analítico de demanda	36
Figura 2 — Parâmetros de relatório analítico de consumo	37
Figura 3 — Tarifa de energia com tributos do horário fora de ponta	40
Figura 4 — Configuração de parâmetros de relatório analítico de demanda	43
Figura 5 — Demanda máxima no horário de ponta.....	43
Figura 6 — Configuração de parâmetros de relatório analítico de consumo.....	44
Figura 7 — Dia de maior consumo no horário de ponta.....	45
Figura 8 — Configuração de parâmetros de relatório analítico de consumo.....	46
Figura 9 — Consumo máximo diário no horário de ponta	46
Figura 10 — Tensão de fornecimento IFTO - Campus Palmas.....	47
Figura 11 — Sistema de armazenamento de energia ESSW - WEG.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Dados de demanda e consumo IFTO - Campus Palmas.....	47
Tabela 2 — Descrição de componentes do orçamento WEG	48
Tabela 3 — Tarifas de energia com tributos.....	52
Tabela 4 — Consumo de energia IFTO - Campus Palmas	53
Tabela 5 — Gastos com energia sem SAE	58
Tabela 6 — Gastos com energia da rede e com SAE.....	59
Tabela 7 — Análise econômica.....	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Problemática	14
1.2	Justificativa	15
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivos gerais	16
1.3.2	Objetivos específicos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	IFTO - Campus Palmas	16
2.1.1	Consumo de energia elétrica	17
2.2	Tarifa de energia elétrica	18
2.3	Grupos tarifários	19
2.3.1	Grupo A	20
2.3.1.1	<i>Tarifa horo-sazonal azul</i>	21
2.3.1.2	<i>Tarifa horo-sazonal verde</i>	21
2.3.2	Grupo B	22
2.4	Armazenamento de energia	22
2.4.1	Armazenamento de energia elétrica	23
2.4.1.1	<i>Baterias de íons de lítio</i>	25
2.4.1.2	<i>Baterias de chumbo ácido</i>	25

2.4.1.3	Baterias de níquel cádmio	26
2.4.2	Comparação entre tipos de baterias	26
2.4.3	Baterias de íons de lítio	28
2.5	Sistemas de Armazenamento de Energia (SAEs)	29
2.5.1	Sistema de armazenamento de energia com baterias de íons de lítio	30
2.6	Avaliação econômica	32
2.6.1	Valor presente líquido - VPL.....	32
2.6.2	Taxa interna de retorno - TIR	33
2.6.3	Payback	33
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	34
3.1	Dimensionamento do sistema de armazenamento de energia	34
3.1.1	Demanda máxima no horário de ponta	36
3.1.2	Consumo máximo no horário de ponta.....	37
3.1.3	Tensão de conexão	38
3.2	Orçamento do SAE.....	38
3.3	Análise de viabilidade técnica.....	38
3.3.1	Capacidade de armazenamento	38
3.3.2	Potência do conversor.....	39
3.3.3	Parâmetros de conexão com a rede.....	39
3.4	Preço da tarifa de energia.....	40

3.5	Energia consumida pelo SAE	40
3.5.1	Cálculo de energia consumida pelo sistema	41
3.6	Parâmetros econômicos	41
4	RESULTADOS	42
4.1	Levantamento de dados para orçamento	42
4.1.1	Demanda máxima no horário de ponta	42
4.1.2	Consumo máximo no horário de ponta.....	44
4.1.3	Tensão de conexão	47
4.2	Orçamento Sistemas de Armazenamento de Energia (SAEs)	48
4.3	Viabilidade técnica	49
4.3.1	Capacidade de armazenamento	49
4.3.2	Potência do conversor	50
4.3.3	Conexão à rede	51
4.3.3.1	<i>Relé de proteção de fluxo</i>	51
4.4	Tarifas de energia	52
4.5	Cálculo de energia consumida pelo SAE	52
4.5.1	Energia consumida pelo SAE.....	53
4.6	Determinação de custos iniciais, custos operacionais e receitas	53
4.6.1	Custos iniciais (CAPEX)	53
4.6.2	Custos operacionais (OPEX).....	54

4.6.3	Receitas geradas pela utilização do SAE.....	55
4.7	Análise de viabilidade econômica	57
4.7.1	Determinação da TMA.....	57
4.7.2	Análise econômica	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
5.1	Conclusões	61
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	62
	REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico, o estilo de vida do ser humano atualmente é completamente dependente de energia elétrica. A eletricidade está presente em inúmeras atividades realizadas durante o dia, como por exemplo, pegar um elevador, utilizar serviços bancários e utilizar equipamentos que são essenciais para o funcionamento de indústrias e hospitais. Enfim é indispensável a utilização de energia elétrica na vida do ser humano.

Com toda essa dependência por eletricidade a demanda por energia elétrica teve um aumento considerável nos últimos anos, elevando assim custos relacionados a este produto por parte dos consumidores. Geralmente no período das 18:00 às 21:00 horas a demanda de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN) aumenta drasticamente. Isso se deve ao fato de boa parte das indústrias e comércios ainda estarem em operação e ao mesmo tempo entra em funcionamento a iluminação pública junto com aumento do consumo nas residências, devido a maioria das pessoas, neste mesmo horário estarem utilizando chuveiros elétricos e demais eletrodomésticos. Visando diminuir essa demanda elevada na rede de distribuição de energia nesse período, foi criado o horário de ponta, que consiste em três horas consecutivas, geralmente das 18:00 às 21:00 horas com a aplicação de uma tarifa específica para este período, onde o custo da energia em kWh e da demanda em kW é mais elevado do que nos demais períodos do dia. Com isso os consumidores do Grupo A podem optar por deslocar total ou parcial consumo do horário de ponta para o horário fora de ponta. Porém, há alguns consumidores que não conseguem esse deslocamento do consumo, como é o caso do IFTO - Campus Palmas que precisa estar em pleno funcionamento durante este período, acarretando em um grande aumento de custo na conta de energia elétrica.

Alguns consumidores, sendo eles principalmente de grupos de grande consumo de energia (Grupo A) têm buscado alternativas para redução da fatura de energia elétrica. Uma alternativa pouco utilizada atualmente, mas que pode se tornar uma das mais importantes futuramente é a utilização de Sistemas de Armazenamento de Energia (SAEs), onde a ideia de aplicação é armazenar energia elétrica em baterias durante o horário fora de ponta e utilizar essa energia durante o horário de ponta.

Tendo em vista que a tarifa no horário de ponta é mais cara do que nos demais horários do dia, a utilização desses sistemas possibilitaria a redução da fatura de energia do consumidor.

Diante deste cenário este projeto se norteará no sentido de realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de armazenamento de energia elétrica por meio de baterias, que serão utilizadas para fornecer energia elétrica durante o horário de ponta no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas. Por tanto, busca-se reunir informações com o propósito de responder a seguinte pergunta: É economicamente viável a instalação de um sistema de armazenamento de energia elétrica por meio um banco de baterias para fornecimento de energia elétrica no horário de ponta no Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas com o intuito de reduzir os custos com consumo de eletricidade?

Os sistemas de armazenamento em baterias vêm apresentando crescimento acelerado e de forma exponencial nos últimos anos, atingindo a marca de 1,6 GW no mundo em 2016 e com uma projeção de capacidade instalada de 1.100 GW para o ano de 2040. Apesar de haver diferentes tecnologias competindo entre si, e diversas delas com perspectiva de queda de preço em um futuro próximo, as apostas da maioria das instituições de pesquisa do setor recaem sobre a tecnologia de íon-lítio. As expectativas para essa tecnologia decorrem principalmente da inserção projetada de veículos elétricos utilizando estes equipamentos na matriz mundial de transportes e dos usos em equipamentos eletrônicos. Avalia-se que a expansão nesses setores deva resultar em uma redução expressiva em seus custos, e por consequência, torne-a cada vez mais viável para utilização em aplicações do setor elétrico (EPE, 2019).

1.1 Problemática

Os consumidores de energia elétrica são classificados e tarifados de acordo com a demanda solicitada e o nível de tensão em que são atendidos. O IFTO - Campus Palmas recebe energia em média tensão (Grupo A), e está enquadrado no subgrupo A4, no qual os consumidores são atendidos em tensões entre 2,3 kV a 25 kV, com modalidade tarifária adotada horo-sazonal verde. Para esse grupo de

consumidores é previsto a aplicação de tarifas diferenciadas para o consumo de energia elétrica a depender da hora do dia e do dia da semana em que a energia foi utilizada. Para o caso do horário de ponta que consiste no período das 18:00 às 21:00 horas, exceto fins de semana e feriados nacionais, o custo monetário do kWh chega a ser oito vezes maior que no restante do dia.

A divisão entre horário de ponta e horário fora ponta beneficia consumidores que podem optar por não consumir grandes quantidades de energia durante o horário de ponta. Para esta situação não se enquadra o IFTO - Campus Palmas que por possuir atividades noturnas não tem como deslocar o consumo desse período para outros períodos do dia. Apesar do consumo mensal no horário de ponta ser bem menor que o consumo do fora ponta, de acordo com as faturas de energia da instituição, o valor pago pelo consumo no horário de ponta em alguns meses chega a ser quase o dobro do valor pago pela energia consumida no horário convencional.

1.2 Justificativa

De acordo com as faturas de energia dos meses de março/2019 a fevereiro/2020, o gasto com energia elétrica no IFTO - Campus Palmas chegou a cerca de R\$ 1.132.000,00, sendo que aproximadamente R\$ 672.900,00 foi destinado ao consumo no horário de ponta.

Neste campus, é utilizado um gerador diesel para funcionamento em horário de ponta para fornecimento parcial da energia elétrica consumida. Uma outra alternativa seria a utilização de banco de baterias para fornecimento de energia elétrica neste horário.

Nos últimos anos devido à necessidade apresentada principalmente por smartphones e veículos elétricos houve um crescimento bastante acentuado em relação a estudos e pesquisas envolvendo baterias e acumuladores de energia elétrica. A consequência de tais estudos foi a inserção de novas tecnologias no mercado e aprimoramento de algumas já existentes, com isso, a tendência é que o custo referente a aquisição destes equipamentos sofra uma queda considerável, o que torna economicamente viável sua implantação e utilização em várias aplicações,

como é o caso do armazenamento e deslocamento de energia para utilização fora do horário convencional.

Nessa situação, fica clara a importância e relevância de um estudo acerca da implantação do sistema de armazenamento de energia elétrica proposto pelo presente estudo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos gerais

Analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação do Sistema de Armazenamento de Energia (SAE) através de baterias, com intuito de utilizar a energia armazenada durante o horário de ponta no IFTO - Campus Palmas.

1.3.2 Objetivos específicos

Análise de dados de consumo do IFTO - Campus Palmas.

Análise da viabilidade técnica da implantação do Sistema de Armazenamento de Energia no IFTO - Campus Palmas.

Análise da viabilidade econômica da implantação do Sistema de Armazenamento de Energia no IFTO - Campus Palmas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 IFTO - Campus Palmas

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 128.508,38 m². Oferta cursos nos níveis de pós-graduação lato sensu, graduação

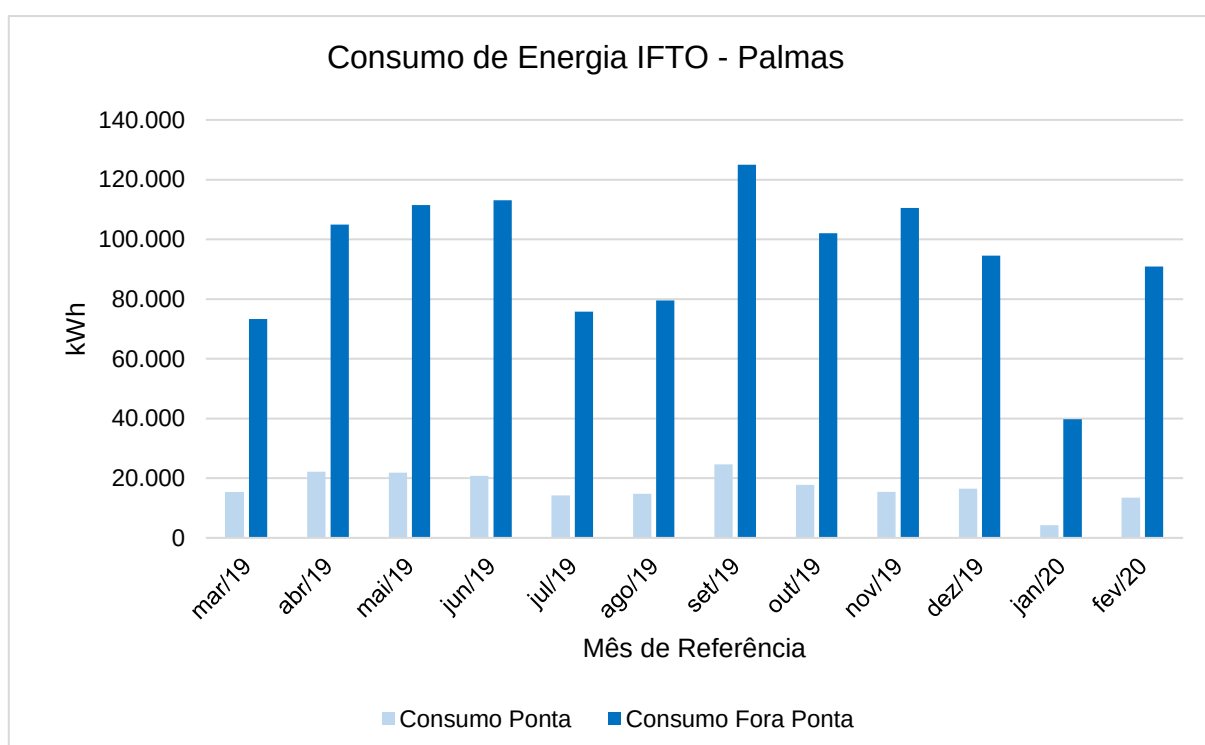
em bacharelados, licenciaturas e tecnológicos, técnicos nas modalidades subsequente, integrado ao ensino médio e EaD, e Proeja. Além disso, também oferta cursos de formação inicial e continuada, voltados à capacitação rápida da comunidade para o mercado de trabalho (IFTO, 2016).

2.1.1 Consumo de energia elétrica

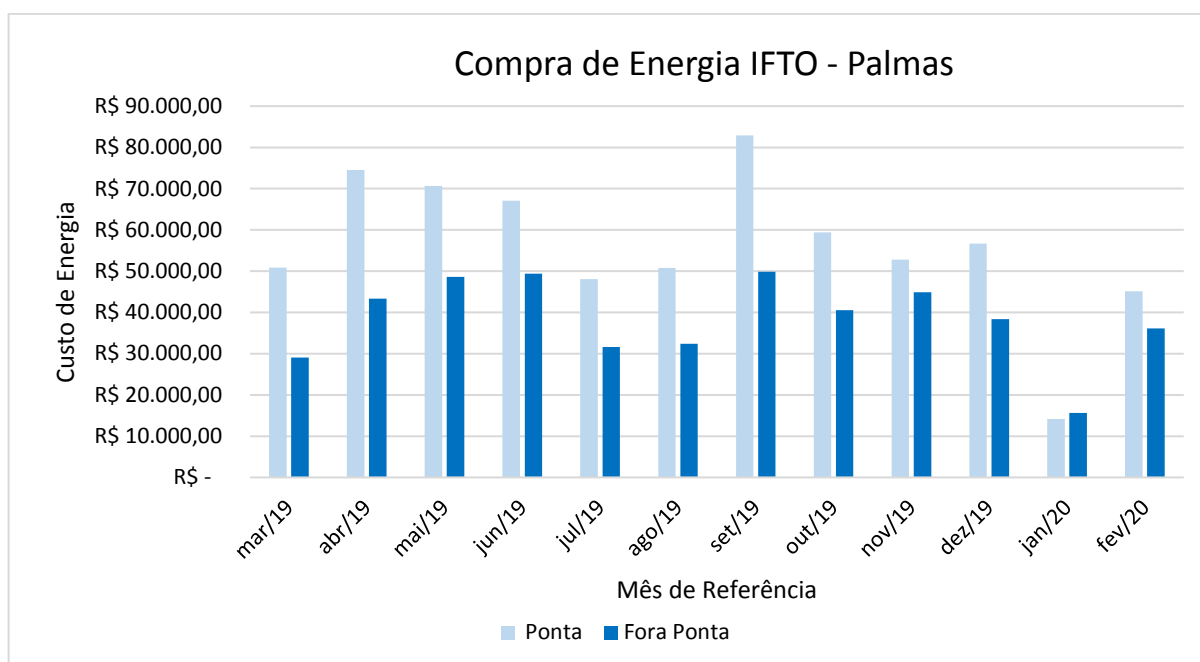
Em função da pandemia causada pelo Coronavírus COVID-19 que acarretou no fechamento parcial do IFTO - Campus Palmas em março de 2020, serão considerados para análise de consumo os meses referentes ao período de março/2019 a fevereiro/2020, visto que neste período a instituição estava em pleno funcionamento, podendo assim ser definido seu real perfil de consumo.

Os gráficos a seguir mostram alguns dados de consumo de energia elétrica no IFTO - Campus Palmas no período citado anteriormente. O Gráfico 1 apresenta a quantidade de energia consumida (kWh) tanto no horário ponta quanto no horário fora ponta. O Gráfico 2 representa o valor em reais pago pelo consumo de energia no horário ponta e no horário fora ponta.

Gráfico 1 — Consumo de Energia IFTO - Palmas



Fonte: Autoria própria (2021).

Gráfico 2 — Compra de Energia IFTO - Palmas

Fonte: Autoria própria (2021)

Analisando os dois gráficos é possível notar que mesmo com o consumo no horário ponta sendo bem menor que no restante do dia, o valor pago por esse consumo é muito maior que o valor pago pelo consumo no horário fora ponta. Isso acontece pelo fato de o valor da tarifa no horário de ponta ser bem maior.

2.2 Tarifa de energia elétrica

A tarifa de energia nada mais é do que uma série de valores calculados que representam os custos para cobrir as despesas desenvolvidas pelas distribuidoras para cumprir o compromisso de levar energia até os consumidores. Dessa maneira, a tarifa consiste em três custos distintos, sendo eles separados em: tributos, distribuição e compra de energia; transmissão de energia; e encargos setoriais (CPFL Soluções, 2019).

Portanto, de acordo com a ANEEL (2015), a tarifa é definida levando em consideração os custos mencionados acima de forma que o primeiro corresponde a 29,5% do valor na conta de energia, o segundo a 17% e o terceiro a 53,5%. Os tributos correspondentes as tarifas de energia elétrica são de competência Federal, Estadual e Municipal, visto que a nível Federal temos PIS/COFINS, a nível Estadual temos

ICMS e a nível Municipal temos o COSIP que é a Contribuição Para Iluminação Pública.

Além dos custos citados anteriormente, a tarifa de energia elétrica pode ainda sofrer variações de acordo com as condições da geração de eletricidade. No Brasil a maior parte da energia elétrica é gerada por usinas hidrelétricas. Para funcionar essas usinas necessitam de um bom nível de água em seus reservatórios e esse nível de água é altamente dependente das chuvas. Por isso em períodos de estiagem os reservatórios das usinas hidrelétricas muitas vezes ficam com baixos níveis de água armazenada.

Para poupar a água dos reservatórios das hidrelétricas são utilizadas as usinas termelétricas. Porém, essas usinas possuem um custo de geração de energia maior do que das hidrelétricas pois são movidas a combustíveis fósseis como gás natural, carvão e óleo combustível. Para suprir esse maior custo de geração foram criadas as Bandeiras Tarifárias, que indicam se haverá ou não acréscimos na tarifa de energia a serem repassados ao consumidor final pelo uso das usinas termelétricas. (ANEEL, 2019).

De acordo com a ANEEL (2019), as Bandeiras Tarifárias foram divididas nas cores Verde, Amarela e Vermelha, onde cada uma possui características distintas.

- Bandeira Verde: condições favoráveis à geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- Bandeira Amarela: condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,01343 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos;
- Bandeira Vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,04169 para cada quilowatt-hora kWh consumido.
- Bandeira Vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,06243 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

2.3 Grupos tarifários

Os consumidores de energia elétrica no Brasil são classificados de acordo com a tensão em que são atendidos e a demanda de potência de energia requerida pela

unidade consumidora, sendo assim, são divididos em dois grupos tarifários, Grupo A e Grupo B, que possuem formas de cobrança distintas. Cada um desses grupos possui ainda alguns subgrupos e suas particularidades.

2.3.1 Grupo A

Neste grupo são atendidos consumidores que recebem energia em média e alta tensão, acima de 2,3 kV que geralmente são indústrias, hospitais, shoppings centers e supermercados, que por terem um alto consumo de energia elétrica precisam que este fornecimento ocorra em tensões mais altas.

Para este grupo de consumidores é cobrado além da energia consumida em kWh uma demanda de potência que deve ser disponibilizada continuamente pela distribuidora e integralmente paga pelo consumidor sendo consumida ou não, expressa em kW. Os consumidores pagam diferentes valores de tarifa a depender de alguns fatores como hora do dia e época do ano que a energia foi utilizada. Para realizar essa cobrança foram definidos os postos tarifários, sendo eles o horário de ponta que corresponde a um período de três horas consecutivas todos os dias exceto finais de semana e feriados, o horário fora ponta que corresponde aos demais períodos do dia. A distinção entre os horários de consumo foi criada para incentivar os consumidores a não utilizar grandes quantidades de energia durante o período considerado crítico para o sistema elétrico nacional, evitando que o mesmo não consiga suprir a necessidade de todas as cargas e entre em colapso neste momento do dia. O Grupo A é dividido em seis subgrupos.

- Subgrupo A1 para o nível de tensão de 230 kV ou mais;
- Subgrupo A2 para o nível de tensão de 88 a 138 kV;
- Subgrupo A3 para o nível de tensão de 69 kV;
- Subgrupo A3a para o nível de tensão de 30 a 44 kV;
- Subgrupo A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- Subgrupo AS para sistema subterrâneo.

A tarifa de energia para consumidores do grupo A também é dividida em estruturas tarifárias distintas, sendo dividida em tarifa horo-sazonal azul e tarifa horo-sazonal verde.

2.3.1.1 Tarifa horo-sazonal azul

De acordo com Lau (2016), esta modalidade é obrigatória para consumidores dos subgrupos A1, A2 e A3 e opcional para consumidores dos subgrupos A3a, A4 e As. Neste caso os consumidores pagam um valor diferenciado de demanda contratada e de energia consumida de acordo com os postos tarifários horário ponta e horário fora ponta. Abaixo estão apresentadas as principais características desta modalidade tarifária.

- Tarifa de demanda de potência no horário de ponta (kW);
- Tarifa de demanda de potência no horário fora de ponta (kW);
- Tarifa de consumo para o horário da ponta seco/úmido (kWh);
- Tarifa de consumo para o horário fora da ponta seco/úmido (kWh);
- Demanda contratada mínima de 30 kW para um dos postos horários (ponta ou fora ponta).

2.3.1.2 Tarifa horo-sazonal verde

Esta modalidade é caracterizada por tarifas diferenciadas somente para consumo de energia de acordo com a hora do dia. A demanda contratada é cobrada com base em um valor fixo, independente dos postos tarifários (Lau, 2016). Esta modalidade é exclusiva para consumidores dos subgrupos A3a, A4 e AS. As principais características desta modalidade tarifária são apresentadas a seguir.

- Tarifa única de demanda de potência (kW);
- Uma tarifa de consumo para o horário da ponta seco/úmido (kWh);
- Uma tarifa de consumo para o horário fora da ponta seco/úmido (kWh);
- Demanda contratada mínima de 30 kW.

2.3.2 Grupo B

Neste grupo são enquadrados consumidores que recebem energia em média tensão, abaixo de 2,3 kV que geralmente são consumidores residenciais, pequenas indústrias e comércios. A estes consumidores são aplicadas apenas tarifas de consumo de energia em kWh, neste caso a tarifa não depende do horário de utilização nem da época do ano em que a eletricidade foi utilizada. Este grupo é subdividido em quatro subgrupos.

- Subgrupo B1 – residencial e residencial baixa renda;
- Subgrupo B2 – rural e cooperativa de eletrificação rural;
- Subgrupo B3 – demais classes;
- Subgrupo B4 – iluminação pública.

Além da cobrança da tarifa pelo consumo de energia estes consumidores pagam uma taxa mínima que corresponde a disponibilidade do sistema. Esse custo varia de acordo com o tipo de ligação da unidade consumidora. Para consumidores monofásicos esse custo é equivalente ao consumo de 30 kWh, para consumidores bifásicos o custo é equivalente a 50 kWh e para consumidores trifásicos 100 kWh.

2.4 Armazenamento de energia

O armazenamento, de forma geral, consiste em guardar qualquer coisa em um local específico de modo que se conserve suas características, possibilitando seu uso a qualquer momento posteriormente. Analogamente o armazenamento de energia consiste em guardar a energia produzida através de uma fonte qualquer, como por exemplo, potenciais químicos, elétricos ou mecânicos. Muitas vezes a forma que essa energia foi produzida não é favorável ao seu armazenamento, sendo necessária sua conversão para uma forma que viabilize este processo (HISOUR, 2020).

2.4.1 Armazenamento de energia elétrica

Por muito tempo uma das grandes dificuldades do setor elétrico mundial foi o armazenamento de energia elétrica. Inicialmente por não atingir níveis satisfatórios de capacidade de armazenagem e posteriormente pelo alto custo dos componentes.

Com a disseminação da geração de energia elétrica através de fontes renováveis, especialmente pela eólica e solar fotovoltaica o mercado de armazenamento de energia elétrica tem ganhado força e competitividade em todo o mundo. Por serem fontes intermitentes e não haver possibilidade de estocar vento e luz, surge a necessidade de armazenar a energia elétrica gerada através dessas fontes para a utilização nos momentos que elas não estão disponíveis (Junges, 2016). Tal necessidade contribuiu para que empresas e centros de pesquisas pudessem tratar com maior prioridade o desenvolvimento de novas tecnologias neste segmento. Outros setores que contribuem bastante para o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais avançadas na área de armazenamento de energia elétrica são as indústrias de veículos elétricos e equipamentos elétricos portáteis, visto que necessitam de baterias leves e pequenas, porém com alta eficiência e capacidade de armazenamento superior a encontrada nas baterias atuais.

A energia elétrica pode ser armazenada de várias maneiras, porém se faz necessária sua transformação em outra forma de energia, como por exemplo, mecânica, química ou eletroquímica. Serão destacados os métodos de transformação eletroquímicos onde o armazenamento ocorre através de baterias ou acumuladores de energia que utilizam reações químicas para transformar energia química em eletricidade e vice-versa. Alta eficiência, recarga, tempo de descarga, peso e mobilidade são algumas das características que colocam as baterias eletroquímicas com ampla vantagem em relação a outros meios de armazenamento de energia. Tais características contribuíram para que esta tecnologia se tornasse tão presente em nosso cotidiano podendo ser utilizada nas mais diversas escalas e aplicações.

Para facilitar o entendimento acerca dos sistemas de armazenamento de energia elétrica, se faz necessário a definição de alguns conceitos relacionados a estes sistemas. São eles:

- Energia: “ A capacidade de realizar trabalho”, assim é definida pela física. Em Sistemas Elétricos de Potência (SEP) a energia é a unidade fundamental, visto que um SEP tem o propósito de produzir, transmitir e distribuir energia elétrica. Nesse caso, a produção da energia significa converter de alguma forma a energia primária, seja ela mecânica, potencial, térmica ou química em energia elétrica. A unidade de medida de forma geral é o Joule (J) e em sistemas elétricos de potência é dada em Watt.hora, onde 1 Joule equivale a 3600 Watt.hora. (Bueno e Brandão, 2017).
- Potência: De acordo com a física, potência é a medida da taxa de transferência de energia, sendo expressa pela quantidade de energia transferida por unidade de tempo. A unidade de medida da potência é dada em Joules/segundo, resultando em Watt (W). O conceito de potência se faz muito importante quando se trata de sistemas de armazenamento de energia por definirá a solução para suprir a demanda de energia requerida pela carga. (Bueno e Brandão, 2017).
- Eficiência: Em um sistema de conversão de energia, como o sistema de armazenamento de energia proposta pelo presente trabalho, a eficiência mede a relação entre o trabalho útil realizado e a energia absorvida pelo sistema. Ou seja, deve ser entendida como a relação entre a quantidade de energia entregue ao sistema no processo de descarga em relação a energia absorvida pelo sistema no processo de carga. (Bueno e Brandão, 2017).
- Densidade de Energia: Este conceito nada mais é do que a medida da quantidade de energia que pode ser armazenada por unidade de massa. Esta medida é dada em Joule/kg, ou seja, unidade de energia por unidade de massa. (Bueno e Brandão, 2017).
- Ciclo de vida: Este conceito está diretamente ligado ao número de cargas e descargas a que um sistema de armazenamento de energia pode ser submetido até que seu desempenho chegue a um nível tão baixo que o sistema não consiga realizar as funções para qual foi desenvolvido. (Bueno e Brandão, 2017).

2.4.1.1 Baterias de íon lítio

As baterias de íon lítio se tornaram muito populares nos últimos anos principalmente por sua larga aplicação em equipamentos eletrônicos e carros elétricos. Apesar da disponibilidade no mercado há anos, a tecnologia de armazenamento neste tipo de bateria é considerada nova quando comparada com outros tipos de baterias como a de chumbo-ácido por exemplo, portanto considera-se que possuem um grande potencial de desenvolvimento acarretando em uma grande redução de custos.

Capazes de suportar altas taxas de carga e descarga, contam ainda com a ausência do efeito memória que é mais conhecido como o processo de vício da bateria, o que possibilita utilizá-las com uma carga parcial, ou seja, não é necessário que a descarregue por completo para recarregá-la. Outra característica importante é que possuem baixo peso e alta densidade energética, em outras palavras podemos armazenar grandes quantidades de energia em baterias relativamente pequenas e leves (ANE Brasil, 2016).

2.4.1.2 Baterias de chumbo ácido

As baterias Pb-Ac como também são conhecidas possuem diversas vantagens que possibilitaram sua utilização até os dias atuais. Inventada por volta de 1860 por um físico francês chamado Gaston Planté, as baterias de chumbo ácido se tornaram um dos principais meios de fornecimento de energia elétrica para diversas aplicações, principalmente na indústria automobilística, fornecendo eletricidade desde a partida elétrica de motores a combustão até a utilização dos variados equipamentos elétricos que se encontram nos carros atualmente (ANE Brasil, 2016).

Dentre as vantagens das baterias Pb-Ac podemos citar a possibilidade de recarga, baixo custo e a facilidade de fabricação, além disso, por ser uma tecnologia antiga e bem compreendida é considerada altamente confiável. Porém, quando se trata da utilização de baterias de chumbo ácido em larga escala, como é a necessidade do setor elétrico, as baterias Pb-Ac apresentam algumas desvantagens como a utilização de materiais tóxicos que podem ser prejudiciais ao meio ambiente,

vida útil limitada devido a relação com ciclos de carga e descarga e baixa densidade energética, tornando-as equipamentos muito grandes e pesados quando construídos para aplicação de larga escala.

2.4.1.3 Baterias de níquel cádmio

Este tipo de bateria é uma tecnologia muito antiga no mercado, a bateria de níquel cádmio (NiCd) foi uma das primeiras tecnologias de armazenamento reversível desenvolvidas. É considerada atualmente uma tecnologia madura e barata, porém possui baixa densidade de carga quando comparada a outras tecnologias encontradas atualmente.

Ao contrário das demais tecnologias de armazenamento, baterias de NiCd são mais adequadas para carga rápida e descarga em pulsos de potência. Não são adequadas a processos em que devem ser mantidas em flutuação, para uso ocasional por breves períodos. Uma descarga completa é tão importante que, se omitida, poderá causar a formação de grandes cristais nas placas das células (é o chamado efeito memória), levando à perda gradual de sua capacidade (Bueno e Brandão, 2017).

Esta tecnologia possui diversas vantagens como carga rápida e simples, elevado número de ciclos de carga e descarga, longa vida na condição de armazenagem e baixo custo. Porém, as baterias NiCd possuem algumas desvantagens que provocaram seu desuso, a principal desvantagem é a utilização de um metal altamente tóxico, o Cádmio mesmo em pequenas quantidades pode causar diversas doenças como problemas pulmonares e câncer. Além disso, a baixa densidade de energia e o efeito memória contribuíram bastante para que esse tipo de bateria fosse substituído principalmente por baterias de íons de lítio.

2.4.2 Comparação entre tipos de baterias

Cada método de armazenamento de energia possui suas particularidades, com isso, deve ser analisado o método mais vantajoso para a aplicação no sistema de armazenamento de energia do IFTO - Campus Palmas.

O Quadro 1 demonstra as principais vantagens e desvantagens dos métodos de armazenamento eletroquímicos apresentados anteriormente.

Quadro 1 — Tipos de baterias eletroquímicas

Tipo de Bateria	Vantagens	Desvantagens
Íons de Lítio	Longa vida útil; Alta densidade energética; Ambientalmente amigável; Baixa manutenção; Elevada eficiência.	Custo inicial alto; Sistema de gerenciamento de bateria (BMS) de alto custo;
Chumbo Ácido	Custo Baixo; Tecnologia madura e confiável; Elevada eficiência.	Baixa densidade de energia; Prejudicial ao meio ambiente; Necessidade de sistema de controle térmico; Possui vida útil baixa.
Níquel Cádmio	Custo Baixo; Carga rápida e simples.	Material altamente tóxico e prejudicial ao meio ambiente; Efeito memória; Baixa densidade de energia.

Fonte: Autoria própria (2021).

Diante das características de cada método de armazenamento, as baterias de íons de lítio se mostram mais vantajosas para a aplicação de um sistema de armazenamento de grande porte como é o caso do que está sendo analisando neste trabalho. Apesar do alto custo de investimento ser uma grande desvantagem, o sistema de armazenamento em baterias de íons de lítio possui alta densidade de energia, ou seja, ocupa menos espaço para armazenar a mesma quantidade de energia que outros métodos. Outro fator importante a favor das baterias de íons de lítio é a elevada vida útil desse sistema, tal característica pode tornar o sistema economicamente viável uma vez que os benefícios ocasionados por sua utilização serão aproveitados por mais tempo.

2.4.3 Baterias de íons de lítio

De acordo com Brodd (2002 *apud* THOMÉ, 2017), o lítio foi descoberto em 1817 pelo químico sueco Johan Arfvedson, quando o mesmo analisava uma rocha petalita. Após a descoberta, o pesquisador deu o nome à pedra de “Lithos”, expressão cujo significado é pedra em grego. Alguns anos depois, em 1855, Robert Bunsen (químico alemão) e Augustus Matthiessen (químico e físico britânico), produziram, simultaneamente, grande quantidade de lítio metálico através do processo de eletrólise do sal de cloreto de lítio. As primeiras pesquisas voltadas para o uso do lítio em SAEs ocorreram apenas 150 anos após sua descoberta.

Existem dois tipos de baterias de íons de lítio, as primárias (não-recarregáveis) e as secundárias (recarregáveis). A SONY foi a primeira fabricante a comercializar as baterias de íons de lítio recarregáveis, isto aconteceu no ano de 1991. A partir daí essas baterias começaram a ser estudadas e desenvolvidas em todo o mundo, isto porque possuem características que permitem sua utilização em diversos equipamentos.

De acordo com Rosolem et al. (2012), o princípio de funcionamento das baterias de íons de lítio é a intercalação iônica, neste caso os elementos ativos presentes no ânodo e o cátodo dessas baterias são compostos por materiais com propriedades que possibilitam a inserção e extração de íons de lítio de modo reversível entre ambos os eletrodos. Os elétrons são adicionados e removidos pelo circuito externo das baterias de forma simultânea, com isso, nesse tipo de bateria os íons de lítio não sofrem nenhum processo de redução ou oxidação, são somente inseridos e extraídos dos materiais que compõem os eletrodos. O processo de oxidação e redução fica a cargo de outros materiais constituintes dos eletrodos positivos e negativos como por exemplo grafite, cobalto ou manganês.

O processo de carga e descarga dessas baterias pode ser descrito da seguinte forma: no processo de carga os íons de lítio são extraídos do eletrodo positivo, que se oxida e cede um elétron. Em seguida, os íons de lítio e os elétrons são transportados até o eletrodo negativo através do eletrólito e pelo circuito externo respectivamente. Com a chegada dos elétrons no eletrodo negativo, simultaneamente ocorre a inserção dos íons de lítio no material do anodo, assim o estado de oxidação do material

presente no anodo é reduzido, formando então a fase litiada do processo. Após o processo de carga, os materiais ativos são formados nos eletrodos anodo e catodo. Durante o processo de descarga, quando a bateria se torna fonte de energia, a reação descrita anteriormente ocorre no sentido inverso. (Rosolem et al., 2012).

Nos últimos anos, devido principalmente à indústria automobilística, que tem intensificado estudos e pesquisas a respeito das baterias de íons de lítio, o custo desta tecnologia vem sofrendo quedas bastante acentuadas nos últimos anos. De acordo com Guadagnin (2016), pesquisas feitas pela Bloomberg New Energy Finance (BNEF) naquele ano, relatam queda de 65% do custo de baterias de íons de lítio em relação ao ano de 2010 chegando a cerca de 350 dólares por kWh, com projeções de que o preço fique abaixo dos 120 dólares por kWh até o ano de 2030.

2.5 Sistemas de armazenamento de energia (SAEs)

Os Sistemas de Armazenamento de Energia (SAEs) podem desempenhar diversas funções em um sistema elétrico de potência, podendo agregar maior disponibilidade, qualidade e confiabilidade a rede de energia elétrica.

Atualmente existem diversas tecnologias de armazenamento de energia elétrica, podendo ser encontradas nos mais diversos estágios de desenvolvimento, desde estudos e pesquisas a aplicações em larga escala no setor elétrico. Como mencionado anteriormente, este trabalho se limitará aos sistemas de armazenamento de energia com baterias de íons de lítio, visto que esta seria a melhor configuração para a aplicação.

No que diz respeito às aplicações, existem alguns métodos que visam obter diversos benefícios a partir da instalação de um sistema de armazenamento de energia, podendo abranger desde sistemas de grande escala até a rede de distribuição e o consumidor final. (THOMÉ, 2017). A seguir, serão apresentados alguns métodos de aplicações que podem ser inseridas em unidades consumidoras que tem o mesmo perfil de consumo do IFTO - Palmas.

- Redução de ponta de carga: Recomendado para unidades consumidoras que possuem picos de consumo de curta duração, este método consiste em

armazenar a energia em momentos de maior disponibilidade e consumir em momentos em que há uma maior necessidade da rede, reduzindo assim a demanda contratada. (Bueno & Brandão, 2017).

- Arbitragem: Este método pode ser uma alternativa ao uso de Grupo Gerador a Diesel por exemplo. A energia é armazenada durante o período que possui tarifas mais baixa e consumida no horário de ponta onde o valor da tarifa de energia é maior. Com essa operação, o sistema de armazenamento garante uma redução na conta de energia. (Bueno & Brandão, 2017).
- Deslocamento de consumo: Geralmente utilizado em sistemas isolados que possuem uma fonte de geração intermitente, como solar ou eólica por exemplo. Este método de utilização de um SAE consiste em armazenar a energia no momento de maior produção e consumir a energia em momentos que não há produção. (Bueno & Brandão, 2017).
- Suavização de oscilações: Aplicado em sistemas onde a geração de energia sofre oscilações durante o dia, como um sistema de geração eólica, que depende da força do vento para garantir a potência nominal, ou ainda, a geração fotovoltaica que depende da irradiação solar. (Bueno & Brandão, 2017).
- Suprimento a picos de demanda de potência: Comumente utilizados em indústrias que possuem cargas com grande inércia. O sistema de armazenamento com baterias garante a potência necessária para suprir os picos de demanda momentâneos. (Bueno & Brandão, 2017).

2.5.1 Sistema de armazenamento de energia com baterias de íons de lítio

Os SAEs possuem diversos componentes necessários para seu funcionamento. Os principais são as baterias e os conversores bidirecionais. Porém, se faz necessário a utilização de transformadores, eletrocentros, sistemas de automação e monitoramento, quadros de proteção em corrente contínua e corrente alternada e diversos outros componentes.

Atualmente, o mercado brasileiro conta com alguns fabricantes e fornecedores de sistemas de armazenamento de energia que entregam uma solução completa, que pode ser encontrada de forma modular, permitindo a aplicação em diversas escalas.

Essas soluções são vendidas principalmente em forma de containers, onde todos os sistemas se encontram armazenados em uma única estrutura. A seguir, serão apresentados os principais componentes e suas funções dentro do sistema de armazenamento de energia elétrica.

- **Banco de Baterias:** Os bancos de baterias são fornecidos de forma modular, permitindo facilmente operação e manutenção. Além disso, um banco de baterias ideal para o projeto pode ser definido de acordo com o tipo de aplicação, capacidade de armazenamento, vida útil e diversos outros parâmetros.
- **Conversor Bidirecional:** Os conversores bidirecionais presentes nos SAEs possuem sistemas de automação, controle, gerenciamento térmico e interconexão com rede CA e CC. Todas essas características estão integradas em um único equipamento, simplificando bastante a integração e operação do sistema com a rede do consumidor. Os conversores podem ser definidos de acordo com a potência, nível de tensão e corrente, características de monitoramento, controle de energia e modularidade.
- **Transformador:** O transformador é mais um equipamento necessário para a aplicação de sistemas de armazenamento de grande porte. Geralmente a conexão dos SAEs pode ser feita através do barramento de média tensão por meio de um transformador adequado para os níveis de tensão da aplicação. Diversos fornecedores oferecem o transformador integrado ao sistema de armazenamento de energia, reduzindo custos de instalação, pois dispensam a necessidade de construção de obra civil como paredes corta-fogo ou bacias de contenção.
- **Sistemas de Automação e Monitoramento:** O sistema de automação e monitoramento é composto basicamente por um sistema EMS (Energy Management System), sistema PCS (Power Converter System) e o sistema BMS (Battery Management System). O EMS é o sistema responsável por fazer todo o gerenciamento e controle do sistema de distribuição, este sistema deve permitir o controle de variáveis de interesse do sistema de armazenamento e o monitoramento de grandezas elétricas. O PCS é a interface entre o barramento CC das baterias e o barramento CA do inversor e pode ser totalmente integrado ao EMS. O BMS fica responsável pelo

gerenciamento do banco de baterias, este sistema protege o banco de baterias garantindo o funcionamento dentro de uma faixa segura de operação no que diz respeito a profundidade de descarga, temperatura e diversas outras variáveis do sistema.

- Eletrocentro: O eletrocentro é basicamente a integração de todos os componentes citados anteriormente. Montado em uma plataforma única, geralmente em um container, integra o sistema de baterias, conversor, quadros CC e CA, estação de transformação, sistema de automação, e equipamentos auxiliares. Esta solução elimina a necessidade de construções em alvenaria, reduz o tempo de entrega e execução dos projetos e pode ser fabricado de acordo com as necessidades de cada instalação.

2.6 Avaliação econômica

2.6.1 Valor presente líquido - VPL

O cálculo do Valor Presente Líquido é utilizado para determinar o valor atual de um investimento, como também sua rentabilidade. O método é um dos mais utilizados para analisar a viabilidade econômica de um investimento, onde leva em consideração a desvalorização do dinheiro ao longo do tempo. O VPL determina o valor atual de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros conveniente, menos o custo inicial do investimento (Bona, 2019). A taxa de juros adotada é chamada de Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que é o mínimo que o investidor se propõe a ganhar com o projeto. Geralmente a TMA deve ser definida analisando três fatores, que são o Custo de Oportunidade, Risco de Negócio e a Liquidez. Analisando esses aspectos o investidor poderá definir sua TMA e aplicá-la no cálculo da VPL (Schultz, 2019).

O cálculo do VPL pode retornar três possíveis resultados ao investidor, podendo ser positivo, neutro ou negativo. Caso seja positivo, quer dizer que o investimento é viável e retornará ganhos financeiros ao investidor. Caso seja um valor neutro, entende-se que o investimento não trará lucros ou prejuízos ao investidor. Por outro lado, se o valor obtido for negativo, quer dizer que o investimento não é

economicamente viável, ou seja, o investidor não conseguirá valorizar seu dinheiro aplicando-o em tal investimento.

2.6.2 Taxa interna de retorno - TIR

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um importante indicador utilizado em análises de viabilidade econômica de projetos, tendo como papel principal indicar a rentabilidade do investimento. A TIR estima a taxa de desconto que um fluxo de caixa deve ter para que seu Valor Presente Líquido seja igual a zero, sendo assim pode ser considerada como a taxa de retorno do investimento em questão (Capital Research, 2019).

A interpretação do resultado da TIR consiste em uma comparação com a TMA escolhida para tal investimento. Se a TIR for maior que a TMA concluímos que o investimento é economicamente viável, caso seja menor que a TMA o investimento em tal projeto não é viável, e se a TIR é igual a TMA significa que o projeto no qual será feito o investimento pode não trazer lucros ou prejuízos ao investidor (Gonçalves, 2019).

Ainda que seja uma ferramenta muito utilizada e que possui um bom nível de confiabilidade, é recomendado que a Taxa Interna de Retorno não seja o único método de avaliação econômica de um possível investimento, sendo imprescindível analisá-la em conjunto com outros indicadores como Payback e Valor Presente Líquido.

2.6.3 Payback

Payback que em português significa “retorno” foi o nome dado a um cálculo muito utilizado na matemática financeira que nos torna como resultado o tempo que um investimento levará para se pagar, ou seja, o tempo necessário para que os retornos acumulados se igualem ao investimento inicial. O Payback é um indicador muito utilizado por empresas e investidores na hora de comparar projetos e investimentos, ajudando-os decidir onde o dinheiro será aplicado.

Existem dois tipos de Payback, o Simples e o Descontado. O Payback Simples não leva em consideração para fins de cálculo o valor do dinheiro no tempo, é calculado apenas o valor das receitas menos as despesas, o que o coloca em desvantagem em relação ao Payback Descontado, que é um indicador mais complexo, onde leva em consideração a desvalorização do dinheiro ao longo do tempo por meio de uma taxa de juros. Normalmente, a taxa de juros utilizada para esse cálculo é a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que é a taxa mínima de lucro que o investidor se propõe a obter ao investir seu capital (Capital Research, 2020).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Dimensionamento do sistema de armazenamento de energia

No que diz respeito ao dimensionamento dos componentes presentes no sistema de armazenamento de energia, será adotado como premissa que a especificação destes componentes será feita pelos próprios fornecedores. Este trabalho se limitará apenas ao fornecimento das informações solicitadas pelos fornecedores para o dimensionamento do sistema. Isto se faz necessário pois alguns dados essenciais para o dimensionamento do sistema, como é o caso da eficiência das baterias e equipamentos de conversão de energia, são de conhecimento apenas do fabricante/fornecedor, onde cada marca possui valores diferentes para este parâmetro de acordo com a tecnologia utilizada. Sendo assim, opta-se por deixar a cargo do fornecedor o dimensionamento e especificação dos componentes a serem utilizados.

Segundo os próprios fornecedores, para dimensionar um sistema de armazenamento de energia, cuja finalidade é a utilização do sistema no modo “arbitragem” as informações essenciais são demanda máxima e consumo máximo da unidade consumidora no horário de ponta. Além disso, é solicitado também a tensão de conexão do sistema. Em resumo, a demanda máxima irá ditar a potência do conversor de energia e do conjunto de baterias, o consumo máximo fica responsável por ditar a capacidade de armazenamento do banco de baterias.

Os dados serão coletados através da plataforma Hemera, disponível no site da concessionária de energia local, Energisa Tocantins. Este sistema mede o consumo de energia de grandes consumidores, possibilita a transmissão dos dados medidos e geração de relatórios de consumo, demanda e fator de potência. Estes relatórios podem ser gerados de forma customizada, o usuário pode definir entre outros parâmetros, a diferença de tempo entre uma medição e outra. Em um determinado período, os dados podem ser medidos de 15 em 15 minutos ou até mesmo em intervalos semanais, caso seja a necessidade do usuário.

Como visto anteriormente, esse campus possui um Grupo Motor Gerador (GMG) a diesel. Porém, considerando que os objetivos deste trabalho se limitam à análise da viabilidade técnica e econômica da implantação do sistema de armazenamento de energia como alternativa para redução de gastos com eletricidade do IFTO - Campus Palmas, não serão feitas comparações de quaisquer naturezas em relação a viabilidade tanto técnica como econômica entre as duas tecnologias. Apesar de o gerador ter tido sua operação iniciada em 17/09/2019, esta não interfere de forma alguma na utilização do SAE, visto que mesmo pertencentes a mesma unidade consumidora, o GMG está instalado em uma subestação de energia diferente da subestação a qual será indicada para a conexão do SAE.

A subestação que se encontra conectada ao GMG alimenta os blocos 14,15,16 e 17, já a subestação indicada para a conexão do SAE é a subestação de entrada, também conhecida como subestação de medição, que possui um barramento em 13,8 kV que se subdivide em quatro barramentos, que seguem cada um para uma subestação. Sendo assim, o consumo de energia medido pelo sistema Hemera refere-se a toda a energia consumida pelo campus, não sendo necessário subtrair do valor lido pelo medidor a energia gerada pelo GMG, pois esta é consumida instantaneamente.

Diante do exposto, o perfil de consumo da unidade consumidora que contemplará o SAE será levantado a partir da análise dos dados de consumo referentes ao período de 01/03/2019 à 29/02/2020. A consulta de um período mais recente não é válida pois a instituição teve seu consumo drasticamente reduzido em função da paralisação das atividades, ocasionada pelo alto risco de contaminação de pessoas pelo Coronavírus COVID-19.

3.1.1 Demanda máxima no horário de ponta

A demanda máxima de energia pode ser entendida como a potência máxima que a carga solicitou da rede em um determinado instante. Para este caso, a demanda máxima de energia será analisada apenas no chamado horário de ponta, das 18 horas às 21 horas.

Primeiramente deverá ser acessada a página da concessionária de energia e deve ser efetuado acesso na página do usuário utilizando os dados de acesso previamente cadastrados. Após isso, na aba “Sua fatura” deve ser acessado o item “Relatório analítico de demanda”, nesta página, o usuário terá acesso a uma plataforma onde é possível definir parâmetros como período de análise, sumarização, forma de exibição dos resultados, entre outros parâmetros que poderão ser configurados de acordo com a necessidade da pesquisa.

Após a configuração da plataforma, ao clicar em “consultar” o sistema realizará o levantamento de todos os dados definidos previamente. A Figura 1 ilustra a plataforma descrita anteriormente.

Figura 1 — Parâmetros de relatório analítico de demanda

DEMANDA

Home >

Período de 6/12/2020 até 4/1/2021 (ocultar opções de filtro) Consultar

Medidor 01001672 (14/03/2018 10:19 - Atual) Sumarização Total

Cálculo das grandezas Constantes dos canais Origem Leitura do medidor

Segmentos reativos kVArh indutivo e kVArh capacitivo ☐ Utilizar horário de verão para o cálculo

Exibição ☒ Gráfico ☒ Relatório

Colunas ☒ kW fornecido ☒ kVAr indutivo ☒ kVAr capacitivo ☒ kW recebido ☒ kVAr indutivo recebido ☒ kVAr capacitivo recebido ☒ UFER ☒ DMCR

Fonte: Energisa Tocantins (2021).

3.1.2 Consumo máximo no horário de ponta

O consumo máximo de energia no horário de ponta é basicamente a energia total consumida no intervalo de tempo das 18 horas às 21 horas de um determinado dia. Este valor deve ser observado para o dia mais crítico do período a ser analisado. Para levantamento do valor de consumo máximo no horário de ponta, é necessário realizar mais de uma consulta na plataforma Hemera. A primeira tem a finalidade de obter a data que ocorreu o maior consumo no horário de ponta, a segunda será responsável por determinar o consumo real da unidade consumidora nesta data.

Primeiramente deverá ser acessada a página da concessionária de energia e deve ser efetuado acesso na página do usuário utilizando os dados de acesso previamente cadastrados. Após isso, na aba “Sua fatura” deve ser acessado o item “Relatório analítico de consumo”, nesta página, o usuário terá acesso a uma plataforma onde é possível definir parâmetros como período de análise, sumarização, forma de exibição dos resultados, entre outros parâmetros que poderão ser configurados de acordo com a necessidade da pesquisa.

Após a configuração da plataforma, ao clicar em “consultar” o sistema realizará o levantamento de todos os dados definidos previamente. A Figura 2 ilustra a plataforma descrita anteriormente.

Figura 2 — Parâmetros de relatório analítico de consumo

Home >

Período de 6/12/2020 até 4/1/2021 (ocultar opções de filtro) Consultar

Medidor 01001672 (14/03/2018 10:19 - Atual) Sumarização Total

Cálculo das grandezas Constantes dos canais Origem Leitura do medidor

☐ Utilizar horário de verão para o cálculo

Exibição ☒ Gráfico ☒ Relatório

Colunas ☒ kWh fornecido ☒ kVAh indutivo ☒ kVAh capacitivo ☒ kWh recebido ☒ kVAh indutivo recebido ☒ kVAh capacitivo recebido

Fonte: Energisa Tocantins (2021).

3.1.3 Tensão de conexão

A tensão de conexão do sistema de armazenamento de energia é outro importante fator para a análise da viabilidade técnica do sistema, uma vez que os equipamentos utilizados para conexão do SAE na unidade consumidora devem estar em conformidade com a tensão do barramento existente. Com o intuito de facilitar e baratear os custos de conexão do SAE na rede, a tensão de conexão deve ser definida em um nível de tensão igual a tensão de fornecimento da unidade consumidora. Tratando-se do IFTO - Campus Palmas, que é um consumidor do Grupo A. Sabe-se que estes consumidores são atendidos em média tensão e a tensão exata de fornecimento pode ser consultada diretamente na fatura de energia.

3.2 Orçamento do SAE

O orçamento do SAE deve ser realizado a partir dos dados levantados conforme a descrição das sessões 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3. Esses dados serão enviados aos fornecedores que a partir de suas premissas de dimensionamento irão definir todos os equipamentos necessários para a demanda solicitada, definindo o preço total do sistema.

3.3 Análise de viabilidade técnica

A viabilidade técnica será analisada a partir da validação dos equipamentos presentes na descrição do orçamento recebido com relação a necessidade do IFTO - Campus Palmas em termos de capacidade de armazenamento das baterias, potência mínima do conversor de energia e parâmetros de conexão com a rede.

3.3.1 Capacidade de armazenamento

As baterias de íons de lítio possuem diversas vantagens e desvantagens. Entre as desvantagens, as de maior relevância para a determinação do sistema necessário para suprir uma demanda de consumo específica são a degradação da capacidade de armazenamento ao longo dos anos e a eficiência de conversão de energia.

O intuito do SAE proposto neste trabalho é o abatimento de todo o consumo do horário de ponta do local de instalação, sendo o sistema capaz de realizar essa tarefa durante toda sua vida útil. Para isso, a capacidade inicial de armazenamento de energia das baterias será calculada através da divisão do consumo máximo diário pelo percentual de eficiência do processo de carga e descarga das baterias, pelo percentual de eficiência do conversor de energia e pelo percentual de retenção de carga ao final da vida útil das baterias. A Equação 1 representa o cálculo necessário para a determinação da capacidade inicial de armazenamento do sistema.

$$\text{Armazenamento Inicial} = \frac{\text{Consumo máximo diário}}{\text{Eficiência 1} \times \text{Eficiência 2} \times \text{Capacidade final}} \quad (1)$$

Onde:

Eficiência 1 = Eficiência das baterias no processo de carga e descarga.

Eficiência 2 = Eficiência do conversor de energia.

Capacidade final = Capacidade de retenção de carga ao final da vida útil da bateria.

3.3.2 Potência do conversor

O conversor de energia presente em um SAE deve ser capaz de garantir a transformação da energia armazenada nas baterias em energia utilizável pela carga a qual será submetida. A potência do conversor deve ser compatível com o somatório das potências dos equipamentos presentes na instalação ou com a demanda máxima de potência registrada no local, caso seja disponível este dado.

3.3.3 Parâmetros de conexão com a rede

A conexão do SAE ao ponto de conexão será validada a partir da comparação entre os dados de saída do sistema com os dados do ponto de conexão. A tensão de saída do SAE deve ser compatível com a tensão em que o sistema será conectado a fim de evitar maiores adequações ao ponto de conexão.

3.4 Preço tarifa de energia

A tarifa de energia elétrica pode ser consultada diretamente na fatura de energia da unidade consumidora. Este valor servirá de base para os cálculos no procedimento de análise econômica da implantação do SAE. O valor utilizado deve ser o da tarifa com tributos, tanto para o horário de ponta quanto para o horário fora de ponta. A Figura 3 mostra um exemplo de como esse valor pode ser facilmente consultado diretamente na fatura de energia.

Figura 3 — Tarifa de energia com tributos do horário fora de ponta

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
 QUADRA 308 S QIE, S/N - AVENIDA LO 5 - AE-SE 34- 77021090
 ST SUDESTE
 PALMAS (AG: 122)

Classe/Subcls.: PPU MTV A4-84116/PODER PÚBLICO-POD. PÚB. FEDERAL
 Roteiro: 021 - 0122 - 901 - 0080
 Nº do Medidor: 03001001672
 MATRÍCULA: 0000216978-2020-12-8
 DOM. ENT.:

LIGAÇÃO: TRIFASICO
 DOM. BANC.:
 CNPJ/CPF: 10.742.006/0003-50



energisa
 LIGADA NA SUA ENERGIA

ENERGISA TOCANTINS - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A.
 104 Norte, Conj. IV - Lote 12A - Plano Diretor Norte
 Palmas/TO - CEP 77006-032
 CNPJ 25.086.034/0001-71 Insc. Est. 29.031.998-6
 Nota Fiscal/Conta de Energia Elétrica
 Série: B NF: 004.624.328

Atendimento ao Cliente ENERGISA
 Ao ligar, tenha sempre em mãos a conta.  **0800 721 3331** ligação gratuita Acesse: www.energisa.com.br

SEGUNDA VIA

Emissão: 28/12/2020

Identificador para Débito Automático: 0000216978-7

CONTA REFERENTE A	APRESENTAÇÃO	DATA PREVISTA DA PRÓXIMA LEITURA	Nº DA CONTA / UC (UNIDADE CONSUMIDORA)
Dezembro/2020	29/12/2020	23/01/2021	8/216978-7

DISCRIMINAÇÃO DO PRODUTO / DEMONSTRATIVO											
CCI	Descrição	Quantidade	Tarifa s/ Tributos	Tarifa c/ Tributos	Valor Total (R\$)	Base Calc. ICMS(R\$)	Aliq. ICMS	ICMS (R\$)	Base Calc. PIS/COFINS (R\$)	PIS (R\$) (1,0845%)	COFINS(R\$) (4,9955%)
0601	Consumo em kWh - Ponta	4.200,000	2,065180	2,935960	12.331,07	12.331,07	25	3.082,77	9.449,81	102,48	472,06
0601	Consumo em kWh - Fora Ponta	25.200,000	0,267660	0,380510	9.589,09	9.589,09	25	2.397,27	7.348,52	79,69	367,09
0601	Adic. B. Vermelha				2.000,50	2.000,50	25	500,12	1.533,06	16,63	76,58
0602	Demanda de Potência Medida - Fora Ponta	112,000	34,640000	49,246060	5.515,55	5.515,55	25	1.378,89	4.226,80	45,84	211,16
0602	Demanda Potência Não Consumida - F Ponta	428,000	34,640000	49,246060	21.077,31	21.077,31	25	5.269,33	16.152,44	175,17	806,89

Fonte: Energisa Tocantins (2021).

3.5 Energia consumida pelo SAE

A determinação deste parâmetro é extremamente necessária para a validação da viabilidade econômica do sistema proposto neste trabalho. A energia consumida pelo sistema deve ser utilizada para calcular as receitas e os custos operacionais do projeto. Para a realização dos cálculos é necessário levar em consideração a eficiência dos componentes envolvidos no ciclo de carga e descarga. Porém, como o sistema foi dimensionado com capacidade de fornecer energia para a carga em seu pior caso de consumo até mesmo no último dia de vida útil das baterias, não é necessário levar em consideração neste cálculo a redução da capacidade de armazenamento das baterias de acordo com o ano de operação.

3.5.1 Cálculo de energia consumida pelo sistema

A energia consumida pelo sistema deve ser entendida como a energia necessária para carregar as baterias durante o período de um ano. A quantidade de energia necessária para levar o banco de baterias a sua capacidade máxima de armazenamento é determinada de acordo a descarga feita naquele ciclo. Esse valor será obtido com base no consumo anual de energia no horário de ponta, esse consumo deve ser dividido pela eficiência do conversor de energia e pela eficiência das baterias, chegando assim na quantidade de energia consumida pelo SAE no período de um ano.

3.6 Parâmetros econômicos

Os parâmetros econômicos que serão analisados foram descritos na sessão 3.6, sendo eles o VPL, a TIR e o Payback Descontado. De acordo com Novais (2019), cada um destes parâmetros possui um método para ser calculado, como pode ser visto nas Equações 2 e 3.

O Valor Presente Líquido (VPL) é calculado através da Equação 2.

$$VPL = FC_0 + \frac{FC_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} \quad (2)$$

Já a Taxa Interna de Retorno (TIR) pode ser calculada através da Equação 2, porém o VPL deve ser igualado a Zero.

$$0 = FC_0 + \frac{FC_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} \quad (2.1)$$

Assim, podemos simplificar a Equação 3 e reescreve-la da seguinte forma.

$$0 = \sum_{n=0}^n \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} \quad (3)$$

Onde:

n = Período total.

FC_0 = Investimento inicial .

FC_n = Fluxo de caixa do período específico.

TIR = Taxa Interna de Retorno.

O Payback Descontado será analisado através do Fluxo de Caixa Atualizado (FCA) do investimento ao longo do período determinado para a análise. Sabendo que o Payback Descontado é o tempo necessário para que o FCA do investimento se iguale a zero, será analisado o FCA de cada ano afim de obter o tempo de retorno do capital investido.

Devido à complexidade dos cálculos, todos esses parâmetros serão calculados através de ferramentas computacionais, porém, a demonstração das fórmulas se faz necessária para melhor entendimento dos resultados.

4 RESULTADOS

4.1 Levantamento de dados para orçamento

4.1.1 Demanda máxima no horário de ponta

Este dado foi obtido através do procedimento descrito na sessão 3.1.1. Após o procedimento de acesso ao sistema, os parâmetros necessários para a geração do relatório analítico de demanda referente ao período da análise foram configurados e podem ser consultados na Figura 4.

Figura 4 — Configuração de parâmetros de relatório analítico de demanda

DEMANDA

Home >

Período de 01/03/2019 até 29/02/2020 (ocultar opções de filtro) Consultar

Medidor 01001672 (14/03/2018 10:19 - Atual) Sumarização 15 minutos

Cálculo das grandezas Constantes dos canais Origem Leitura do medidor

Segmentos reativos kVarh indutivo e KVarh capacitivo ☐ Utilizar horário de verão para o cálculo

Exibição ☐ Gráfico ☒ Relatório

Colunas ☒ kW fornecido ☐ kVar indutivo ☐ kVar capacitivo ☐ kW recebido ☐ kVar indutivo recebido ☐ kVar capacitivo recebido ☐ UFER ☐ DMCR

Fonte: Energisa Tocantins (2021).

Após a configuração dos parâmetros, resta clicar em “consultar” para que o sistema retorne os valores medidos para o período a qual foi determinado. Estes valores podem ser vistos na Figura 5.

Figura 5 — Demanda máxima no horário de ponta

Sumarização - Demanda	
Máximo	
Posto Horário	kW fornecido
Fora Ponta	557,76 (03/09/2019 16:45)
Ponta	546,84 (11/09/2019 19:30)
Mínimo	
Posto Horário	kW fornecido
Fora Ponta	0,00 (02/03/2019 10:30)
Ponta	33,60 (31/12/2019 18:15)
Disponibilidade de Dados:	
	100,00%

Fonte: Energisa Tocantins (2021).

Como pode ser observado na Figura 5, para o período de 01/03/2019 a 29/02/2020 o valor máximo da demanda registrada no horário de ponta foi de 546,84 kW.

4.1.2 Consumo máximo no horário de ponta

Este dado foi obtido seguindo o procedimento descrito no item 3.1.2. Após o procedimento de acesso ao sistema, os parâmetros necessários para a geração do relatório analítico de consumo referente ao período da análise foram configurados e podem ser consultados na Figura 6.

Figura 6 — Configuração de parâmetros de relatório analítico de consumo

A interface de configuração de parâmetros de relatório analítico de consumo apresenta o seguinte layout:

- Período de:** 01/03/2019 até 29/02/2020. Botão (ocultar opções de filtro).
- Medidor:** 01001672 (14/03/2018 10:19 - Atual). Botão Consultar.
- Sumarização:** Hora.
- Cálculo das grandezas:** Constantes dos canais.
- Origem:** Leitura do medidor.
- ☐ Utilizar horário de verão para o cálculo.
- Exibição:** ☐ Gráfico ☒ Relatório.
- Colunas:** ☒ kWh fornecido ☐ kVAh indutivo ☐ kVAh capacitivo ☐ kWh recebido ☐ kVAh indutivo recebido ☐ kVAh capacitivo recebido.

Fonte: Energisa Tocantins (2021).

Após a configuração dos parâmetros, resta clicar em “consultar” para que o sistema retorne os valores medidos para o período a qual foi determinado e de acordo com os parâmetros configurados. Estes valores podem ser vistos na Figura 7.

Figura 7 — Dia de maior consumo no horário de ponta

Sumarização - Consumo	
Máximo	
Posto Horário	kWh fornecido
Fora Ponta	534,45 (03/09/2019 17:00)
Ponta	522,90 (03/09/2019 20:00)
Mínimo	
Posto Horário	kWh fornecido
Fora Ponta	0,00 (02/03/2019 14:00)
Ponta	38,85 (31/12/2019 19:00)
Acumulado	
Posto Horário	kWh fornecido
Fora Ponta	1.112.164,41
Ponta	198.522,45
Total:	1.310.686,86
Disponibilidade de Dados:	
	100,00%

Fonte: Energisa Tocantins (2021).

Com isso, foi obtida a data em que ocorreu o maior consumo registrado no intervalo de uma hora para o horário de ponta entre os dias 01/03/2019 à 29/02/2020. O próximo passo é analisar todo o consumo somente do dia em questão, que neste caso é 03/09/2019, como pode ser visto na Figura 7. Como o consumo não é contínuo, é necessário realizar uma análise mais detalhada do histórico de consumo deste dia, para isto foi realizada uma nova consulta, ajustando novamente os parâmetros. Os novos ajustes podem ser observados na Figura 8.

Figura 8 — Configuração de parâmetros de relatório analítico de consumo

Home >

Período de 03/09/2019 até 03/09/2019 (ocultar opções de filtro) Consultar

Medidor 01001672 (14/03/2018 10:19 - Atual) Sumarização Hora

Cálculo das grandezas Constantes dos canais Origem Leitura do medidor

☐ Utilizar horário de verão para o cálculo

Exibição ☐ Gráfico ☒ Relatório

Colunas ☒ kWh fornecido ☐ kVAh indutivo ☐ kVAh capacitivo ☐ kWh recebido ☐ kVAh indutivo recebido ☐ kVAh capacitivo recebido

Fonte: Energisa Tocantins (2021).

Os dados obtidos com a nova consulta podem ser vistos na Figura 9.

Figura 9 — Consumo máximo diário no horário de ponta

Sumarização - Consumo	
Máximo	
Posto Horário	kWh fornecido
Fora Ponta	534,45 (03/09/2019 17:00)
Ponta	522,90 (03/09/2019 20:00)
Mínimo	
Posto Horário	kWh fornecido
Fora Ponta	56,91 (03/09/2019 07:00)
Ponta	451,08 (03/09/2019 21:00)
Acumulado	
Posto Horário	kWh fornecido
Fora Ponta	5.925,78
Ponta	1.472,52
Total:	7.398,30
Disponibilidade de Dados:	
	100,00%

Fonte: Energisa Tocantins (2021).

Com todo o processo descrito nesta sessão, obteve-se o valor de 1472,52 kWh, sendo este o consumo máximo diário registrado no horário de ponta, no período de 01/03/2019 à 29/02/2020 no IFTO - Campus Palmas.

4.1.3 Tensão de Conexão

Como citado no item 3.1.3, a tensão de conexão do SAE deverá seguir o mesmo nível de tensão de fornecimento da unidade consumidora. Este valor pode ser visto na própria fatura de energia. Define-se então que a tensão é de 13,8 kV, como pode ser visto na Figura 10. Esta imagem foi retirada da fatura de energia disponibilizada pela concessionária ao cliente, que neste caso é o IFTO - Campus Palmas.

Figura 10 — Tensão de fornecimento IFTO - Campus Palmas

Estrutura do consumo

Período de Leitura: 23/11/2020 a 23/12/2020

Dias: 30

Demanda Contratada Ponta:

Fora Ponta: 540

Dados da leitura							Dados do consumo	
UN. Posto	Atual	Anterior	K	Perdas(%)	Fat. Pot.	Aj. Fator Pot	Medido	Faturado
KWH Ponta	656	650	700	0	0	0	4200	4200
KWH FPonta	3518	3482	700	0	0	0	25200	25200
INJ FPonta	10	10	700	0	0	0	0	0
KW Ponta	0,13	0	700	0	0	0	91	0
KW FPonta	0,16	0	700	0	0	0	112	540
ERE FPonta	6	6	700	0	0	0	0	0
DRE Ponta	0,12	0	700	0	0	0	84	0
DRE FPonta	0,14	0	700	0	0	0	98	0

Indicadores de Qualidade

LIMITES DA ANEEL	APURADO	
DIC MENSAL	3,46	0,00
DIC TRIMESTRAL	6,93	
DIC ANUAL	13,86	
FIC MENSAL	2,06	0,00
FIC TRIMESTRAL	4,13	
FIC ANUAL	8,27	
DMIC	2,52	0,00
DICRI	9,77	

Conjunto: PALMAS II URBANO

Referência: 10/2020

Tensão Contratada: 13800

Limite Adequado: 12834 a 14490

DIC: n° de horas que o cliente ficou sem energia.

FIC: n° de vezes que o cliente ficou sem energia.

DMIC: duração, em horas, de maior interrupção de energia no período.

DICRI: Duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico.

Possíveis valores individuais apurados acima dos padrões nesta unidade consumidora implicarão direito à compensação. É direito do consumidor solicitar, a qualquer tempo, a apuração dos indicadores de qualidade.

Fonte: Energisa Tocantins (2021).

Com os dados definidos nas sessões 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3 foi possível realizar um pedido de orçamento a alguns fornecedores disponíveis no mercado. A Tabela 1 resume os principais dados necessários para o pedido de orçamento do sistema de armazenamento de energia.

Tabela 1 — Dados de demanda e consumo IFTO - Campus Palmas

Dados de Consumo e Conexão na rede - IFTO Palmas	
Demanda máx. Diária na Ponta (kW)	546,84
Consumo máx. Diário na Ponta (kWh)	1472,52
Tensão de Conexão (kV)	13,8

Fonte: Autoria própria (2021).

4.2 Orçamento sistemas de armazenamento de energia

De posse dos dados necessários para a realização dos orçamentos, estes foram enviados a alguns fornecedores a fim de obter o valor da solução completa para abatimento de todo o consumo no horário de ponta do IFTO - Campus Palmas.

Entre os orçamentos recebidos, apenas um contempla a solução completa, ou seja, possui todos os elementos necessários para a aplicação desejada, desde as baterias para o armazenamento da energia até os equipamentos necessários para a conexão com a rede elétrica no ponto desejado.

A cotação recebida via e-mail, refere-se ao sistema fornecido pela WEG Automação LTDA, que contempla módulos de baterias, sistema de controle e monitoramento, conversores bidirecionais, transformador e quadros de proteção em corrente contínua e corrente alternada. Além disso está incluso frete, impostos, instalação e comissionamento do sistema. Diante da dificuldade de obter novos orçamentos e tendo em vista que a empresa é uma multinacional de origem brasileira com atuação em diversos setores como geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, optou-se por considerar o produto ofertado pela WEG Automação LTDA para as análises técnica e econômica a qual são objetivos deste trabalho. As principais características e equipamentos, bem como o custo do sistema ofertado estão descritos na Tabela 2.

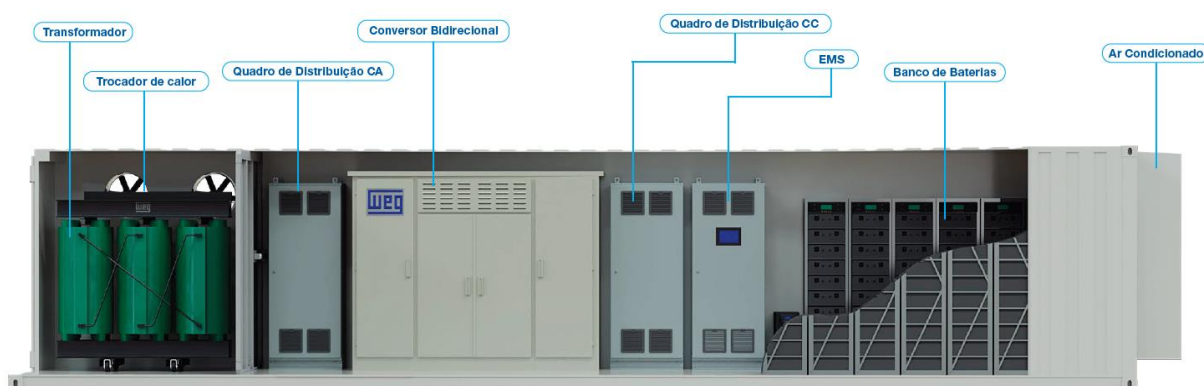
Tabela 2 — Descrição de componentes do orçamento WEG

Item	Quant.	Descrição	Valor Total (R\$)
1	5	BBT LITIO (Módulos, BMS, Rack, HVAC e Sistema de Incêndio) - 372kWh Cada	4.679.726,46
2	1	EMS (IHM + SISTEMA REMOTO)	
3	1	CONVERSOR BIDIRECIONAL (PCS) - 600kVA 690V (FP > 0,99) Eficiência máxima 98,5%	
4	1	TRANSFORMADOR 750kVA - 690V/13.8kV – IP00 - SECO	
5	1	QDCA - PAINEL BT PROTEÇÃO CA	
6	1	QDCC - PAINEL BT PROTEÇÃO CC	
7	-	FRETE - FOB	
8	-	INSTALAÇÃO E COMISSIONAMENTO	
8	-	IMPOSTOS (ICMS, PIS, COFINS, IPI)	

Fonte: Autoria própria (2021).

O sistema de armazenamento de energia ESSW – WEG é uma solução totalmente desenvolvida para atender a demanda de qualquer projeto. Vantagens como elevada vida útil, baixa manutenção, facilidade em integração a sistemas elétricos existentes, alta densidade energética e operação em paralelo com diversas fontes de energia estão presentes neste equipamento. Além disso, o sistema é modular e escalável, ou seja, os componentes são projetados e fabricados especificamente para cada aplicação. (WEG, 2020). A solução ofertada e seus principais componentes estão ilustrados na Figura 11.

Figura 11 — Sistema de armazenamento de energia ESSW - WEG



Fonte: WEG Automação LTDA (2020).

Entre as características técnicas de maior relevância, vale ressaltar a capacidade de armazenamento superior a 85% da capacidade inicial ao final da vida útil do sistema, que gira em torno de 15 anos. Outro dado importante é a eficiência das baterias, segundo a WEG estas possuem eficiência de 96% no processo de carga e descarga.

4.3 Viabilidade técnica

4.3.1 Capacidade de armazenamento

De acordo a sessão 3.3.1, o sistema de armazenamento proposto neste trabalho deve ser capaz de suprir o consumo da carga durante toda sua vida útil. Para verificar tal característica, deve-se levar em consideração a eficiência das baterias em seu processo de carga e descarga, a eficiência do conversor de energia e a capacidade de armazenamento de energia ao final da vida útil das baterias. Como

pode ser visto na sessão 4.2, o SAE ofertado pela WEG contempla baterias de íons de lítio que possuem eficiência de 96% no processo da carga e descarga, a eficiência máxima do conversor de energia é de 98,5%. A WEG garante ainda que o sistema possui 85% de capacidade de armazenamento de energia ao fim da vida útil das baterias, que é de 15 anos. A capacidade de armazenamento inicial do sistema foi estipulada através da Equação 1.

$$\text{Armazenamento Inicial} = \frac{\text{Consumo máximo diário}}{\text{Eficiência 1} \times \text{Eficiência 2} \times \text{Capacidade final}} \quad (1)$$

$$\text{Armazenamento Inicial} = \frac{1472,52}{96\% \times 98,5\% \times 85\%} \quad (1.1)$$

$$\text{Armazenamento Inicial (kWh)} = 1832,04 \quad (1.2)$$

O resultado obtido acima é a capacidade inicial de armazenamento que as baterias devem ter para que no seu último ano de operação consigam armazenar energia suficiente capaz de suprir um consumo diário de 1472,52 kWh durante o horário de ponta. O sistema oferecido pela WEG possui cinco módulos de baterias, onde cada um consegue fornecer 372 kWh durante as três horas diárias referente ao horário de ponta, totalizando 1860 kWh no primeiro ano de operação, garantindo energia suficiente para o consumo pretendido durante toda sua vida útil.

4.3.2 Potência do Conversor

Como citado na sessão 3.3.2, a potência do conversor de energia utilizado no SAE deve ser compatível com a demanda total de energia a qual será submetido. De acordo com a Tabela 2, o equipamento sugerido possui 600 kVA de potência aparente e fator de potência maior que 0,99. Com estes dados, foi possível encontrar a potência ativa do conversor energia.

$$\text{Potência ativa (kW)} = \text{Potência aparente (kVA)} \times \text{Fator de Potência} \quad (4)$$

$$\text{Potência ativa (kW)} = 600 \text{ kVA} \times 0,99 \quad (4.1)$$

$$\text{Potência ativa (kW)} = 594 \quad (4.1)$$

A demanda máxima de energia do IFTO - Campus Palmas no horário de ponta é de 546,84 kW, de acordo com o que foi obtido na sessão 4.1.1. Assim, fica clara a viabilidade da utilização do conversor de 594 kW de potência ativa no sistema de armazenamento proposto por este trabalho.

4.3.3 Conexão à rede

A conexão do sistema de armazenamento de energia com a rede elétrica da unidade consumidora será feita na subestação de entrada da rede da concessionária, localizada a oeste do perímetro do IFTO - Campus Palmas. Esta subestação é responsável por toda a medição de consumo da instituição, sendo a mais conveniente para a conexão do SAE.

A tensão de conexão do sistema deve ser de 13,8 kV, como foi determinado na sessão 4.1.3. De acordo com os itens descritos no orçamento na sessão 4.2, a tensão de saída do conversor de energia utilizado no SAE é de 690 V, o orçamento contempla ainda um transformador de 750kVA, 690/13,8 kV. No que diz respeito a tensão de conexão, com a utilização deste transformador a conexão entre conversor e barramento do ponto de conexão se torna tecnicamente viável, visto que os dois pontos possuem a mesma tensão.

4.3.3.1 *Relé de proteção de fluxo*

Apesar de não existir tanto a nível nacional quanto a nível de concessionária nenhum documento que regule a inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia na rede, para garantir maior segurança ao sistema e a rede da concessionária, é indicado pelo próprio fabricante/fornecedor do SAE a instalação de um relé de proteção que realize o controle dos fluxos de potência, garantindo que não tenha em momento algum, energia fluindo da bateria para a rede elétrica da concessionária.

De acordo um orçamento realizado pelo autor, um equipamento que possui a função desejada aproximadamente R\$ 6.500,00. Este valor inclui o equipamento e os custos relacionados a frete e impostos que incidem sobre o produto.

4.4 Tarifas de energia

A tarifa de energia foi obtida a partir da média das tarifas nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2020. Os valores consultados e os resultados estão mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 — Tarifas de energia com tributos

Mês de Referência	Valor da tarifa no Horário Ponta (R\$/kWh)	Valor da tarifa no Horário Fora Ponta (R\$/kWh)
Outubro/2020	2,97186	0,38516
Novembro/2020	2,96356	0,38408
Dezembro/2020	2,93596	0,38051
Média	2,95713	0,38325

Fonte: Autoria própria (2021).

4.5 Cálculo de energia consumida pelo SAE

Como foi visto na seção 3.5, é necessário realizar o levantamento do consumo anual de energia no IFTO - Campus Palmas. Os valores foram retirados das contas de energia referentes ao período de março/2019 a fevereiro/2020. Como explicado anteriormente, tanto para análise da viabilidade técnica quanto para a análise de viabilidade econômica, este período de análise de consumo foi escolhido devido a redução do consumo de energia a partir de março/2020, ocasionado pela paralisação das atividades, que foi provocada pelo risco de contaminação pelo Covid-19. Os valores de consumo mensal de energia no horário de ponta e horário fora ponta e o somatório que representa o consumo anual podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 — Consumo de energia IFTO - Campus Palmas

Mês	Ponta (kWh)	Fora Ponta (kWh)
Março/2019	15.225	73.346,00
Abril/2019	22.206	104.893,00
Maio/2019	21.880	111.497,00
Junho/2019	20.734	113.063,00
Julho/2019	14.271	75.754,00
Agosto/2019	14.783	79.535,00
Setembro/2019	24.611	124.992,00
Outubro/2019	17.727	102.057,00
Novembro/2019	15.412	110.542,00
Dezembro/2019	16.524	94.506,00
Janeiro/2020	4.249	39.724,00
Fevereiro/2020	13.458	90.884,00
Consumo Total (kWh)	201.080	1.120.793

Fonte: Autoria própria (2021).

4.5.1 Energia consumida pelo SAE

Para a determinação deste valor, foi utilizado como base o consumo anual no horário de ponta. O cálculo da energia consumida pelo SAE levou em consideração a eficiência do conversor de energia de 98,5% e a eficiência das baterias que é de 96%. A inclusão da eficiência das baterias se faz necessária pois para armazenar uma quantidade específica de energia, em função da sua eficiência a bateria consome mais energia do que foi armazenada. O valor de energia consumida anualmente pelo SAE foi determinado de acordo com o procedimento descrito na sessão 3.5.1, que teve como resultado o valor de 212.648,05 kWh. Este valor representa a quantidade de energia que deve ser consumida anualmente pelo SAE para que este seja capaz de suprir todo o consumo de energia do IFTO - Campus Palmas no horário de ponta.

4.6 Determinação de custos iniciais, custos operacionais e receitas

4.6.1 Custos iniciais (CAPEX)

O termo CAPEX vem da expressão inglesa Capital Expenditure que significa Despesas de Capitais ou Investimentos em Bens de Capitais. Portanto, o CAPEX

envolve todos os custos relacionados à aquisição de equipamentos e instalações que visam a melhoria de um produto, serviço ou de uma empresa em si. Em análises de viabilidade econômica de projetos, o CAPEX é a medida de base para calcular o retorno sobre o Investimento em determinado projeto (Freitas, 2016).

Os custos iniciais da implantação do SAE no IFTO - Campus Palmas levarão em consideração o investimento para aquisição e instalação dos equipamentos necessários para o funcionamento do sistema. O orçamento descrito na sessão 4.2 contempla os custos de um SAE completo, com inclusão de instalação, frete e todos os impostos que incidem sobre o produto. Esse valor deve ser somado ao custo do relé de proteção sugerido na sessão 4.3.3.1, assim o CAPEX do projeto será de R\$ 4.686.226,46. Este valor é a soma de R\$ 4.679.726,46 referente ao SAE e R\$ 6.500,00 referente ao relé de proteção.

4.6.2 Custos operacionais (OPEX)

O termo OPEX vem da expressão inglesa Operational Expenditure, que em português significa despesas operacionais. Em resumo, o OPEX refere-se a todas as despesas cotidianas que um determinado investimento apresenta para manter seu funcionamento (Freitas, 2016).

De acordo com Hoff & Lin (2016 *apud* THOMÉ, 2017), os custos operacionais relacionados a um Sistema de Armazenamento de Energia estão divididos em custo de energia armazenada, manutenção, reparo, energia auxiliar e gerenciamento e manutenção do sistema. Sendo que, manutenção, reparo, energia auxiliar e gerenciamento e manutenção do sistema de baterias podem ser considerados percentuais do investimento inicial, de acordo com os modelos desenvolvidos no trabalho publicado pelos autores. Sendo assim, são considerados 0,2%, 2%, 0,2% e 1,2% do CAPEX para os custos de manutenção, reparo, energia auxiliar e gerenciamento e manutenção do sistema, respectivamente.

Já os custos de energia armazenada referem-se ao valor gerado pelo consumo no horário fora ponta para armazenar energia nas baterias e consumir no horário de

ponta. Esse custo pode ser determinado multiplicando a energia consumida pelo SAE e a tarifa no horário fora ponta.

$$\text{Custo Energia Armazenada (R\$)} = \text{Energia C. pelo SAE} \times \text{Tarifa HFP} \quad (5)$$

$$\text{Custo Energia Armazenada (R\$)} = 212.648,05 \times 0,38325 \quad (5.1)$$

$$\text{Custo Energia Armazenada (R\$)} = 81.497,36 \quad (5.2)$$

Onde:

Energia C. pelo SAE = Energia consumida pelo SAE.

Tarifa HFP = Tarifa horário fora ponta.

Assim, foram definidos todos os custos operacionais do projeto anualmente, esses valores farão parte da análise de viabilidade econômica do investimento.

4.6.3 Receitas geradas pela utilização do SAE

O cálculo das receitas é realizado para identificar a capacidade do projeto em gerar dinheiro para o investidor. A receita gerada pela implantação de um SAE pode ser vista como a economia gerada pela diferença da tarifa entre o momento que a energia será armazenada e o momento que a energia será consumida. Para isso, é necessário calcular o custo anual de consumo de energia no cenário atual e o custo anual de consumo de energia após a instalação do SAE.

Primeiramente deve-se calcular o custo anual para fornecer energia para a carga com utilização da rede da concessionária, que será chamado de Custo energia sem SAE, esse valor será determinado pela multiplicação do consumo anual de energia na ponta e a tarifa do horário de ponta mais o consumo anual fora ponta multiplicado pela tarifa fora ponta.

$$\text{Custo energia sem SAE (R\$)} = \text{Con. HP} \times \text{Tarifa HP} + \text{Con. HFP} \times \text{Tarifa HFP} \quad (6)$$

$$\text{Custo energia sem SAE (R\$)} = 201.080 \times 2,95713 + 1.120.793 \times 0,38325 \quad (6.1)$$

$$\text{Custo energia sem SAE (R\$)} = 1.024.163,62 \quad (6.2)$$

Onde:

Con. HP = Consumo horário de ponta.

Tarifa HP = Tarifa horário de ponta.

Con. HFP = Consumo horário fora de ponta.

Tarifa HFP = Tarifa horário fora de ponta.

Para encontrar o valor anual da energia consumida no novo cenário, ou seja, após a instalação do SAE, deve-se somar o consumo anual no horário fora ponta com a energia consumida pelo SAE e multiplicar pela tarifa do horário fora ponta, que é a tarifa referente ao único momento que será demandada energia da rede da concessionária. Esse valor foi chamado de Custo energia com SAE, o cálculo para determinação desse valor pode ser observado a seguir.

$$\text{Custo energia c/ SAE (R\$)} = (\text{Con. HFP} + \text{Energia C. pelo SAE}) \times \text{Tarifa HFP} \quad (7)$$

$$\text{Custo energia c/ SAE (R\$)} = (1.120.793 + 212.648,05) \times 0,38325 \quad (7.1)$$

$$\text{Custo energia c/ SAE (R\$)} = 511.041,28 \quad (7.2)$$

Onde:

Con. HFP = Consumo horário fora de ponta.

Energia C. pelo SAE = Energia consumida pelo SAE.

Tarifa HFP = Tarifa horário fora de ponta.

A receita anual obtida pela instalação do SAE foi calculada fazendo a diferença entre o Custo energia sem SAE e o Custo energia com SAE, o resultado dessa subtração foi de R\$ 513.122,34. Este valor representa a economia anual obtida através da instalação do SAE para fornecimento de energia no horário de ponta no IFTO - Campus Palmas.

4.7 Análise de viabilidade econômica

A viabilidade econômica será analisada comparando os gastos do IFTO - Campus Palmas com energia no período de quinze anos sem a instalação do SAE e com a instalação do SAE.

A análise de parâmetros como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback Descontado será de suma importância para determinar se a instalação do SAE para operação no horário de ponta no IFTO - Campus Palmas é economicamente viável.

4.7.1 Determinação da TMA

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) utilizada nos cálculos dos parâmetros econômicos foi definida com base em investimentos de renda fixa e de baixo risco, como o Tesouro IPCA, que são títulos oferecidos pelo Tesouro Direto, um programa de negociação de ativos públicos do Governo Federal. Uma consulta feita no site do Tesouro Direto mostra que para títulos do Tesouro IPCA considerando um investimento com vencimento em 2035, ou seja, 15 anos que é o período semelhante a vida útil do SAE, a taxa de juros é de 3,6%, logo esta será a TMA nesta análise de viabilidade econômica.

4.7.2 Análise econômica

Primeiramente foram calculados os parâmetros econômicos considerando o gasto atual de energia. Como não há nenhum investimento inicial, não é possível calcular a TIR e o Payback Descontado.

O ano 0 não possui gastos pois não é necessário realizar nenhum investimento. Do ano 1 ao ano 15, o gasto considerado foi o valor pago anualmente pela energia consumida da rede, o custo é de R\$ 1.024.163,62, este valor foi calculado na sessão 4.6.3 e foi chamado de Custo energia sem SAE.

O VPL foi calculado a partir da Equação 2, podendo ser observado na Tabela 5 o valor referente a cada ano.

Tabela 5 — Gastos com energia sem SAE

Gastos - Sem SAE		
TMA		3,60%
Ano	Fluxo de Caixa (R\$)	VPL (R\$)
0	0	0
1	1.024.163,62	988.574,92
2	1.024.163,62	954.222,90
3	1.024.163,62	921.064,57
4	1.024.163,62	889.058,47
5	1.024.163,62	858.164,55
6	1.024.163,62	828.344,16
7	1.024.163,62	799.560,00
8	1.024.163,62	771.776,06
9	1.024.163,62	744.957,58
10	1.024.163,62	719.071,03
11	1.024.163,62	694.084,00
12	1.024.163,62	669.965,25
13	1.024.163,62	646.684,61
14	1.024.163,62	624.212,94
15	1.024.163,62	602.522,15
Total (R\$)		11.712.263,19

Fonte: Autoria própria (2021).

O gasto total ao final de 15 anos, considerando os valores atualizados ao longo do tempo foi de R\$ 11.712.163,19. Esse valor representa o gasto total com energia no IFTO - Campus Palmas caso não seja feito nenhum investimento relacionado a projetos que visam a redução das faturas de energia da unidade consumidora.

Um outro quadro de gastos foi desenvolvido, porém, este relaciona todos os gastos após a instalação do SAE. O Fluxo de Caixa representa todas as saídas em cada ano de operação do sistema. No ano 0, o valor é apenas o custo referente ao CAPEX do projeto. Do ano 1 ao ano 3, o valor representa a soma entre os custos com consumo de energia no horário fora de ponta e os custos operacionais (OPEX), porém neste período, entre os custos operacionais foi considerado apenas o Custo da Energia Armazenada, que não está incluso na garantia do SAE que é de 3 anos. Por fim, do ano 4 ao ano 15, além dos custos com consumo no horário de ponta e custos com energia armazenada, inclui-se também no fluxo de caixa o valor referente a custos operacionais como custos de manutenção, reparo, energia auxiliar e

gerenciamento e manutenção do sistema, que somados representam 3,6% do CAPEX, como foi descrito na sessão 4.6.2.

Tabela 6 — Gastos com energia da rede e com SAE

Gastos - Com SAE		
TMA		3,60%
Ano	Fluxo de Caixa (R\$)	VPL (R\$)
0	4.686.226,46	4.686.226,46
1	511.041,28	493.283,09
2	511.041,28	476.141,98
3	511.041,28	459.596,51
4	679.511,43	589.871,95
5	679.511,43	569.374,47
6	679.511,43	549.589,26
7	679.511,43	530.491,56
8	679.511,43	512.057,49
9	679.511,43	494.263,99
10	679.511,43	477.088,79
11	679.511,43	460.510,42
12	679.511,43	444.508,13
13	679.511,43	429.061,90
14	679.511,43	414.152,41
15	679.511,43	399.761,01
Total (R\$)		11.988.001,11

Fonte: Autoria própria (2021).

Os gastos totais considerando consumo de energia no horário fora de ponta e aquisição, instalação, operação e manutenção do Sistema de Armazenamento de Energia ao final de 15 anos são de R\$ 11.988.001,11. Comparando a Tabelas 5 e a Tabela 6 é possível notar que após a instalação do sistema, em um período de 15 anos os gastos com energia no IFTO - Campus Palmas cresceram em relação ao cenário sem a instalação do SAE. Analisando somente estes dados considera-se a princípio que o investimento no Sistema de Armazenamento de Energia proposto neste trabalho é economicamente inviável, porém é necessário analisar as economias geradas pelo sistema ano a ano, assim será possível definir a TIR e o Payback Descontado.

Para uma análise mais detalhada, foi elaborada a Tabela 7, que relaciona investimentos e economias referentes a cada ano de operação do SAE.

Tabela 7 — Análise econômica

Dados Econômicos			
Ano	Fluxo de Caixa (R\$)	VPL (R\$)	Fluxo de Caixa Atualizado (R\$)
0	-4.686.226,46	-4.686.226,46	-4.686.226,46
1	513.122,34	495.291,83	-4.190.934,63
2	513.122,34	478.080,92	-3.712.853,71
3	513.122,34	461.468,07	-3.251.385,64
4	344.652,19	299.186,51	-2.952.402,26
5	344.652,19	288.790,07	-2.663.808,26
6	344.652,19	278.754,90	-2.385.242,62
7	344.652,19	269.068,43	-2.116.356,87
8	344.652,19	259.718,56	-1.856.814,64
9	344.652,19	250.693,59	-1.606.291,26
10	344.652,19	241.982,23	-1.364.473,31
11	344.652,19	233.573,59	-1.131.058,31
12	344.652,19	225.457,13	-905.754,26
13	344.652,19	217.622,71	-688.279,30
14	344.652,19	210.060,53	-478.361,39
15	344.652,19	202.761,13	-275.737,92
Total (R\$)		-275.737,92	
TIR		-0,88%	

Fonte: Autoria própria (2021).

O fluxo de caixa nada mais é do que a relação entre entradas e saídas referentes a cada ano, os valores foram obtidos subtraindo os gastos de cada ano no cenário sem o SAE pelos gastos de cada ano no cenário com o SAE. Assim, o ano 0 assume o valor do CAPEX, este valor fica negativo pois é uma saída. Do ano 1 ao ano 15, o valor apresentado para cada ano é a economia gerada pela instalação do sistema, ou seja, são as entradas referentes a cada ano.

O VPL das entradas e saídas foi calculado através da Equação 2 e representa o valor do dinheiro considerando sua desvalorização ao longo do tempo. O somatório do VPL ao final dos 15 anos é de -R\$ 275.737,92. Como citado na sessão 3.6.1, o VPL com valor negativo representa que o investimento não trará lucros ao investidor.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) foi calculada através da Equação 3. Como pode ser visto na Tabela 7, o valor encontrado para o investimento em questão é de -0,88%. Este valor é inferior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) que é de 3,6%. Além

disso, a TIR encontrada é negativa, isso quer dizer que ao invés de gerar lucros, caso seja feito como proposto nesse trabalho, o investimento irá gerar despesas ao longo dos 15 anos. Sendo assim, pela análise da TIR o investimento não é economicamente viável.

Por fim, resta apenas a análise do Payback Descontado, que é o período necessário para que o retorno acumulado de um investimento se iguale ao capital investido. Para isto, foram observados os valores do Fluxo de Caixa Acumulado, mostrados na Tabela 7, onde é possível notar que em nenhum momento durante o período escolhido para análise do investimento, o FCA teve seu valor zerado ou positivo. Podemos afirmar através da análise do Payback Descontado que o investimento analisado não se paga durante sua vida útil de 15 anos como foi estabelecida.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi possível conhecer as particularidades dos Sistemas de Armazenamento de Energia (SAEs), principalmente os que fazem uso de baterias de íons de lítio como fonte de armazenamento, onde foram apresentadas as principais características e aplicações destes sistemas. O trabalho teve como foco principal a análise da viabilidade técnica e econômica da implantação de um SAE no IFTO - Campus Palmas como alternativa para redução de custos com energia elétrica na instituição.

5.1 Conclusões

Em relação a parte técnica, conclui-se que o Sistema de Armazenamento de Energia analisado neste trabalho atendeu todos os requisitos técnicos necessários para viabilizar a conexão do sistema à unidade consumidora. Em termos de fornecimento de energia, pode-se observar que o SAE foi dimensionado para abater todo o consumo de energia do horário de ponta no IFTO - Campus Palmas, armazenando energia suficiente para suprir o consumo até mesmo no seu último dia de operação caso a instituição não aumente seu consumo máximo diário em relação

ao que foi analisado na sessão 4.1.2. Além disso, a tensão de conexão dos equipamentos foi compatibilizada com a tensão do barramento existente no ponto de conexão através de um transformador que também possui potência adequada para a aplicação.

A viabilidade econômica foi analisada através de parâmetros bastante utilizados em análises financeiras dos mais variados tipos de investimentos. A partir da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) que foi definida em 3,6% de acordo a sessão 4.7.1, foi possível encontrar o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) do investimento necessário para a implantação do SAE proposto neste trabalho. Os valores encontrados são -R\$ 275.737,92 para o VPL e -0,88% para a TIR. Esses dois resultados indicam que o investimento não trará resultados positivos ao longo do período de 15 anos, que é a vida útil do SAE, sendo assim, o investimento proposto neste trabalho não é economicamente viável. Outro parâmetro que comprova esta afirmação é o Payback Descontado, analisado a partir do Fluxo de Caixa Acumulado do investimento, este parâmetro revela que o capital investido no SAE não será recuperado ao longo da vida útil do sistema.

Um dos principais fatores que influenciaram na inviabilidade econômica do projeto foi o alto custo do investimento inicial, que tem como maior parcela o custo das baterias de íons de lítio. Porém, o projeto poderá se tornar economicamente viável em um pequeno prazo de tempo, já que o custo de baterias vem sofrendo quedas bastante expressivas ao longo dos últimos anos. Além disso, características técnicas como eficiência e redução de capacidade de armazenamento das baterias podem sofrer melhoras ao longo dos anos, reduzindo ainda mais o investimento inicial e os custos operacionais do projeto.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Tendo em vista a crescente evolução das tecnologias e a redução dos custos relacionados aos Sistemas de Armazenamento de Energia, fica sugerido a realização deste estudo a cada período de dois anos. Como sugestões para trabalhos futuros aconselha-se a realização de um estudo de viabilidade econômica analisando além da redução de consumo no horário de ponta, outros benefícios decorrentes da

implantação destes sistemas, como a redução da demanda contratada, que implicará em economia na fatura de energia e a integração do Sistema de Armazenamento de Energia com o sistema fotovoltaico presente no IFTO - Campus Palmas, utilizando o sistema fotovoltaico para carregar as baterias, reduzindo os custos operacionais do SAE.

REFERÊNCIAS

ANE BRASIL. Academia Nacional de Engenharia. **Armazenamento de energia:** Situação atual, perspectivas e recomendações. 2016. Disponível em: < <https://anebrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/05/Armazenamento-de-Energia-Fev-2017.pdf> >. Acesso em 17 de Julho de 2020.

ANEEL. **Bandeiras Tarifárias.** 2019. Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias> >. Acesso em 03 de Agosto de 2020.

ANEEL. **Postos Tarifários.** 2015. Disponível em: < https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/alta-tensao/654800?inheritRedirect=false >. Acesso em 21 de Julho de 2020.

BONA, André. **Descubra o que é VPL e qual a sua importância nos investimentos.** 2019. Disponível em: < <https://andrebona.com.br/descubra-o-que-e-vpl-e-qual-sua-importancia-nos-investimentos/> >. Acesso em 06 de Julho de 2020.

BUENO, A.F.M.; BRANDÃO, C.A.L. **Visão Geral de tecnologia e Mercado para os Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica no Brasil.** 2017. Disponível em: < http://abaque.com.br/wpcontent/uploads/2017/07/Estudo_Mercado_Armazenamento_Brasil.pdf >. Acesso em 18 de Maio de 2020.

CAPITAL RESEARCH. **Como calcular a TIR e usar a Taxa Interna de Retorno para investir.** 2019. Disponível em: < <https://www.capitalresearch.com.br/blog/investimentos/como-calcular-a-tir/> >. Acesso em 11 de Julho de 2020.

CAPITAL RESEARCH. **Payback simples:** o que é e como calcular. 2020. Disponível em: < <https://www.capitalresearch.com.br/blog/investimentos/payback-simples/> >. Acesso em 21 de Julho de 2020.

CPFL SOLUÇÕES. **O que é tarifa de energia e como ela é calculada na conta de luz?** 2019. Disponível em: < <https://cpflsolucoes.com.br/blog/o-que-e-tarifa-de-energia-e-como-ela-e-calculada-na-conta-de-luz/> >. Acesso em 03 de Agosto de 2020.

Energisa Tocantins. **Agência Virtual.** 2021. Disponível em: < <https://www.energisa.com.br/agenciavirtual/> >. Acesso em 05 de Janeiro de 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Sistemas de Armazenamento de Energia:** Aplicações e Questões Relevantes para o Planejamento. 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 18 de Maio de 2020.

Freitas, R. C. **CAPEX x OPEX: entenda as principais diferenças e saiba o que levar em consideração na hora de escolher**. 2016. Disponível em: < <https://www.treasy.com.br/blog/capex-x-opex/>>. Acesso em 15 de Janeiro de 2021.

GONÇALVES, Thiago. **Taxa Interna de Retorno (TIR): o que é e como calcular**. 2019. Disponível em: < <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/taxa-interna-de-retorno> >. Acesso em 11 de Junho de 2020.

GUADAGNIN, Claudia. **Baterias mais baratas vão popularizar os carros elétricos**. 2016. Disponível em: < <https://www.gazetadopovo.com.br/economia/energia-e-sustentabilidade/baterias-mais-baratas-vao-popularizar-os-carros-eletricos-afnnvprivhodire3knxvhedw/>>. Acesso em 15 de Janeiro de 2021.

HISOUR. **ARMAZENAMENTO DE ENERGIA**. 2018. Disponível em: < <https://www.hisour.com/pt/energy-storage-42824/> >. Acesso em 20 de Junho de 2020.

IFTO. Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas. **Institucional**. 2016. Disponível em: < <http://www.ifto.edu.br/palmas/acesso-a-informacao-palmas/institucional> >. Acesso em 20 de Junho de 2020.

JUNGES, Cíntia. **Crescimento das fontes eólica e solar cria novo mercado para estocar energia**. *Gazeta do Povo*. 2016. Disponível em: < <https://www.gazetadopovo.com.br/economia/energia-e-sustentabilidade/crescimento-das-fontes-eolica-e-solar-cria-novo-mercado-para-estocar-energia-3hgq7iv72nhnop3s5teca0gli/> >. Acesso em 15 de Julho de 2020.

LAU, Lucas. **The Chemistry of Energy Storage Systems**. 2017. Disponível em: < <https://shareenergy.com.br/entenda-as-modalidades-de-tarifa-de-energia-eletrica/> >. Acesso em 25 de Julho de 2020.

NOVAIS, MARIA I. O. **ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE GRUPO DE GERADOR A DIESEL NO INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS - IFTO CAMPUS PALMAS**. Dezembro de 2019.

ROSOLEM, M. et al. – **Bateria de lítio-íon: conceitos básicos e potencialidades**. Cad. CPqD Tecnologia, Campinas, v. 8, n. 2, p. 59-72. Dezembro de 2012.

SCHULTZ, Felix. **Saiba tudo sobre a TMA – Taxa Mínima de Atratividade**. 2019. Disponível em: < <https://bomcontrole.com.br/tma-taxa-minima-de-atratividade/> >. Acesso em 14 de Julho de 2020.

THOMÉ, Matheus H. C. **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE BATERIAS DE LÍTIO-ÍON EM UNIDADES CONSUMIDORAS CONECTADAS NA MÉDIA TENSÃO**. Dezembro de 2017.

WEG Automação LTDA. **Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias ESSW**. 2020. Disponível em: < https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Critical-Power/Armazenamento-de-Energia-em-Baterias/Sistema-de-Armazenamento-de-Energia-em-Baterias-ESSW/Sistema-de-Armazenamento-de-Energia-em-Baterias-ESSW/p/MKT_WDC_BRAZIL_SISTEMA_ESSW>. Acesso em 05 de Janeiro de 2021.