

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

Matheus Vinícius dos Santos Mello

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLEMENTAÇÃO
DE UM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NO
HORÁRIO FORA-PONTA PARA CONSUMIDORES RESIDENCIAIS**

Cachoeira do Sul, RS, Brasil

2021

Matheus Vinícius dos Santos Mello

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLEMENTAÇÃO
DE UM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NO
HORÁRIO FORA-PONTA PARA CONSUMIDORES RESIDENCIAIS**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), campus Cachoeira do Sul como requisito para a obtenção do título de **Engenheiro Eletricista**.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Vargas Luz

Cachoeira do Sul, RS, Brasil

2021

Matheus Vinícius dos Santos Mello

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLEMENTAÇÃO
DE UM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NO
HORÁRIO FORA-PONTA PARA CONSUMIDORES RESIDENCIAIS**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Campus Cachoeira do Sul como requisito para a obtenção do título de **Engenheiro Eletricista**.

Aprovado em 06 de Setembro de 2021

Paulo César Vargas Luz, Dr. (UFSM)
(Orientador)

Laura Lisiane Callai dos Santos, Dra. (UFSM)

Dion Lenon Prediger Feil, Dr. (UFSM)

Cachoeira do Sul, RS, Brasil

2021

NUP: 23081.075962/2021-06 **Prioridade:** Normal

Homologação de ata de defesa de TCC e estágio de graduação

125.322 - Bancas examinadoras de TCC: indicação e atuação

COMPONENTE

Ordem	Descrição	Nome do arquivo
1	Ata de defesa de trabalho de conclusão de curso (TCC) (125.322)	tcc_2_versao_final_Matheus_Mello_assinatura.pdf

Assinaturas

13/09/2021 09:24:50

PAULO CÉSAR VARGAS LUZ (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR)

31.04.00.00.0.0 - COORDENAÇÃO ACADÊMICA - UFSM-CS - C_ACA_CampusCS

13/09/2021 09:31:19

LAURA LISIANE CALLAI DOS SANTOS (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR)

31.04.00.00.0.0 - COORDENAÇÃO ACADÊMICA - UFSM-CS - C_ACA_CampusCS

13/09/2021 09:36:36

DION LENON PREDIGER FEIL (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR)

31.04.00.00.0.0 - COORDENAÇÃO ACADÊMICA - UFSM-CS - C_ACA_CampusCS



Código Verificador: 848660

Código CRC: ef22162a

Consulte em: <https://portal.ufsm.br/documentos/publico/autenticacao/assinaturas.html>



À minha esposa e familiares.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me permitir realizar este sonho e concluir este trabalho, sem Ele nada seria possível.

Agradeço a minha esposa Jordana, minha companheira, que incansavelmente me acompanhou durante toda esta jornada, me dando todo o apoio, auxílio e motivação, principalmente nos momentos mais difíceis.

Agradeço a todos os meus familiares, principalmente meus pais, Celírio e Nerci, ao qual não mediram esforços para que eu chegasse à realização deste sonho.

Agradeço ao meu amigo e Professor, Dr. Paulo César Vargas Luz, por todas as orientações, empenho, paciência e principalmente, por acreditar e não desistir do projeto, me motivando para que este trabalho fosse concluído.

Agradeço aos Professores, Dra. Laura Lisiane Callai dos Santos e Dr. Dion Lenon Prediger Feil, na qual contribuíram, se dedicando com muito empenho e paciência, para que este trabalho fosse concluído.

Agradeço a todos os professores da UFSM - CS, em especial aos docentes da Engenharia Elétrica, profissionais de excelente qualidade, pelo aprendizado e empenho disponibilizado ao longo desta caminhada.

Agradeço a todos os colegas e amigos, que trilharam juntamente comigo esta etapa importante de minha vida.

Agradeço a todos os colaboradores e funcionários da UFSM-CS, desde os servidores da limpeza, RU, seguranças, ao diretor da Instituição, ao qual possibilitam, diariamente, seus esforços para obtermos o aprendizado.

*“Pois D’Ele, por Ele e para Ele são todas as coisas.
A Ele seja a glória para sempre, amém.”*

Romanos 11:36

RESUMO

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NO HORÁRIO FORA-PONTA PARA CONSUMIDORES RESIDENCIAIS

AUTOR: Matheus Vinícius dos Santos Mello

ORIENTADOR: Paulo César Vargas Luz

Este trabalho visa analisar a viabilidade econômica da adesão de consumidores residenciais de baixa tensão, à Tarifa Branca, juntamente com um sistema de armazenamento de energia. Estes consumidores utilizam para faturamento de suas contas de energia, a Tarifa Convencional, onde o consumo é faturado pelo mesmo valor durante todo o dia. Diferentemente, a Tarifa Branca proporciona aos consumidores de Baixa Tensão (BT), a opção de pagar diferentes valores pela energia consumida, dependendo da hora e do dia da semana. Nos dias úteis, a tarifa branca apresenta três valores diferentes de faturamento de energia, chamados postos tarifários: fora de ponta, intermediário e ponta. No horário fora ponta, a tarifa de energia, se torna menor, em comparação com a Tarifa Convencional. Nos horários de tarifa intermediária e ponta, esta tarifa se torna maior em relação à Tarifa Convencional. Visivelmente, a Tarifa Branca foi criada para incentivar a redução de consumo no chamado horário de ponta, onde a demanda de energia é muito elevada, ocasionando maiores investimentos por parte das concessionárias. Ocasionalmente, esta nova modalidade tarifária, incentiva à mudança de hábitos de consumo, fazendo com que sua adesão ainda tenha muita resistência por parte dos consumidores. Desta forma, é proposto o sistema de armazenamento de energia em baterias, aliado a escolha do faturamento pela Tarifa Branca. Este sistema utilizará, para abastecimento de suas baterias, energia no horário fora ponta, sendo esta energia armazenada, utilizada no horário de maior demanda, no horário de ponta, gerando uma economia mensal, sem que estes mudem seus hábitos de consumo.

Palavras-chave: Tarifa Convencional. Tarifa Branca. Sistema de armazenamento de energia. SEP.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE ECONOMIC FEASIBILITY FOR IMPLEMENTING AN OFF-END TIME ENERGY STORAGE SYSTEM FOR RESIDENTIAL CONSUMERS

AUTHOR: Matheus Vinícius dos Santos Mello

ADVISER: Paulo César Vargas Luz

This work aims to analyze the economic viability of the adhesion of low voltage residential consumers to the White Tariff, together with an energy storage system. These consumers use the Conventional Tariff for billing their energy bills, where consumption is billed for the same amount throughout the day. In contrast, the White Tariff provides Low Voltage (LV) consumers with the option of paying different amounts for the energy consumed depending on the time and day of the week. On weekdays, they will have three different amounts of energy billing, called tariff posts: off-peak, intermediate and peak. During off-peak hours, the energy tariff becomes lower compared to the Conventional Tariff. During intermediate and peak fare times, this fare becomes higher in relation to the Conventional Fare. Clearly, the White Tariff was created to encourage a reduction in consumption during so-called peak hours, when energy demand is very high, causing greater investments by concessionaires. Occasionally, this new tariff modality encourages a change in consumption habits, causing its adhesion to still have a lot of resistance from consumers. Thus, the energy storage system in batteries is proposed, combined with the choice of billing by the White Tariff. This system will use off-peak hours to supply its batteries, with this energy being stored, used at peak hours, generating monthly savings, without changing their consumption habits.

Keywords: Conventional Rate. White Rate. Energy storage system. SEP.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Grupos de consumidores de energia elétrica no Brasil.	17
Tabela 2 - Grupos de consumidores do Subgrupo B1.	26
Tabela 3 - Valores tarifários da concessionária RGE em R\$/kWh.	34
Tabela 4 - Características técnicas e econômicas das baterias estacionárias.	51
Tabela 5 - Características técnicas e econômicas das baterias de Íon-Lítio.	54
Tabela 6 - Características técnicas e econômicas dos inversores.	59
Tabela 7 - Características técnicas e econômicas dos carregadores de baterias.	62
Tabela 8 - Características técnicas e econômicas dos relés de estado sólido.	65
Tabela 9 - Características técnicas e econômicas do sistema, para o grupo 1, 31 à 100 kWh de consumo mensal, utilizando baterias de íons de lítio.	72
Tabela 10 - Características dos indicadores de viabilidade econômica do sistema, para o grupo 1, 31 à 100 kWh de consumo mensal.	73
Tabela 11 - Características técnicas e econômicas do sistema, para o grupo 2, 101 à 160 kWh de consumo mensal, utilizando baterias de íons de lítio.	75
Tabela 12 - Características dos indicadores de viabilidade econômica do sistema, para o grupo 2, 101 à 160 kWh de consumo mensal.	76
Tabela 13 - Características técnicas e econômicas do sistema, para o grupo 3, 161 à 300 kWh de consumo mensal, utilizando baterias de íons de lítio.	78
Tabela 14 - Características dos indicadores de viabilidade econômica do sistema, para o grupo 3, 161 à 300 kWh de consumo mensal.	79
Tabela 15 - Características técnicas e econômicas do sistema, para o grupo 4, 301 à 500 kWh de consumo mensal, utilizando baterias de íons de lítio.	81
Tabela 16 - Características dos indicadores de viabilidade econômica do sistema, para o grupo 4, 301 à 500 kWh de consumo mensal.	82
Tabela 17 - Características técnicas e econômicas do sistema, para o grupo 5, acima de 500 kWh de consumo mensal, utilizando baterias de íons de lítio.	85
Tabela 18 - Características dos indicadores de viabilidade econômica do sistema, para o grupo 5, acima de 500 kWh de consumo mensal.	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rede elétrica convencional.	15
Figura 2 - Composição do mercado dividido pelos grupos A e B.	18
Figura 3 - Estrutura tarifária Verde.....	22
Figura 4 - Estrutura tarifária Azul.	24
Figura 5 - Tarifa Convencional.	25
Figura 6 - Tarifa Branca.....	25
Figura 7 - Perfil Diário dos dias úteis para a classe de 31 a 100 kWh.	27
Figura 8 - Perfil Diário dos sábados, domingos e feriados nacionais para a classe de 31 a 100 kWh.	28
Figura 9 - Perfil Diário dos dias úteis para a classe de 101 a 160 kWh.	28
Figura 10 - Perfil Diário dos sábados, domingos e feriados nacionais para a classe de 101 a 160 kWh.	29
Figura 11 - Perfil Diário dos dias úteis para a classe de 161 a 300 kWh.	29
Figura 12 - Perfil Diário dos sábados, domingos e feriados nacionais para a classe de 161 a 300 kWh.	30
Figura 13 - Perfil Diário dos dias úteis para a classe de 301 a 500 kWh.	30
Figura 14 - Perfil Diário dos sábados, domingos e feriados nacionais para a classe de 301 a 500 kWh.	31
Figura 15 - Perfil Diário dos dias úteis para a classe acima de 500 kWh.....	31
Figura 16 - Perfil Diário dos sábados, domingos e feriados nacionais para a classe acima de 500 kWh.	32
Figura 17 - Postos Tarifários para o Grupo B.....	33
Figura 18 - Ranking de Tarifa Residencial.....	35
Figura 19 - Valores pagos mensalmente em reais (R\$), Tarifa Convencional e Branca para todas as classes de consumo do subgrupo B1.	37
Figura 20 - Valores pagos mensalmente em reais (R\$), Tarifa Convencional e Branca Deslocada para todas as classes de consumo do subgrupo B1.....	38
Figura 21 - Relação em porcentagem entre a Economia e o Deslocamento de Consumo.	40
Figura 22 - Exemplo de Tarifa Convencional mais acessível que a Tarifa Branca.	41
Figura 23 - Metodologia proposta.	42

Figura 24 - Diagrama esquemático do sistema proposto.....	45
Figura 25 - Tecnologias de armazenamento em baterias.....	47
Figura 26 - Bateria de chumbo - ácido.....	49
Figura 27 - Bateria de Fluxo Vanádio Redox.....	50
Figura 28 - Bateria Estacionária.....	50
Figura 29 - Preço das baterias, em função da energia armazenada.....	55
Figura 30 - Bateria Solar Energy Source Power.	55
Figura 31 - Inversor CC-CA.....	57
Figura 32 - Preço (R\$) do inversor em função da potência (W).	60
Figura 33 - Carregador de baterias.....	61
Figura 34 - Preço (R\$) do carregador de baterias em função da potência (W).	63
Figura 35 - Microcontrolador ESP32 NodeMCU.....	64
Figura 36 - Relé de estado sólido.	65
Figura 37 - Valores em porcentagem, dos elementos do sistema.....	70
Figura 38 - Valores pagos em dias úteis pelos consumidores da classe de 31 a 100 kWh.	71
Figura 39 - Valores pagos em finais de semana e feriados nacionais pelos consumidores da classe de 31 a 100 kWh.	72
Figura 40 - Valores pagos em dias úteis pelos consumidores da classe de 101 a 160 kWh.	74
Figura 41 - Valores pagos em finais de semana e feriados nacionais pelos consumidores da classe de 101 a 160 kWh.	75
Figura 42 - Valores pagos em dias úteis pelos consumidores da classe de 161 a 300 kWh.	77
Figura 43 - Valores pagos em finais de semana e feriados nacionais pelos consumidores da classe de 161 a 300 kWh.	78
Figura 44 - Valores pagos em dias úteis pelos consumidores da classe de 301 a 500 kWh.	80
Figura 45 - Valores pagos em finais de semana e feriados nacionais pelos consumidores da classe de 301 a 500 kWh.	81
Figura 46 - Valores pagos em dias úteis pelos consumidores da classe acima de 500 kWh	83
Figura 47 - Valores pagos em finais de semana e feriados nacionais pelos consumidores da classe acima de 500 kWh.....	84

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
AT	- Alta Tensão
BT	- Baixa Tensão
B1	- Subgrupo de Baixa Tensão Residencial
CA	- Corrente Alternada
CC	- Corrente Contínua
CPFL	- Companhia Paulista de Força e Luz
E	- Energia
EFP	- Energia Fora de Ponta
EI	- Energia Intermediária
EP	- Energia de Ponta
GD	- Geração Distribuída
GLD	- Gerenciamento pelo Lado da Demanda
HOMER	- Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
ICMS	- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
kW	- Quilowatts
kWh	- Quilowatts - hora
MWh	- Mega Watts - hora
MME	- Ministério de Minas e Energia
NREL	- National Renewable Energy Laboratory
REI	- Rede Elétrica Inteligente
RGE	- Rio Grande Energia
RN	- Resolução Normativa
SAE	- Sistema de Armazenamento de Energia
SEB	- Setor Elétrico Brasileiro
SEP	- Sistema Elétrico de Potência
TE	- Tarifa de Energia
TUSD	- Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	- Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão
ONS	- Operador Nacional do Sistema Elétrico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CARACTERIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	11
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	OBJETIVO GERAL	12
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	CONTEXTO NACIONAL	15
2.1.1	GRUPOS DE CONSUMIDORES	16
2.1.2	ESTRUTURA TARIFÁRIA BRASILEIRA	18
2.1.3	GRUPO DE CONSUMIDORES A - ALTA TENSÃO	19
2.1.3.1	<i>Estrutura tarifária Convencional AT</i>	19
2.1.3.2	<i>Estrutura tarifária Verde</i>	20
2.1.3.3	<i>Estrutura tarifária azul</i>	22
2.1.4	GRUPO DE CONSUMIDORES B - BAIXA TENSÃO	24
2.1.4.1	<i>Estrutura Tarifária Convencional BT</i>	26
2.1.4.2	<i>Perfis de consumo - subgrupo B1</i>	26
2.1.4.3	<i>Exemplos de Perfil de consumo dos clientes de BT, subgrupo B1</i>	27
2.1.5	TARIFA BRANCA	33
2.1.6	CÁLCULO DA TARIFA	34
2.1.6.1	<i>Cálculo da Tarifa Convencional</i>	35
2.1.6.2	<i>Cálculo da Tarifa Branca</i>	36
2.1.6.3	<i>Tarifa Convencional x Tarifa Branca</i>	36
2.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	38

3	METODOLOGIA PROPOSTA.....	40
4	SISTEMA PARA ARMAZENAMENTO DE ENERGIA PROPOSTO	43
4.1	BATERIAS	46
4.1.1	BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO (PB-AC).....	48
4.1.2	BATERIA DE FLUXO VANÁDIO REDOX.....	49
4.1.3	BATERIA ESTACIONÁRIA.....	50
4.1.4	BATERIA DE ÍONS DE LÍTIO (ÍON-LI).....	51
4.2	INVERSORES (CONVERSOR CC-CA)	56
4.3	CARREGADOR DE BATERIA.....	60
4.4	PAINEL DE CONTROLE DO SISTEMA	63
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	65
5	ANÁLISE ECONÔMICA.....	67
5.1	PRAZO DE RECUPERAÇÃO DE INVESTIMENTO (PAYBACK).....	67
5.2	VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL).....	68
5.3	TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)	69
5.4	PREÇO DO SISTEMA.....	70
5.4.1	ESTUDO DE CASO I - GRUPO 1 DE BT - 31 À 100 KWH/MÊS.....	71
5.4.2	ESTUDO DE CASO II - GRUPO 2 DE BT - 101 À 160 KWH/MÊS.....	74
5.4.3	ESTUDO DE CASO III - GRUPO 3 DE BT - 161 À 300 KWH/MÊS	77
5.4.4	ESTUDO DE CASO IV - GRUPO 4 DE BT - 301 À 500 KWH/MÊS	80
5.4.5	ESTUDO DE CASO V - GRUPO 5 DE BT - ACIMA DE 500 KWH/MÊS	83
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	86
6	CONCLUSÕES	88
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	90
	REFERÊNCIAS.....	91

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo, apresentar um breve resumo do Sistema Elétrico de Potência (SEP), os grupos de consumidores existentes e quais as tarifas vigentes para estes consumidores.

1.1 CARACTERIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

O SEP define-se como o conjunto de todas as instalações, equipamentos, processos e gestão, destinados à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2012).

O setor elétrico vem sofrendo diversas alterações durante os últimos anos em todos os países do mundo, isso se justifica pelo fato do crescimento evidente da inserção de fontes alternativas e renováveis para a geração distribuída nos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2012).

Um novo modelo de sistema vem se estabelecendo em nosso País. Esta nova concepção de rede, se transformará, em um sistema inteligente, chamado Redes Elétricas Inteligentes (REIs), conhecidas também como *Smart Grids*.

A *Smart Grid* é uma rede elétrica que utiliza uma tecnologia digital avançada, que faz todo o monitoramento e gerenciamento do transporte da eletricidade em tempo real, com um fluxo de informações bidirecionais entre o sistema de fornecimento de energia e o cliente final (CGEE, 2012).

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) expediu, nos últimos anos, diferentes resoluções relacionadas ao Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD), dentre as quais se destacam as regulamentações direcionadas à modalidade tarifária horária, Tarifa Branca, aplicada às unidades consumidoras de Baixa Tensão (BT), bem como a regulamentação das condições de acesso à microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição, com a criação do sistema de compensação de energia elétrica (SANTOS, 2014).

Os consumidores de energia elétrica, hoje, ao solicitarem a disponibilidade de energia à concessionária, são classificados conforme o seu nível de tensão, podendo se enquadrar ao Grupo A, Média Tensão (MT) e Alta Tensão (AT) ou ao Grupo B, Baixa Tensão (BT).

Visando uma melhoria do sistema de tarifas brasileiro, o governo, apoiado por concessionárias e através da ANEEL, criou a nova modalidade tarifária, a Tarifa Branca (ANEEL, 2012).

A Tarifa Branca proporciona aos consumidores de BT a opção de pagar diferentes valores pela energia consumida dependendo da hora e do dia da semana. Nos dias úteis, terão três valores diferentes de faturamento de energia, chamados postos tarifários: fora de ponta, intermediário e ponta.

O valor mais alto da tarificação acontece quando há um pico de consumo, o chamado horário de ponta, que corresponde ao período de 3 (três) horas consecutivas, exceto, sábados, domingos e feriados nacionais. Este período de ponta varia de concessionária para concessionária, sendo definido em função das características de seu sistema elétrico.

A Tarifa Branca é visivelmente uma medida que visa a redução do consumo no horário de ponta. Essa redução é buscada pela concessionária, pois reduz o superdimensionamento do sistema de distribuição, devido a grande diferença entre o horário de ponta e fora de ponta, o que gerará elevados custos à empresa.

Neste contexto, este trabalho propõe a análise de viabilidade de um sistema que favoreça aos consumidores as vantagens da adesão a tarifa branca (redução da fatura) e ainda atenda as necessidades da concessionária (redução da demanda no horário de ponta), sem que o usuário tenha que realizar a mudança de hábitos de consumo. Desta forma, o sistema proposto neste trabalho, consiste em um Sistema de Armazenamento de Energia (SAE), o qual armazena no horário fora de ponta, para consumir no horário de ponta.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho, para se ter uma maior clareza, subdividem-se em objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade econômica de um sistema de armazenamento de energia, que favoreça a adesão à tarifa branca por parte dos consumidores residenciais, sem que estes tenham que mudar os hábitos de consumo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Buscar uma economia mensal na fatura de energia do consumidor residencial, subgrupo B1.
- Propiciar um sistema de armazenamento de energia, que abasteça as baterias no horário fora ponta, para utilização no horário de ponta da concessionária, sem mudar os hábitos de consumo.
- Analisar a viabilidade econômica do sistema proposto.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para a descrição do estudo sobre a análise de viabilidade econômica da implementação do sistema de armazenamento de energia, este documento encontra-se estruturado em seis capítulos, além deste Capítulo 1, de caráter introdutório.

O Capítulo 2 compreende a revisão bibliográfica sobre o contexto nacional brasileiro no setor elétrico, a estrutura tarifária vigente, os grupos consumidores e suas capacidades de tensão, perfis de consumo do subgrupo B1- baixa tensão residencial, tarifas convencional e branca, e por fim, a composição da tarifa de energia brasileira, juntamente de seus respectivos cálculos de tarifação, conforme o sistema tarifário do consumidor.

O Capítulo 3 tem como objetivo principal detalhar a metodologia proposta, contendo um cronograma de etapas para viabilizar a proposta do trabalho até chegar ao seu objetivo final.

O Capítulo 4 apresenta o sistema de armazenamento de energia proposto, juntamente do diagrama esquemático de como funcionará este sistema e os principais materiais que serão utilizados para a sua implementação.

O capítulo 5 refere-se sobre a análise econômica do sistema de armazenamento de energia proposto. Neste capítulo são apresentados os indicadores de viabilidade econômica *Payback*, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) utilizados, onde estes indicadores são recomendados para auxiliar na decisão da viabilidade ou não do sistema de armazenamento proposto. Neste capítulo também são apresentados estudos de casos, para os

grupos residenciais de baixa tensão, onde os sistemas ideais para cada um destes consumidores são precificados.

O capítulo 6 trata sobre as conclusões do trabalho proposto. Neste capítulo são elencados os principais temas abordados no trabalho, sendo feita uma abordagem final sobre a análise da viabilidade econômica do sistema de armazenamento de energia proposto. Também são elencados neste capítulo sugestões para trabalhos futuros.

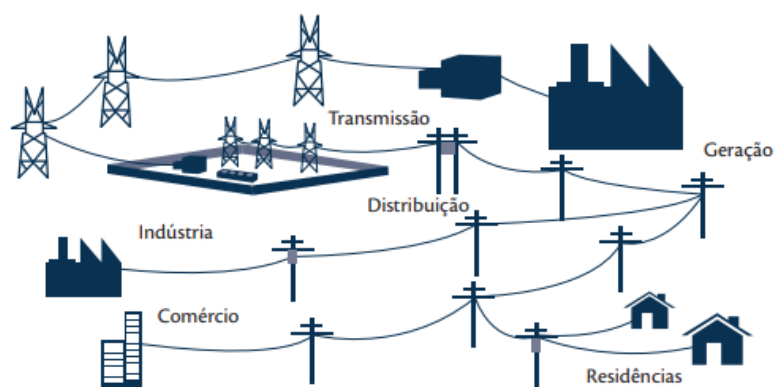
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica, que tem por objetivo apresentar uma síntese sobre o contexto nacional do SEP. Ainda é abordada a composição da estrutura tarifária brasileira, os grupos de consumidores existentes e quais suas classes de tensão, bem como seus perfis de consumo. Não menos importante, são abordados os tipos de tarifas destes consumidores, e como funciona a fatura do consumidor. Neste contexto, é debatido as Tarifas Convencional e Branca. Ainda, são apresentados os cálculos de ambas as modalidades tarifárias, bem como um estudo de qual seria a melhor modalidade tarifária a ser adotada pelo consumidor, especificamente, do subgrupo B1, classe de baixa tensão residencial.

2.1 CONTEXTO NACIONAL

O SEP é constituído por usinas geradoras, linhas de transmissão de energia e sistema de distribuição de energia elétrica. Estes sistemas têm se tornando cada vez mais extensos e interligados, abrangendo grandes áreas e atendendo a demandas cada vez maiores. O processo é ilustrado na Figura 1 (CGEE, 2012).

Figura 1 - Rede elétrica convencional.



Fonte: (CGEE, 2012).

A intensificação deste processo, somado a fatores como a desregulamentação do setor, envelhecimento da infraestrutura, e a necessidade de melhores ferramentas para monitoração e controle, que aumentam a confiabilidade e segurança da operação, além da contínua incorporação de novas tecnologias de equipamentos.

No Brasil, 90% da geração de energia elétrica advêm de fontes hidrelétricas, e o restante por outros processos, tais como: biomassa, carvão, gás natural, nuclear, petróleo e outros. Porém, ressalta-se, que o país utiliza apenas 25% do seu potencial hidráulico (ANEEL, 2015).

Uma particularidade do sistema brasileiro é que os grandes centros consumidores estão localizados longe dos grandes potenciais energéticos. Isso acarreta em uma grande quantidade de linhas de transmissão com algumas centenas de quilômetros.

Com o consumo de energia crescendo a uma média aproximada de 4% a.a. no Brasil e 2% a.a. no mundo, segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME), é fato que governos em todo o mundo busquem alternativas para atender esta demanda com segurança e sustentabilidade. Tornar o sistema elétrico acessível, moderno e confiável é fundamental para a sociedade e para a economia (FANG et al., 2011).

Baseado nestes fatores, o mercado de energia elétrica deverá fazer uso pleno de grandes produtores centralizados e pequenos produtores distribuídos, além do incremento de diferentes ações em eficiência energética e melhoria na qualidade do atendimento à demanda pela energia. A inserção de fontes renováveis na rede de distribuição, principalmente nas instalações em baixa tensão, aumenta a complexidade da operação do sistema de distribuição (CGEE, 2012).

Desta forma, são trazidos os grupos de consumidores que podem inserir estas fontes renováveis para auxiliar na geração de energia elétrica no Brasil.

2.1.1 Grupos de Consumidores

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão responsável por fiscalizar e regulamentar a energia elétrica no Brasil, caracteriza os diferentes tipos de consumidores de energia elétrica através da sua Resolução Normativa (RN) nº 414 (ANEEL, 2010), a qual entrou em vigor em 09 de setembro de 2010 e substituiu a RN nº 456 (ANEEL, 2000).

Segundo a nova resolução, os consumidores de energia elétrica no Brasil são divididos em dois grupos: Grupo A, o qual classifica os consumidores de média e alta tensão, e Grupo B, consumidores de baixa tensão (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2014).

Segundo a RN nº 414 da ANEEL, o Grupo A, Alta Tensão (AT), é composto por unidades consumidoras que possuem fornecimento de energia elétrica com tensão igual ou superior a 2,3 kV ou que são atendidas por sistema subterrâneo de distribuição, possuindo seis subgrupos. Já o Grupo B, baixa tensão, é composto por unidades consumidoras que possuem fornecimento de energia elétrica com tensão inferior a 2,3 kV e possui quatro subgrupos. Os subgrupos dos Grupos A e B são definidos conforme Tabela 1 (ANEEL, 2010).

Tabela 1 - Grupos de consumidores de energia elétrica no Brasil.

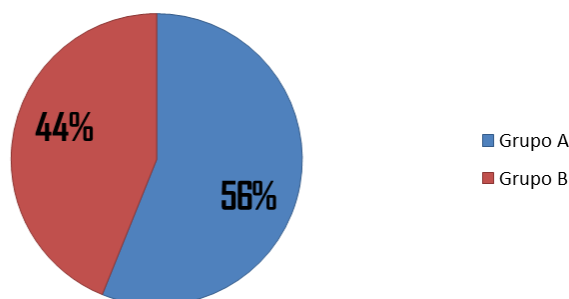
GRUPO	SUBGRUPO
A	A1: tensão de fornecimento igual ou superior à 230 kV
	A2: tensão de fornecimento de 88 kV à 138 kV
	A3: tensão de fornecimento de 69 Kv
	A3a: tensão de fornecimento de 30 kV à 44 kV
	A4: tensão de fornecimento de 2,3 kV à 25 kV
	AS: tensão de fornecimento inferior à 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição
B	B1: residencial
	B2: rural
	B3: demais classes
	B4: iluminação pública

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2010).

No Sistema Elétrico Brasileiro (SEB), como pode ser observada na Figura 2, a porcentagem da composição no mercado, é de 56% composta pelo Grupo A e 44% pelo Grupo B.

Figura 2 - Composição do mercado dividido pelos grupos A e B.

Composição do Mercado



Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2010).

Esses consumidores são faturados de formas diferentes, conforme a estrutura tarifária de cada grupo.

2.1.2 Estrutura Tarifária Brasileira

O sistema de cobrança de energia elétrica brasileiro possui certa complexidade e nem sempre fica claro ao consumidor como é calculado o valor das contas de eletricidade. Neste trabalho, são explicadas quais são as modalidades tarifárias que estão em vigência no país e como elas determinam os preços pagos pela energia.

Segundo Barros, Borelli e Gedra (2014, p. 50), "Define-se estrutura tarifária como o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência, de acordo com a modalidade de fornecimento".

Atualmente, os consumidores de BT possuem tarifação monômnia, ou seja, a tarifa de fornecimento de energia elétrica em que são faturados, chamada tarifa convencional, é composta pela soma de duas componentes (LAMIN, 2009):

- Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), a qual se refere ao faturamento mensal dos usuários do sistema de distribuição; e
- Tarifa de Energia (TE), referente ao faturamento mensal de consumo de energia.

A tarifa convencional é dada unicamente pelo consumo de energia e/ou demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano (VIVIAN, 2015).

Existe também a tarifa binômia, que incluem as tarifas convencionais e horárias, ou seja, conjunto de tarifas de fornecimento constituído por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa (kWh) e à demanda faturável (kW).

No Brasil, somente consumidores do Grupo A possuem o tipo de tarifação binômia, podendo optar pela modalidade tarifária convencional, quando a demanda contratada for inferior a 300 kW, ou pelas tarifas verde e azul, caso contrário.

Desta forma, fica claro que a estrutura de tarifação brasileira é bastante complexa, tornando essencial a necessidade de conhecer as diversas modalidades, a fim de adequar seu sistema e reduzir os custos com energia.

2.1.3 Grupo de Consumidores A - Alta tensão

Os consumidores atendidos com tensão acima de 2,3 kV são classificados no Grupo A. Esses consumidores são tipicamente indústrias e grandes complexos comerciais, constituídas neste grupo, três modalidades de fornecimento:

- Estrutura tarifária Convencional;
- Estrutura tarifária Verde; ou,
- Estrutura tarifária Azul;

2.1.3.1 Estrutura tarifária Convencional AT

Na tarifa convencional para o Grupo A, o consumidor assina um contrato com a concessionária distribuidora de energia, definindo um único valor de demanda contratada, que deve ser inferior a 300 kW. Nessa estrutura, a tarifa de energia é composta por três parcelas, a parcela de consumo, a parcela de demanda e a parcela de demanda de ultrapassagem (ANEEL, 2010).

A parcela de consumo é obtida através da multiplicação do consumo pela tarifa de consumo, conforme a equação (1).

$$P_{consumo} = Tc \times Cm \quad (1)$$

Em que:

Tc = Tarifa de consumo.

Cm = Consumo medido.

A parcela de demanda é calculada multiplicando-se a tarifa de demanda pelo maior valor entre a demanda contratada e a demanda medida (caso esta não ultrapasse em mais de 10% a demanda contratada), conforme a equação (2).

$$P_{demanda} = Td \times Dc \quad (2)$$

Em que:

Td = Tarifa de demanda.

Dc = Demanda contratada.

Caso o consumidor ultrapasse em mais de 10% a demanda contratada, deverá também pagar uma parcela referente à ultrapassagem de demanda, que deve ser calculada multiplicando-se o excedente da demanda pela tarifa de ultrapassagem (correspondente a três vezes a tarifa de demanda), conforme a equação (3).

$$P_{ultrapassagem} = Tu \times (Dm - Dc) \quad (3)$$

Em que:

Tu = Tarifa de ultrapassagem.

Dm = Demanda medida.

Dc = Demanda contratada.

Esta modalidade tarifária será extinta em breve para os consumidores de alta tensão, conforme cronograma de cada concessionária, devendo o consumidor se adequar à modalidade verde ou azul, modalidades estas que são resumidas à seguir.

2.1.3.2 Estrutura tarifária Verde

Esta modalidade é estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência.

Esse enquadramento da tarifa de energia somente é permitido para os consumidores dos subgrupos A3a, A4 e AS.

Nesta modalidade de tarifa, o consumidor possui três parcelas distintas, uma referente ao consumo, uma referente à demanda contratada e outra referente à ultrapassagem de demanda.

O consumo define-se como a quantidade de potência elétrica consumida em um intervalo de tempo, expresso em quilowatt-hora (kWh).

A demanda contratada se refere a uma demanda de potência a ser, obrigatoriamente e continuamente, disponibilizada pela concessionária de energia ao consumidor, conforme o valor e período de vigência, assinado em contrato de fornecimento, devendo este pagar integralmente por esta demanda contratada, sendo ou não utilizada durante o mês de faturamento, sendo esta demanda expressa em quilowatts (kW).

A demanda de ultrapassagem refere-se à quantidade de demanda medida que excede o valor da demanda contratada, esta também expressa em kW.

As parcelas referentes à demanda e à demanda de ultrapassagem se comportam de maneira análoga à descrita na modalidade de tarifa convencional, enquanto a parcela de consumo é calculada pela multiplicação do consumo no horário fora de ponta pela tarifa de consumo no horário fora de ponta, acrescido da multiplicação do consumo no horário de ponta pela tarifa de consumo no horário de ponta, conforme a equação (4).

$$P_{consumo} = (T_{cp} \times C_{mp}) + (T_{cFP} \times C_{mFP}) \quad (4)$$

Em que:

T_{cp} = Tarifa de consumo na Ponta.

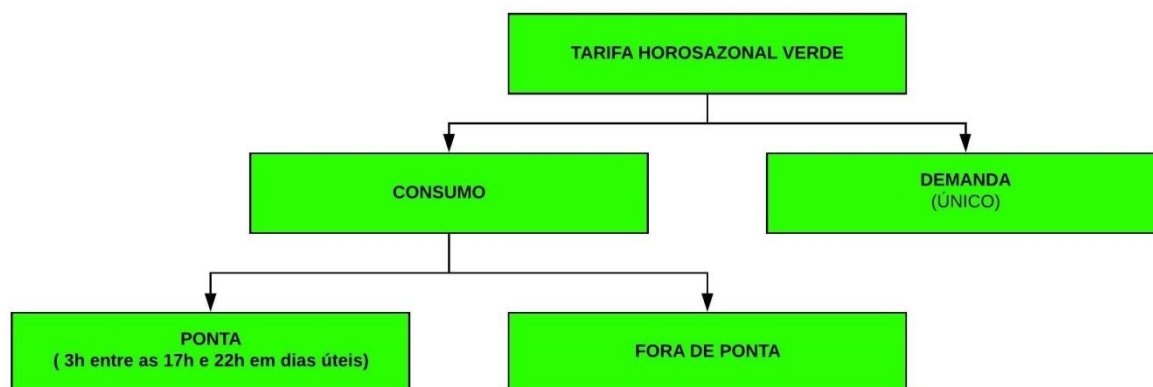
C_{mp} = Consumo medido na Ponta.

T_{cFP} = Tarifa de consumo Fora Ponta.

C_{mFP} = Consumo medido Fora Ponta.

Para melhor entendimento de como é o funcionamento da estrutura tarifária Verde, exemplifica-se na Figura 3.

Figura 3 - Estrutura tarifária Verde.



Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2012a).

Para tarifas diferenciadas de consumo, conforme a demanda de potência de acordo com as horas de utilização durante o dia apresenta-se a estrutura tarifária azul.

2.1.3.3 Estrutura tarifária azul

Esta modalidade é estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia.

Esta estrutura de tarifa de energia é opcional para os consumidores dos subgrupos A3a, A4 e AS e obrigatória para os consumidores dos subgrupos A1, A2 e A3. Deverá ser feito um contrato, entre o consumidor e a concessionária distribuidora, devendo ser definida, uma demanda para o horário de ponta e outra para o horário fora de ponta.

A fatura é composta pelas parcelas de consumo, demanda e ultrapassagem, porém, nesta modalidade, os cálculos das parcelas de demanda e de ultrapassagem de demanda, são realizados de maneira diferente.

A parcela referente à demanda contratada será calculada pela soma dos produtos das tarifas de demanda na ponta e fora de ponta, pelas demandas contratadas na ponta e fora de ponta, conforme a equação (5).

$$P_{demanda} = (Tdp \times Dcp) + (TdFP \times DcFP) \quad (5)$$

Em que:

Tdp = Tarifa de demanda na Ponta.

Dcp = Demanda contratada na Ponta.

TdFP = Tarifa de demanda Fora Ponta.

DcFP = Demanda contratada Fora Ponta.

De maneira análoga, a parcela de ultrapassagem, é calculada pela soma dos produtos das tarifas de ultrapassagem na ponta e fora de ponta, pelas ultrapassagens de demanda na ponta e fora de ponta, conforme a equação (6).

$$P_{ultrapassagem} = Tup \times (Dmp - Dcp) + TuFP \times (DmFP - DcFP) \quad (6)$$

Em que:

Tup = Tarifa de ultrapassagem na Ponta.

Dmp = Demanda medida na Ponta.

Dcp = Demanda contratada na Ponta.

TuFP = Tarifa de ultrapassagem Fora Ponta.

DmFP = Demanda medida Fora Ponta.

DcFP = Demanda contratada Fora Ponta.

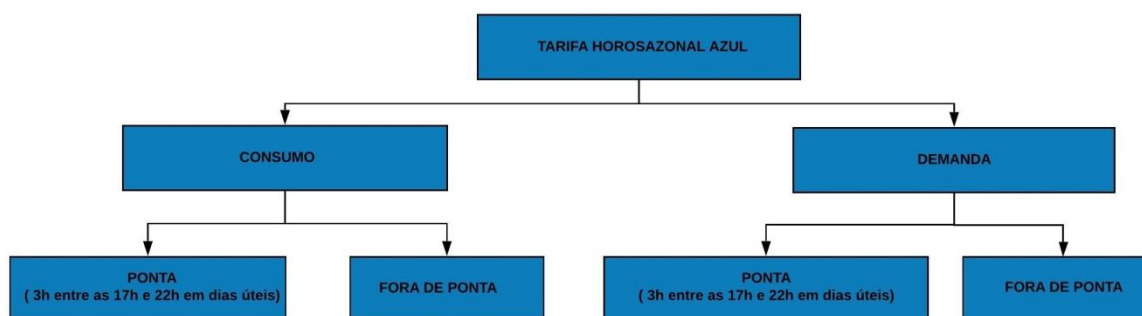
A parcela de consumo é calculada da mesma maneira que para a modalidade tarifária verde.

A diferença entre a modalidade tarifária azul e a verde refere-se à tarifa paga por consumo de ponta, sendo que a tarifa verde possui um valor de demanda único e um preço mais elevado de transporte na ponta, já a tarifa azul possui dois valores de demanda, um para o período de ponta e outro para o período fora ponta.

Ambas as opções tarifárias devem ser determinadas pelo consumidor conforme suas necessidades. Recomenda-se que seja realizado um estudo técnico, para avaliar qual das duas modalidades traz menor custo para a empresa. Vale ressaltar que não há nenhuma mudança física nas instalações, mas apenas a tarifação diferente, o que poderá ocasionar grandes benefícios ou prejuízos no custo final da tarifa.

Para melhor entendimento de como é o funcionamento da estrutura tarifária Azul, exemplifica-se na Figura 4.

Figura 4 - Estrutura tarifária Azul.



Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2012a).

Os consumidores de BT são tarifados diferentemente dos consumidores de AT, desta forma, apresenta-se este grupo de consumidores.

2.1.4 Grupo de Consumidores B - Baixa Tensão

A estrutura tarifária do consumidor residencial, vigente no Brasil, consiste na soma das componentes tarifárias TUSD e TE. Como já citado anteriormente, a TUSD se refere ao faturamento mensal de usuários do sistema de distribuição pelo uso do mesmo. A TE refere-se ao faturamento mensal de consumo de energia da unidade consumidora.

Por meio da RN nº 376 e da Nota Técnica (NT) nº 311 de 22 de Novembro de 2011, definiu-se a estrutura tarifária para o Grupo B. O consumidor poderá escolher qual a modalidade tarifária ele poderá se enquadrar, sendo as modalidades:

- Convencional: monômnia, com um preço de consumo de energia em R\$/MWh, sem distinção horária; e
- Branca: monômnia, com três preços de consumo de energia em R\$/MWh, de acordo com os postos tarifários (Ponta, Intermediária e Fora Ponta).

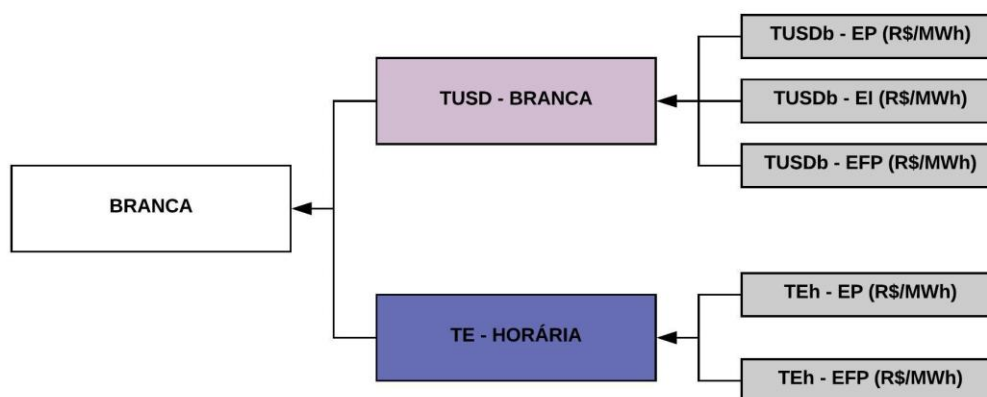
A estrutura tarifária para o Grupo B é ilustrada na Figura 5, referindo-se à Tarifa Convencional, e na Figura 6, referindo-se a Tarifa Branca.

Figura 5 - Tarifa Convencional.



Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2011).

Figura 6 - Tarifa Branca.



Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2011).

Em que:

EP: Energia de Ponta (MWh).

EI: Energia Intermediária (MWh).

EFP: Energia Fora de Ponta (MWh).

Os consumidores de BT apresentam apenas tarifas aplicáveis ao consumo, sendo o valor de sua conta calculado multiplicando a tarifa em reais pelo consumo. Além disso, estes consumidores possuem um custo referente a um consumo mínimo que, mesmo se não for atingido em um determinado mês, deve ser pago à concessionária pela disponibilidade do sistema.

Esse custo varia de acordo com o tipo de ligação do cliente. Para clientes monofásicos, esse custo é equivalente ao consumo de 30 kWh, para clientes bifásicos, o custo é equivalente a 50 kWh e para clientes trifásicos, o custo equivale a 100 kWh (ANEEL, 2010a).

Já no subgrupo B3, consumidores de áreas rurais também possuem tarifa diferenciada, sendo que para irrigação noturna, o desconto pode chegar a 73%.

2.1.4.1 Estrutura Tarifária Convencional BT

O grupo de baixa tensão é dividido em subgrupos, conforme seu padrão característico. Os subgrupos, por sua vez, são divididos conforme ao perfil de consumo.

2.1.4.2 Perfis de consumo - subgrupo B1

Cada unidade consumidora (UC) residencial possui um perfil de consumo, ou seja, conforme o que se consome durante o mês, a UC é classificada em certo grupo ou classe de consumo mensal, em kWh. Esta subdivisão ocorre para cinco tipos de consumidores residenciais, dispostos nos subgrupos G1, G2, G3, G4, G5, correspondendo, respectivamente, aos consumidores que utilizam mensalmente de 31 à 100 kWh, 101 à 160 kWh, 161 à 300 kWh, 301 à 500 kWh e acima de 500 kWh, conforme a Tabela 2 (ANEEL, 2010a).

Tabela 2 - Grupos de consumidores do Subgrupo B1.

SUBGRUPO	Consumo Mensal
B1	31 à 100 kWh
	101 à 160 kWh
	161 à 300 kWh
	301 à 500 kWh
	Acima de 500 kWh

Fonte: (ANEEL, 2010a).

A grande semelhança entre os diferentes perfis de consumidores se observa por um padrão em todos os consumidores do subgrupo B1, caracterizado por um

aumento na demanda, das 18 horas às 22 horas, estando neste intervalo o horário de ponta, ocasionado, principalmente, pela chegada dos moradores em suas residências. Este comportamento é típico de consumidores residenciais, durante os dias úteis. Fato que não se repete, em finais de semanas e/ou feriados nacionais.

2.1.4.3 Exemplos de Perfil de consumo dos clientes de BT, subgrupo B1

O contexto do trabalho se refere aos consumidores de baixa tensão residencial, e é neste propósito, que se fizeram estudos, visando obter, para todas as classes de consumidores do subgrupo B1, os seus perfis de consumo. As análises realizadas nas próximas seções, baseiam-se nestes perfis de consumo.

Em todos os gráficos, o consumo diário, em kWh, se destaca na cor vermelha. Os dados de consumo, levantados por (SANTOS, 2014) estão subdivididos de hora em hora, para as 24 horas do dia, conforme as Figuras 7 a 16.

Carga para classe de 31 a 100 kWh

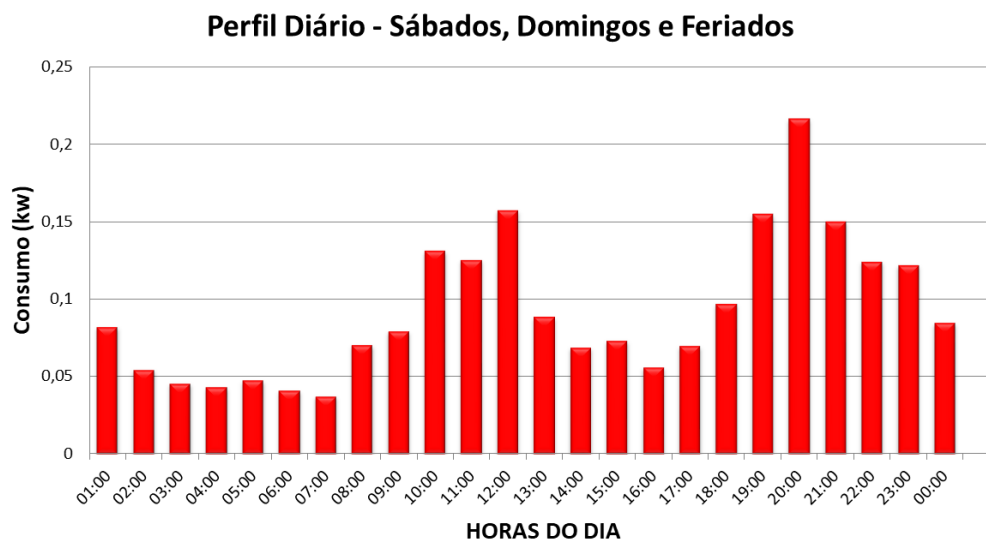
A curva de carga da classe de 31 a 100 kWh é representada pela média horária de 44 amostras reais, que resultaram no perfil típico diário para os dias úteis, mostrado na Figura 7 e o perfil típico diário para sábados, domingos e feriados, mostrado na Figura 8.

Figura 7 - Perfil Diário dos dias úteis para a classe de 31 a 100 kWh.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2014).

Figura 8 - Perfil Diário dos sábados, domingos e feriados nacionais para a classe de 31 a 100 kWh.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2014).

Carga para classe de 101 a 160 kWh

Para a classe 101 a 160 kWh foram utilizadas 40 amostras reais, que resultaram no perfil típico diário para os dias úteis, mostrado na Figura 9 e o perfil típico diário para sábados, domingos e feriados, mostrado na Figura 10.

Figura 9 - Perfil Diário dos dias úteis para a classe de 101 a 160 kWh.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2014).

Figura 10 - Perfil Diário dos sábados, domingos e feriados nacionais para a classe de 101 a 160 kWh.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2014).

Carga para classe de 161 a 300 kWh

A curva de carga da classe de 161 a 300 kWh é representada pela média horária de 25 amostras reais, que resultaram no perfil típico diário para os dias úteis, mostrado na Figura 11 e o perfil típico diário para sábados, domingos e feriados, mostrado na Figura 12.

Figura 11 - Perfil Diário dos dias úteis para a classe de 161 a 300 kWh.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2014).

Figura 12 - Perfil Diário dos sábados, domingos e feriados nacionais para a classe de 161 a 300 kWh.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2014).

Carga para classe de 301 a 500 kWh

Para classe 301 a 500 kWh foram utilizadas 23 amostras reais, que resultaram no perfil típico diário para os dias úteis, mostrado na Figura 13 e o perfil típico diário para sábados, domingos e feriados, mostrado na Figura 14.

Figura 13 - Perfil Diário dos dias úteis para a classe de 301 a 500 kWh.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2014).

Figura 14 - Perfil Diário dos sábados, domingos e feriados nacionais para a classe de 301 a 500 kWh.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2014).

Carga para classe acima de 500 kWh

Para classe acima de 500 kWh foram utilizadas 16 amostras reais, que resultaram no perfil típico diário para os dias úteis, mostrado na Figura 15 e o perfil típico diário para sábados, domingos e feriados, mostrado na Figura 16.

Figura 15 - Perfil Diário dos dias úteis para a classe acima de 500 kWh.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2014).

Figura 16 - Perfil Diário dos sábados, domingos e feriados nacionais para a classe acima de 500 kWh.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2014).

Esses consumidores possuem um comportamento típico de carga com valores elevados no horário de ponta, período das 18 horas às 21 horas (período pré-determinado por cada concessionária, de 3 horas seguidas no dia, onde se tem um pico de demanda da rede). Consequentemente, este pico de demanda, acaba resultando em custos de expansão elevados do sistema de distribuição para atender pequenos períodos de tempo.

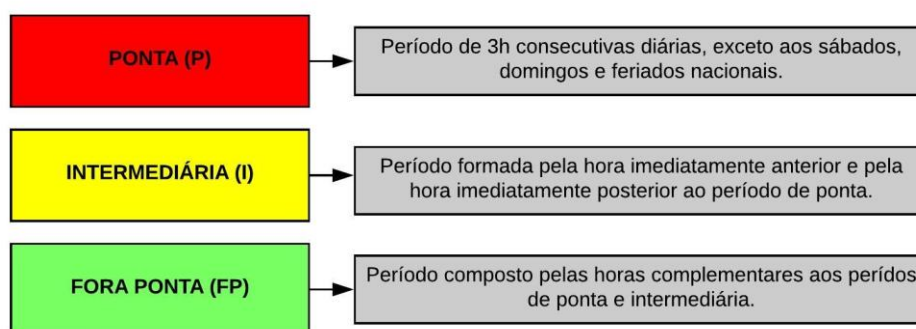
Nesse sentido, em fevereiro de 2013, foi aberta a audiência pública nº 043/2013 com o intuito de implementar melhorias na forma em que se realizava o cálculo das tarifas de energia elétrica para os consumidores de BT, independente da faixa de consumo de cada. Vale ressaltar que nesta audiência, as classes de consumidores como: iluminação pública e consumidores considerados de baixa renda, não foram incluídos na pauta desta audiência (ANEEL, 2013).

Como resultado desta audiência, por meio da Resolução Normativa nº 733/2016, surgiu então a nova tarifa horária, a chamada Tarifa Branca, na qual tem como principal objetivo, promover o uso racional de energia elétrica por parte dos consumidores nos horários de maior demanda do sistema, o chamado horário de ponta, e da mesma forma, incentivando aos consumidores utilizarem a energia no horário Fora Ponta (ANEEL, 2016).

2.1.5 Tarifa Branca

A Tarifa Branca é uma opção de tarifa para clientes atendidos em BT, em que o valor da energia muda de acordo com os dias e horários de consumo, ou seja, conforme o horário do dia que a energia é consumida se tem uma tarifação diferenciada para aquele período, como ilustra a Figura 17.

Figura 17 - Postos Tarifários para o Grupo B.



Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2012b).

Segundo a ANEEL (2010a, p. 20), “Em geral, os consumidores atendidos em baixa tensão não possuem alternativas de tarifação, ou seja, são faturados de uma única forma, qual seja, tarifa linear aplicada à energia medida, sem distinção horária.” Tendo isso em vista, a ANEEL criou a tarifa horária branca, a qual tem por finalidade estimular o gerenciamento da demanda de energia durante os horários de maior carregamento do sistema, deslocando o consumo para horários de menor utilização da rede da concessionária.

Baseado nestes fatores, ao escolher a Tarifa Branca, o consumidor passa a ter possibilidade de pagar valores diferentes em função da hora e do dia da semana.

Nos dias úteis, o valor Tarifa Branca varia, dentro da área de concessão, em três horários:

- Ponta (aquele com maior demanda de energia);
- Intermediário (via de regra, uma hora ou uma hora e meia antes e uma hora ou uma hora e meia depois do horário de ponta);
- Fora de ponta (aquele com menor demanda de energia).

Na ponta e no intermediário, a energia se torna mais cara, devido aos valores de TUSD e TE serem mais altas, valor este que é ainda multiplicado pelo consumo

em kWh. Porém, a tarifa fora de ponta, é mais baixa, e que é também utilizada em feriados nacionais e nos fins de semana.

Segundo (LAMIN, 2009), a demanda máxima de energia extraída do sistema de energia elétrica nacional, advém dos consumidores de BT, sendo esta demanda, ocasionada no chamado horário de ponta.

Consequência desta alta demanda de energia elétrica no horário de ponta, o sistema que abastece as cargas exige maiores investimentos de expansão, ou seja, maiores custos, a fim de suprir essa demanda.

Devido a estes fatores, a Tarifa Branca cria condições, que incentivam os consumidores a deslocarem o consumo dos períodos de ponta para aqueles em que a rede de distribuição de energia elétrica tem capacidade ociosa, nos horários fora ponta, porém, assim os consumidores teriam que mudar seus hábitos. Neste contexto, este trabalho propõe ao consumidor uma economia mensal, mantendo os mesmos hábitos de consumo.

Ressalva-se, que os períodos horários de ponta, intermediário e fora de ponta são homologados pela ANEEL nas revisões tarifárias periódicas de cada distribuidora, que ocorrem em média a cada cinco anos, ou seja, cada concessionária de energia tem seus horários de tarifas independentes, é claro que sendo estes homologados e previamente aceitos pela ANEEL.

2.1.6 Cálculo da Tarifa

Os cálculos aqui realizados são conforme as tarifas vigentes relacionadas à concessionária Rio Grande Energia (RGE), do estado do Rio Grande do Sul, conforme o Ranking de Tarifas disponibilizadas pela (ANEEL, 2015) que entrou em vigência dia 19 de abril de 2019. Os valores são apresentados na Tabela 3.

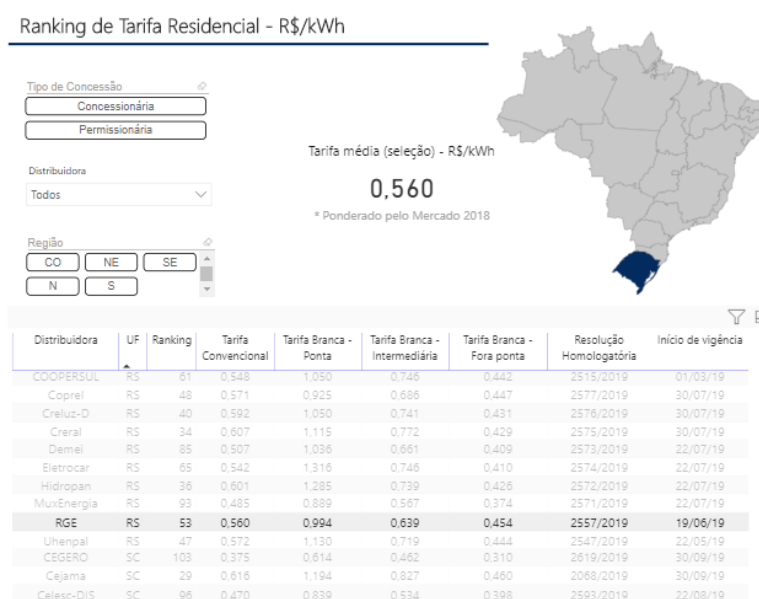
Tabela 3 - Valores tarifários da concessionária RGE em R\$/kWh.

RGE	TUSD Convencional (sem tributos)	TE Convencional (sem tributos)	TUSD + TE Fora Ponta (sem tributos)	TUSD + TE Intermediária (sem tributos)	TUSD + TE Ponta (sem tributos)
Tarifa Convencional	0,265	0,295	-	-	-
Tarifa Branca	-	-	0,454	0,639	0,994

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2015).

Os valores da Figura 18 referem-se ao Ranking de Tarifa Residencial. As tarifas vigentes são homologadas pela ANEEL, expressas na unidade R\$/kWh (reais por quilowatt-hora) e não contemplam tributos e outros elementos que fazem parte da conta de luz do consumidor, tais como: COFINS, PIS, ICMS, E CIP, além do adicional de Bandeira Tarifária (ANEEL, 2015).

Figura 18 - Ranking de Tarifa Residencial.



Fonte: (ANEEL, 2015).

2.1.6.1 Cálculo da Tarifa Convencional

O gasto consumo é calculado através da Equação (7):

$$G_{Diário} = (C * Tc) \quad (7)$$

Em que:

C - é o consumo total diário em kWh/dia.

Tc - é o valor da tarifa convencional em R\$/kWh, e é obtido na equação (8) da seguinte forma:

$$Tc = TE_{convencional} + TUSD_{convencional} \quad (8)$$

E o valor do gasto total mensal para a modalidade tarifária convencional, calcula-se através da Equação (9):

$$G_{totalmensal} = G_{Diário} * 30 \quad (9)$$

2.1.6.2 Cálculo da Tarifa Branca

O cálculo da fatura de energia elétrica da tarifa branca é um pouco mais complexo que o da tarifa convencional. Nos dias úteis, a tarifa branca possui três valores diferentes ao longo do dia. Já nos finais de semana e feriados, o valor da tarifa é considerado sempre fora de ponta. O consumo diário em dias úteis para a tarifa branca é calculado conforme Equação (10):

$$G_{diário_{branca}} = (Cfp * Tfp) + (Ci * Ti) + (Cp * Tp) \quad (10)$$

Em que:

Cfp - consumo total fora de ponta em kWh/dia;

Tfp - valor da tarifa fora de ponta em R\$/kWh;

Ci - consumo total intermediário em kWh/dia;

Ti - valor da tarifa intermediária em R\$/kWh;

Cp - consumo total na ponta em kWh/dia;

Tp - valor da tarifa na ponta em R\$/kWh.

O consumo mensal, ou seja, o valor da fatura mensal de energia elétrica para a tarifa branca calcula-se através da Equação (11):

$$G_{mensal_{branca}} = (G_{diário_{branca}} * 22) + (Ct * Tfp) * 8 \quad (11)$$

Em que:

Ct - consumo total diário nos fins de semana dado em kWh/dia.

Conforme as equações apresentadas e seus cálculos, visivelmente existe uma diferença no valor final, entre as tarifas convencional e branca, o que é elencado a seguir.

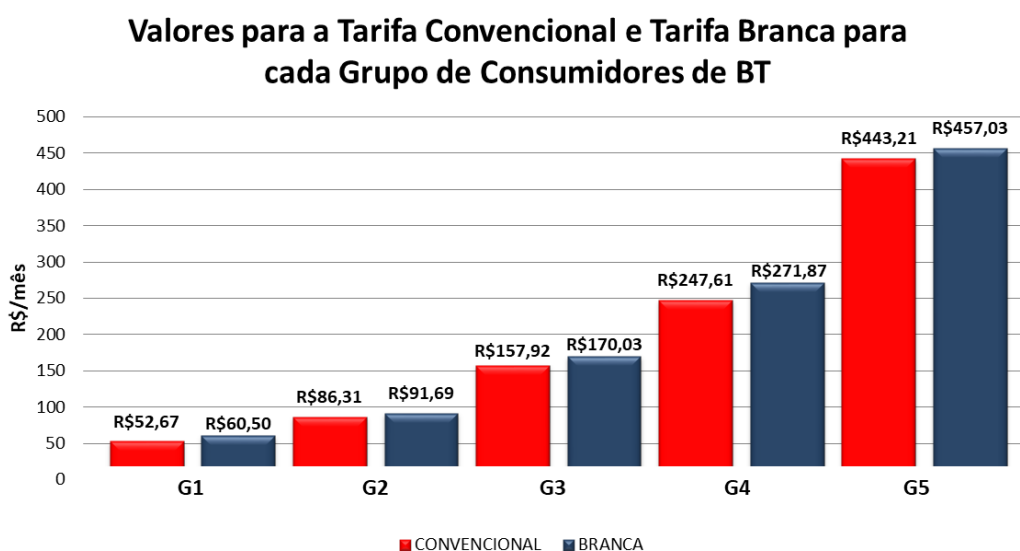
2.1.6.3 Tarifa Convencional x Tarifa Branca

É muito importante que se faça a comparação entre o valor pago na fatura, adotando a Tarifa Convencional ou a Tarifa Branca, mesmo que os valores pagos diariamente em ambas, não se diferem muito. Isto se torna um grande problema para o consumidor que pretende adotar a Tarifa Branca, pois, provavelmente nestes

cenários de consumo, ele não economizará o suficiente, para gerar uma economia que possa arcar com os custos da implementação de um SAE.

Neste contexto, para ficar mais claro de ser observado a diferença entre as tarifas, a Figura 19 apresenta os valores pagos mensalmente, tanto para a Tarifa Convencional como para a Tarifa Branca, para cada classe de consumidor, representadas na figura como G1, G2, G3, G4, G5, para as classes de consumo de 31 a 100 kWh, 101 a 160 kWh, 161 a 300 kWh, 301 a 500 kWh e acima de 500 kWh, respectivamente.

Figura 19 - Valores pagos mensalmente em reais (R\$), Tarifa Convencional e Branca para todas as classes de consumo do subgrupo B1.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2014).

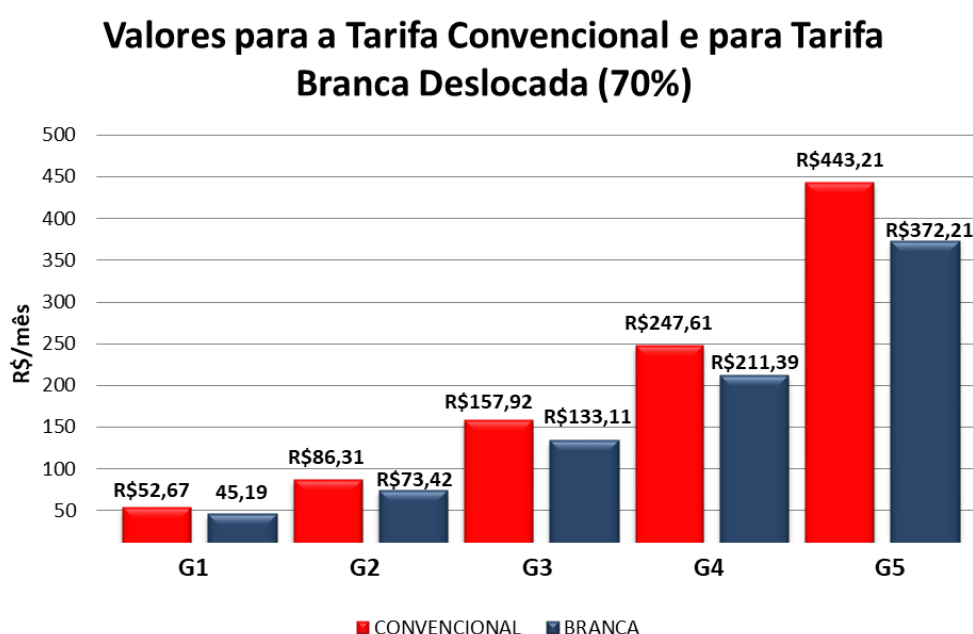
Pensando nisso, um cenário menos comum de consumo é proposto, gerando um maior deslocamento de energia no consumo diário, do horário de ponta para o horário fora de ponta, do que ocorreria em uma residência com o uso de energia mais usual, indo ao encontro do contexto deste trabalho. Este sistema, proporcionará uma economia muito maior, podendo se tornar mais viável a sua implementação ao sistema de armazenamento de energia em baterias, para o consumo no horário que a energia é mais elevada em relação ao seu valor, que o restante do dia.

O trabalho de Figueiró, Abaide e Bernardon (2013) trata sobre a análise do impacto da Tarifa Branca no consumidor residencial. Para a análise foi considerado que os consumidores não mudariam seus hábitos de consumo com a aplicação da Tarifa Branca, havendo um aumento na fatura de cada faixa de consumo. Para que

o consumidor consiga obter algum benefício com a nova modalidade tarifária, é necessário um consumo de 70% no horário fora de ponta.

Diante disso, no mesmo formato que foste apresentado anteriormente, no cenário simulado, é realizada a comparação entre os valores pagos, na Tarifa Convencional e na Tarifa Branca, sendo deslocados 70% da energia de ponta para a fora ponta, para todas as classes dos consumidores deste subgrupo. Os resultados desta comparação são apresentados na Figura 20.

Figura 20 - Valores pagos mensalmente em reais (R\$), Tarifa Convencional e Branca Deslocada para todas as classes de consumo do subgrupo B1.



Fonte: Autor.

Através da Figura 20, observa-se uma diferença significativa mensal, neste sistema com deslocamento de 70% da energia. Pensando em uma implementação do sistema de armazenamento de energia em baterias, e estimando-se um tempo, em meses ou anos para ter o retorno desta implementação, haverá uma grande possibilidade para que, através deste cenário modificado, o sistema possa ter uma viabilidade econômica de ser implementado pelo consumidor.

2.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foi possível observar que a Tarifa branca é uma medida que visa reduzir custos com manutenção e expansão do sistema de distribuição. Essa

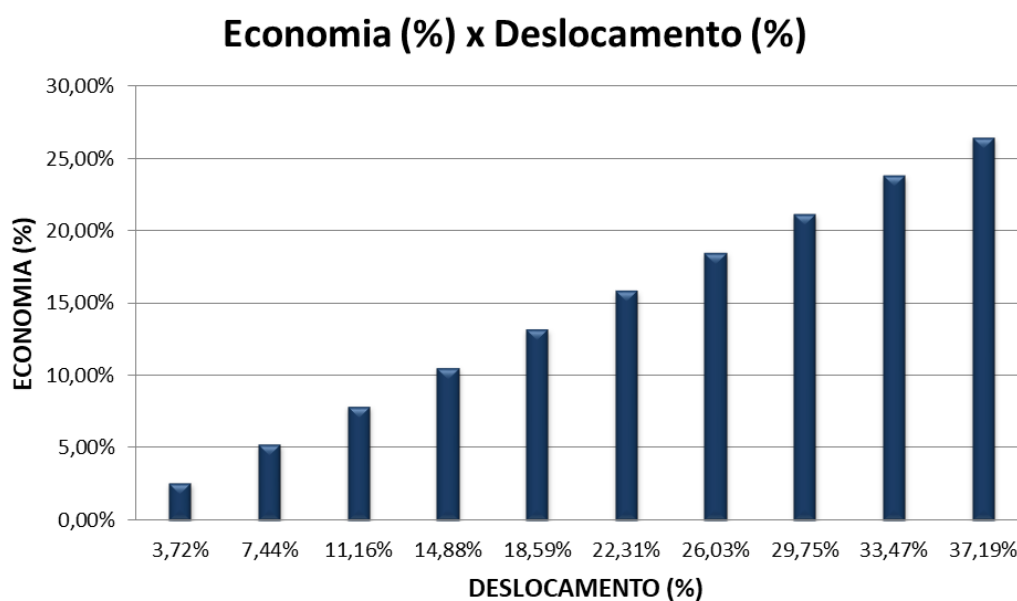
medida gera benefícios para o consumidor e para a concessionária. Para que seja efetiva, é necessária a mudança de hábitos de consumo. Foi evidenciado o comportamento do valor da tarifa em função da troca de horário e valor da energia consumida. Dessa forma, para que tal economia seja alcançada e ainda o consumidor não precise alterar seus hábitos de consumo, é proposto um sistema de armazenamento de energia, com finalidade de acumular energia no horário fora ponta, a qual será consumida no horário de ponta.

3 METODOLOGIA PROPOSTA

Visivelmente, a Tarifa Branca reflete o uso da rede de distribuição de energia elétrica de acordo com o horário de consumo. Desta forma, se o consumidor adotar hábitos que priorizem o uso da energia fora do período de ponta, diminuindo fortemente o consumo neste horário e no intermediário, a opção pela Tarifa Branca acarretará em uma grande oportunidade de reduzir o valor pago pela energia consumida, como ilustra a Figura 21.

Essa figura apresenta a economia percentual gerada na fatura mensal em função da mudança no hábito de consumo, isto é, em função do deslocamento percentual do consumo do horário de ponta para o fora ponta.

Figura 21 - Relação em porcentagem entre a Economia e o Deslocamento de Consumo.



Fonte: Autor.

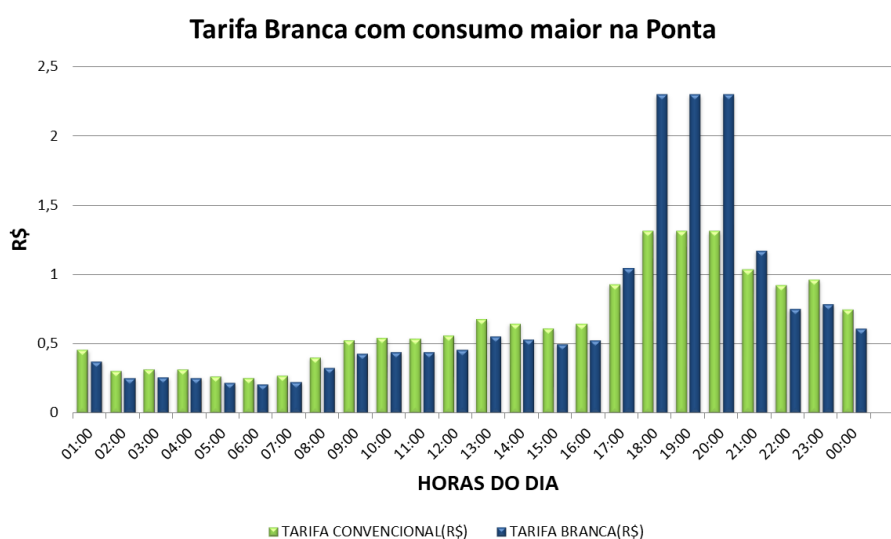
Através da mudança do consumo da ponta para a fora ponta, pode ser obtida economia de aproximadamente 30%, para um deslocamento de 38% do consumo, conforme demonstra a Figura 21.

Conseqüentemente, a Tarifa Branca pode não ser recomendada se o consumo for mantido maior nos períodos do horário de ponta e intermediário. Se não houver possibilidade de transferência do uso dessa energia elétrica para o período fora de ponta, nesse caso, a Tarifa Branca, certamente, resultará em uma conta

maior a ser paga. Nessa situação, é mais vantajoso continuar na Tarifa Convencional, como apresentado na Figura 22.

Como o consumo diário deste consumidor é maior no período de ponta, onde a Tarifa Branca é mais alta que a Tarifa Convencional neste horário, conseqüentemente, este pagará um valor maior da fatura, comparado se este fosse faturado pela Tarifa Convencional.

Figura 22 - Exemplo de Tarifa Convencional mais acessível que a Tarifa Branca.



Fonte: Autor.

Porém, neste trabalho, o objetivo é mostrar ao consumidor, que é possível adotar a Tarifa Branca, sem mudar nenhum dos seus hábitos cotidianos, implementando um sistema de armazenamento de energia durante o horário fora ponta, e consumir esta energia no horário de ponta.

Para se alcançar os objetivos deste trabalho, e para se ter uma maior clareza da forma que engloba este contexto, a Figura 23 apresenta a metodologia proposta utilizada para a realização do trabalho. Inicialmente, foi abordado sobre a estrutura tarifária no Brasil, as curvas de carga dos consumidores de baixa tensão e informações sobre as tarifas convencional e branca.

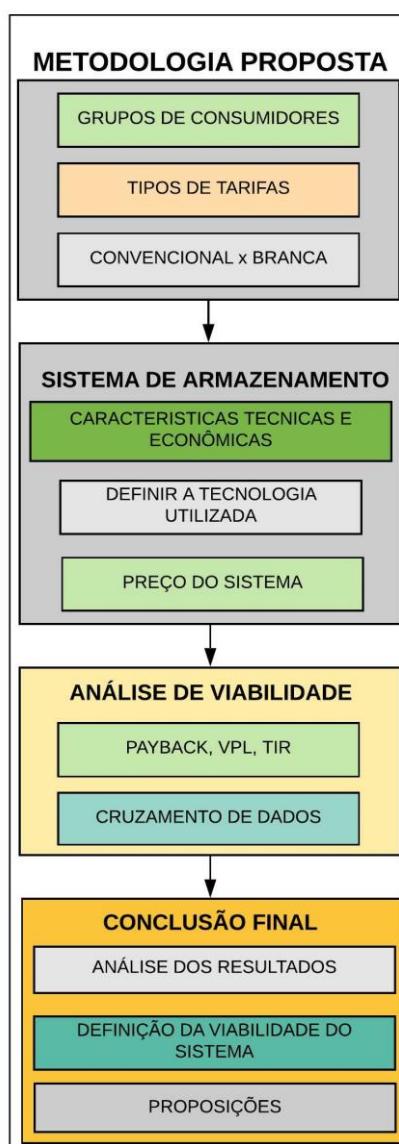
Para dar seguimento, o sistema de armazenamento de energia é proposto, contendo suas características técnicas e econômicas, quais as tecnologias e materiais utilizados e por fim as definições a serem adotadas para a proposição de como será o sistema de armazenamento.

No decorrer do trabalho, para alcançar os objetivos propostos, necessitava-se quantificar o preço do sistema de armazenamento de energia em função da

capacidade do mesmo. A capacidade deste sistema deve ser àquela definida pelo deslocamento de energia do horário de ponta para o fora de ponta. Através deste comportamento, se torna possível cruzar os dados do custo do sistema e economia gerada. Assim, informações de indicadores de viabilidade econômica, como *Payback*, VPL, TIR e entre outros dados, podem ser obtidos.

Após a análise de resultados, é possível que seja feita a análise de viabilidade deste sistema. Em seguida, são feitas as proposições do trabalho, sendo elencadas, quais as melhorias possíveis para ir ao encontro de uma viabilidade econômica para o consumidor. Por fim, na conclusão final, se fará a análise dos resultados e as proposições para melhorar o trabalho, definindo a viabilidade do sistema.

Figura 23 - Metodologia proposta.



4 SISTEMA PARA ARMAZENAMENTO DE ENERGIA PROPOSTO

Para diminuir a demanda no horário de ponta, reduzindo custos de expansão à concessionária e obter uma menor fatura mensal ao consumidor, é proposto um sistema de armazenamento de energia. Esse sistema tem por função favorecer ao consumidor uma redução na fatura ao adotar a tarifa branca, sem que tenha que mudar seus hábitos de consumo.

De forma geral, o armazenamento de energia elétrica por muito tempo tem sido considerado uma tecnologia crítica. Nos dias de hoje, essas tecnologias podem ser utilizadas de forma a conseguir explorar intensamente recursos energéticos convencionais ou renováveis. Assim, os Sistemas de Armazenamento de Energia (SAE) possuem um papel importante na unificação, distribuição e ampliação da capacidade dos sistemas de geração distribuída (Farret e Simões, 2006).

Apesar de seu grande potencial, em 2015, a capacidade de armazenamento de energia elétrica instalada mundialmente ainda era de apenas 2% da capacidade elétrica total (Zareipour, 2015). Destes, 99% referem-se ao armazenamento por bombeamento hidráulico em centrais hidrelétricas.

Os benefícios de um sistema de armazenamento de energia podem ser resumidos da seguinte forma:

- Econômico - possibilidade de armazenar energia produzida em um momento de preços mais baixos de tarifação, por exemplo, no horário fora ponta, para a energia ser utilizada no horário de ponta, quando as tarifas de energia estão mais altas, sendo no caso de um consumidor que aderiu ao sistema de Tarifa Branca.
- Confiável - energia fornecida sem falhas ou interrupções, com respostas praticamente instantâneas, uma ótima alternativa de contingência para um momento eventual de blackout (falha total no fornecimento de energia), por exemplo.
- Instalação Simples - de rápida implementação, permite a ampliação da capacidade instalada de acordo com as necessidades do consumidor.
- Sustentável - Suporta uma futura inserção de fontes renováveis e descentralizadas, levando à redução de impactos ambientais para a geração de energia, trazendo vantagens ambientais ainda mais significativas, pois, não emite gases nocivos à atmosfera como uma usina a

gás, por exemplo. Além disso, não utiliza água, não emite ruídos e muito menos vibrações, causados por uma usina hidrelétrica, por exemplo.

- Inteligente - sistema gerenciado de forma automática por meio de um sistema de controle para garantir vida útil do sistema e opção otimizada.

Desta forma, os SAEs tem se mostrado, cada vez mais viáveis, economicamente, em determinadas aplicações no Brasil.

O armazenamento de energia é um negócio muito relevante e promissor no Brasil. Durante muito tempo, a viabilidade econômica era uma coisa do futuro, mas ela já existe para determinados clientes. É possível armazenar energia fotovoltaica ou da própria concessionária para utilizar no horário de ponta, quando as tarifas são mais caras. O SAE é formado por conjuntos de equipamentos e sistemas de controle altamente tecnológicos. Este sistema pode ser conectado as redes elétricas, usinas de geração de energia junto às cargas ou até mesmo em sistemas isolados.

O armazenamento de energia, nos dias de hoje, é considerado como uma solução em relação aos problemas da geração intermitente, somando-se a outras fontes de energia, como a solar e a eólica.

Conforme (FREIRE, 2019), geralmente, o armazenamento de energia é utilizado, em cinco aplicações, as três primeiras “a frente do medidor de energia do cliente”, ou seja, entre a rede elétrica da rua e o medidor da propriedade, e as duas restantes “atrás do medidor de energia”, ou seja, já dentro da propriedade do cliente.

São estas:

- No armazenamento centralizado, que tem como objetivo substituir usinas geradoras “de ponta” (usinas a gás, diesel, óleo, termoelétricas), que são acionadas em horários de maior demanda.
- No suporte à transmissão e distribuição, através da instalação de sistemas de armazenamento próximos às subestações, com a finalidade de estabilizar a rede elétrica.
- No suporte às usinas renováveis de geração centralizada, com sistemas de armazenamento de energia capazes de reduzir a intermitência da geração solar ou eólica.
- Em instalações comerciais e industriais, visando reduzir o custo da energia na ponta e o custo de demanda.

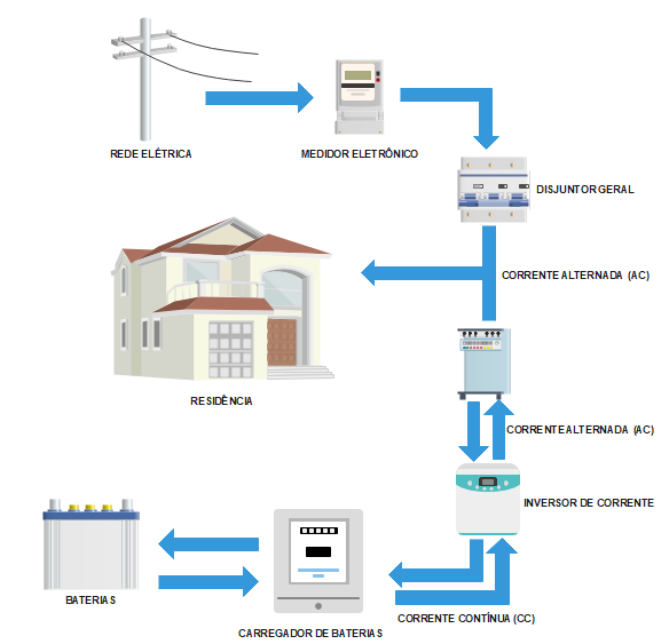
- Em instalações residenciais, para consumidores que visam ter mais autonomia da rede elétrica e no melhor dos sistemas fotovoltaicos instalados.

Ainda, conforme (SOLLAR, 2021), estes SAE deverão seguir uma evolução similar a da energia solar fotovoltaica, tornando-se mais presentes, conforme a tecnologia fica mais acessível. “No passado, dizia-se que a energia fotovoltaica somente seria utilizada no espaço e em conexões remotas e ela começou a ganhar a rede elétrica. O SAE, principalmente em relação às baterias, irá pelo mesmo caminho, conforme se torna uma tecnologia mais barata”.

Dentro deste contexto, é proposto o Sistema de Armazenamento de Energia deste trabalho. Assumindo a adesão a tarifa branca, este sistema favorece a redução da tarifa do consumidor, sem que este tenha que alterar seus hábitos de consumo. Este SAE proposto ainda atende ao objetivo da proposta tarifária, que é reduzir o consumo de energia em horários ponta, a partir da rede elétrica, para o consumo no horário de fora ponta. Nesse sentido, é realizada a análise de viabilidade econômica da solução proposta.

Para se resolver essa solução, o sistema de armazenamento deve ser precificado. Para isso, é feita análise de suas partes, identificando as tecnologias e soluções possíveis para as partes da estrutura. Neste contexto, é apresentado, na Figura 24, o diagrama esquemático do sistema empregado neste trabalho.

Figura 24 - Diagrama esquemático do sistema proposto.



Fonte: Autor.

O sistema consiste em uma rede elétrica de distribuição de energia fornecendo à energia a residência, composto por um medidor eletrônico bidirecional.

O disjuntor geral, que permite ou não o fornecimento da energia as instalações elétricas da residência.

O painel elétrico, representando o sistema de controle (microcontroladores, relés, chaves seccionadoras) da instalação, que fará o controle de todo o sistema e a escolha da alimentação. Por exemplo, quando deve ser enviada carga às baterias, como horários especificados por programação, leitura da carga das baterias e funcionamento do sistema no geral e entre outros fatores de programação.

O inversor CC/CA para converter a energia de contínua para alternada para o abastecimento das baterias com a energia da rede elétrica.

Um carregador de baterias, responsável por enviar carga as baterias e garantir o funcionamento destas; e por fim as baterias, que irão ser responsáveis pelo armazenamento da energia deste sistema.

Vale ressaltar que, o preço do sistema de armazenamento depende da energia que será deslocada, com base no consumo mensal do cliente. Desta forma, foram especificados os preços em Reais (R\$) de cada parte deste sistema (baterias, inversor, microcontroladores, carregador de baterias, relés), todos estes elementos, para ser feito o estudo sobre a viabilidade econômica deste sistema, para os consumidores de baixa tensão da concessionária.

4.1 BATERIAS

Uma bateria é um acumulador químico, que tem a capacidade de transformar, através de reações químicas, a energia química em energia elétrica, ou vice-versa, com baixo valor de emissões prejudiciais ao ambiente, sem ruído, e solicitando pouca manutenção (Silva, 2008).

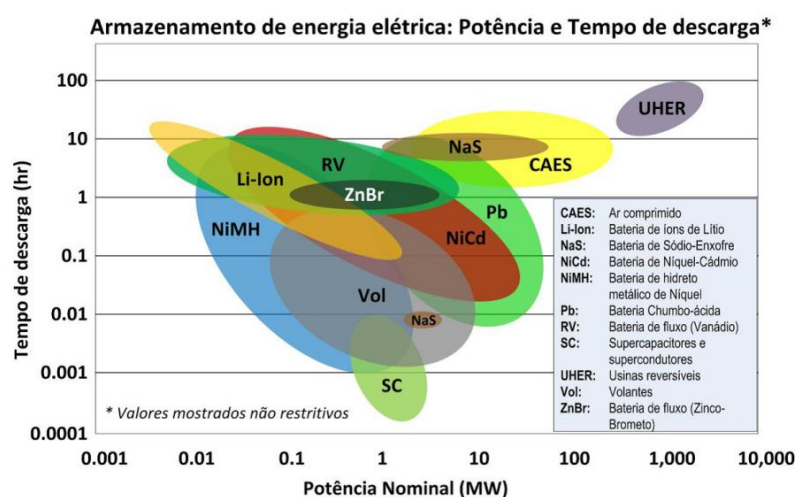
As baterias são compostas de vários módulos de baixa potência/tensão conectados em paralelo e em série, de modo a atingir as características elétricas desejadas. As baterias são carregadas quando ocorre esta reação química interna, a partir de uma potência aplicada a seus terminais, e através da descarga, ocorre uma reação química com entrega de potencial (TOLEDO, 2012).

Cada uma das células que compõem uma bateria contém um terminal positivo, também chamado de cátodo, e um terminal negativo, chamado de ânodo.

Os eletrólitos presentes permitem que os íons fluam livremente entre os eletrodos e terminais, dando origem a uma corrente elétrica.

As tecnologias de armazenamento dividem-se em seis principais categorias: baterias de estado sólido; baterias de fluxo; volantes de inércia; ar comprimido; térmico; e bombeamento hidráulico, conforme mostra a Figura 25.

Figura 25 - Tecnologias de armazenamento em baterias.



Fonte: (Faías, 2009).

Este trabalho se concentra mais especificamente, na análise das tecnologias de SAE na forma elétrica, tais como baterias do tipo Chumbo-Ácido (Pb-Ac), de Fluxo Vanádio Redox (VR), Estacionária e Íon de Lítio (Li-íon).

A maneira e as condições sob as quais são usadas baterias afetam seu desempenho, custo e vida útil. A capacidade de uma bateria é dada em potência, e geralmente denotada em Ah ou Wh.

Em muitos casos, a quantidade da capacidade que pode ser usada de uma bateria, também chamada de profundidade de descarga, afeta dramaticamente sua vida operacional (IRENA, 2015).

Outros fatores que afetam o desempenho de uma bateria são a temperatura ambiente e o serviço para o qual será empregada a bateria. A vida operacional da bateria pode ser medida em ciclos, ou em anos.

Existem inúmeras tecnologias disponíveis no mercado para aplicação em larga escala. Sendo as baterias chumbo-ácidas consideradas as mais desenvolvidas. Elas podem compor sistemas de armazenamento em massa ou podem ser usadas para rápidas cargas e descargas (TOLEDO, 2012).

Apesar de no mercado estarem mais consolidadas as baterias de chumbo-ácido, surgiram nos últimos anos, às baterias de íons de lítio, onde podemos encontrar estas baterias em dispositivos eletrônicos, como: smartphones, drones, câmeras fotográficas, notebooks, veículos elétricos, patinetes e bicicletas elétricas, entre outras aplicações.

Este tipo de bateria, de Íon-Lítio, se difere das demais, pelo fato de ter um baixo índice de manutenção, dependendo do modelo, sendo totalmente livre de manutenção, podendo também ser reutilizável, visando também o fator sustentabilidade.

Por apresentar um funcionamento de melhor qualidade que qualquer outra bateria nos dias atuais, o único ponto negativo, é referente ao seu valor, pelo fato de ainda ser considerada uma tecnologia nova em ascensão.

4.1.1 Bateria de Chumbo-Ácido (Pb-Ac)

As baterias chumbo-ácido, Figura 26, dentre as tecnologias eletroquímicas de armazenamento de energia, é a que se encontra mais madura. Além de serem recarregáveis, estas baterias apresentam vantagens tais como baixo custo, facilidade de fabricação, cinética rápida da reação eletroquímica e vida útil razoável, quando operada corretamente.

Entretanto, para aplicações estáticas e de larga escala no setor elétrico, as baterias de chumbo-ácido apresentam desvantagens, dentre as quais se encontram o uso intensivo na sua construção de materiais tóxicos e potencialmente perigosos para o meio ambiente, baixa densidade de energia e de potência, problemas de manutenção e vida útil inferior às demais tecnologias (IRENA, 2015).

Figura 26 - Bateria de chumbo - ácido.



Fonte: (IRENA, 2015).

4.1.2 Bateria de Fluxo Vanádio Redox

As baterias de fluxo Vanádio Redox, Figura 27, possuem uma concepção construtiva bastante diferente das baterias convencionais. Nas baterias de fluxo, o eletrólito é mantido em um tanque separado do empilhamento onde se encontram o ânodo, o cátodo e os elementos de separação, os quais possuem condução iônica seletiva (Silva, 2008).

As baterias de fluxo são consideradas uma opção viável em termos de eficiência e custo para aplicações que requerem tempos de descarregamento superior a cinco horas. Uma característica única das baterias de fluxo é a possibilidade, de variar de forma independente, a potência disponível e a capacidade de energia. A duração da descarga é determinada pelo volume do eletrólito e a potência pelo número de células (Silva, 2008).

Dentre as desvantagens mencionadas para as baterias de fluxo, encontra-se a complexidade construtiva, que agrega tanques, tubulações, bombas e outros componentes que não são utilizados nas baterias convencionais. Estes componentes introduzem perda de eficiência e, além disso, se tornam, assim como as baterias de chumbo-ácido, grandes responsáveis por problemas ao meio ambiente.

Figura 27 - Bateria de Fluxo Vanádio Redox.



Fonte: (Silva, 2008).

4.1.3 Bateria Estacionária

Essa tecnologia de bateria, Figura 28, foi projetada com o objetivo de oferecer uma quantidade constante de corrente por um longo período de tempo, além disso, podendo ser descarregada completamente diversas vezes, sendo projetadas para ciclos de descarga profundos.

A sua construção é composta por placas de chumbo mais espessas que as de chumbo ácido, por exemplo, e suportam quantidades maiores de ciclos de carga e descarga, atendendo a demanda para a qual foi projetada, oferecendo uma vida útil suficiente, mesmo sofrendo bastante descargas (IRENA, 2015).

É uma bateria bastante indicada para os sistemas de telecomunicações, energia eólica e fotovoltaica, iluminação, nobreaks, caixas eletrônicos, alarmes e sistemas de segurança, etc.

Figura 28 - Bateria Estacionária.



Fonte: IRENA (2015).

Seguindo os parâmetros do contexto deste trabalho, que trata da viabilidade econômica deste sistema, foram pesquisadas diversas marcas e tipos de baterias que adotam esta tecnologia, sendo elencadas as baterias da Tabela 4. A tabela traz as tecnologias, em ordem crescente do preço destas baterias, pelo armazenamento de energia que estas podem armazenar e disponibilizar ao sistema proposto, ou seja, preço/armazenamento utilizável (R\$/kWh).

Tabela 4 - Características técnicas e econômicas das baterias estacionárias.

MARCA E NOME DA BATERIA ESTACIONARIA	PREÇO(R\$)	CORRENTE (Ah)	ARMAZENAMENTO UTILIZAVEL(kWh)	PREÇO/WATT(R\$/W)
BATERIA PIONEIRO TECH - 105Ah	R\$590,00	105	1,26	468,25
BATERIA FREEDOM DF4100 240Ah 12V	R\$1.415,00	240	2,88	491,32
BATERIA FULGURIS FGCL220	R\$1.300,00	220	2,64	492,42
BATERIA DURACELL 180 Ah C100	R\$1.110,00	180	2,16	513,89
BATERIA FREEDOM DF2000 115Ah	R\$725,00	115	1,38	525,36
BATERIA FREEDOM DF2500 165Ah 12V	R\$1.060,00	165	1,98	535,35
BATERIA DURACELL 400Ah C100	R\$2.700,00	400	4,8	562,50
BATERIA MOURA 12V 150Ah - 12MN150	R\$1.043,00	150	1,8	579,44
BATERIA FREEDOM DF700 50ah	R\$400,00	50	0,6	666,67
BATERIA FREEDOM F3000 185 Ah	R\$2.000,00	185	2,22	900,90
BATERIA SMS LI 24V 40Ah EST FECH NG UPS/UPV	R\$1.600,00	40	1,08	1481,48
BATERIA FULGURIS 500Ah - 5000 ciclos	R\$14.000,00	500	6	2333,33
BATERIA FULGURIS 350Ah - 5000 ciclos	R\$10.500,00	350	4,2	2500,00
BATERIA FULGURIS OPZS 300Ah - 5000 ciclos	R\$9.500,00	300	3,6	2638,89

Fonte: (SOLLAR, 2021).

4.1.4 Bateria de Íons de Lítio (Íon-Li)

A tecnologia de Íon de Lítio tem evoluído e permitido que praticamente todos os eletrônicos e dispositivos portáteis utilizados diariamente, utilizem este tipo de

armazenamento, se tornando cada vez menores em tamanhos, mais poderosos e utilizáveis a longos períodos (SOLLAR, 2021).

E não se atém a apenas esta aplicação, pois, nas indústrias e em sistemas de energia solar fotovoltaica e armazenamento de energia para abastecer residências e veículos elétricos, a tecnologia está presente.

Além disso, as baterias de Íon de Lítio tem sido a opção preferencial para as aplicações nestes veículos, seja nos veículos híbridos quanto nos veículos elétricos puros.

Nos últimos anos, estas baterias têm despontado como a tecnologia que mais cresce nas aplicações estacionárias para armazenamento de energia, com destaque para o armazenamento de energia em sistemas fotovoltaicos isolados da rede.

São muitas as vantagens desta tecnologia de bateria, podendo-se citar alguns destes benefícios:

- Alta densidade energética, podendo suportar altas taxas de carga e descarga, com ausência de efeito memória, ou seja, “não vicia”, não precisa carregar a bateria totalmente e descarrega-la até o total mínimo, diferentemente da bateria de chumbo-ácido, por exemplo.
- Apresentam uma vida útil superior, comparada as baterias anteriores.
- Peso, muito mais leve que as baterias de chumbo-ácidas e muito menores em tamanho.
- Apresentam um sistema de gerenciamento de bateria (BMS), que se encarrega de fazer a recarga e o balanceamento das células em operação.
- Menos sensível a altas e baixas temperaturas, em comparação com outras tecnologias.
- Auto-descarga relativamente baixa, apresentando uma auto-descarga menor do que a metade da auto-descarga das outras baterias.
- Manutenção baixa ou nenhuma.
- Impacto ambiental muito menor em relação à outras tecnologias.

As baterias de Íon-Li apresentam, no entanto, desvantagens que dificultam a implementação em algumas aplicações, como:

- Maior cuidado no transporte, pela alta densidade de energia e por conter eletrólito que se torna um produto altamente inflável.
- Seu elevado custo financeiro por ser uma tecnologia relativamente moderna, ainda mais caro se tratando no Brasil, por existir poucas tecnologias desenvolvidas no nosso País.
- Delicada em questão à sobrecargas, não aceitando sobrecargas como as baterias de chumbo-ácida aceitam, requerendo por isso, um circuito de proteção.

Com base nas informações aqui colocadas, conceituando e analisando todos os fatores, a bateria de Íons de Lítio, foi uma das tecnologias escolhidas, para o desenvolvimento do sistema de armazenamento de energia proposto neste trabalho.

Para a utilização de qual bateria de Íon-Lítio deveria ser utilizada para a implementação do sistema, foram visadas características como armazenamento e preço.

Seguindo os parâmetros do contexto deste trabalho, que trata da viabilidade econômica deste sistema, foram pesquisadas diversas marcas e tipos de baterias que adotam esta tecnologia, sendo elencadas as baterias da Tabela 5.

A tabela traz as tecnologias, em ordem crescente do preço destas baterias, pelo armazenamento de energia que estas podem armazenar e disponibilizar ao sistema proposto, ou seja, preço/armazenamento utilizável (R\$/kWh).

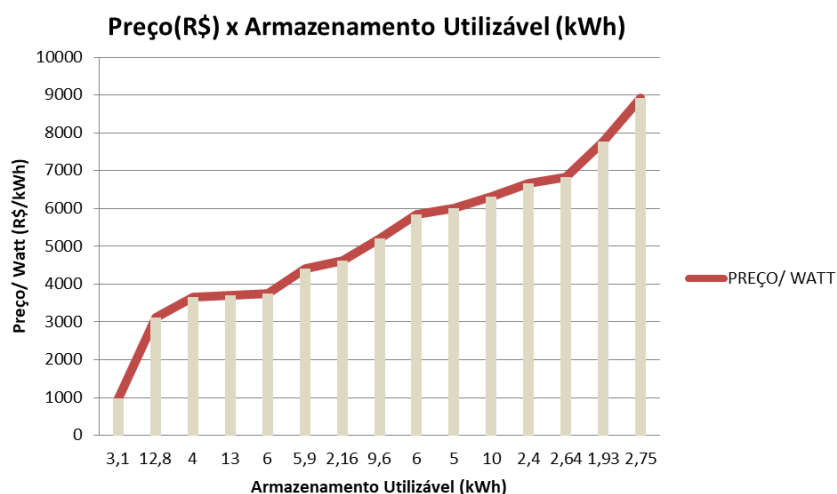
Tabela 5 - Características técnicas e econômicas das baterias de Íon-Lítio.

MARCA E NOME DA BATERIA	PREÇO (R\$)	ARMAZENAMENTO NOMINAL (kWh)	ARMAZENAMENTO UTILIZÁVEL (kWh)	PREÇO/ARMAZ. (R\$/kWh)
Solar Energy Source Power	R\$3.000,00	3,1	3,1	R\$967,74
SunGrow SBR HV 12,8kWh	R\$40.000,00	12,8	12,8	R\$3.125,00
SolaX Triple Power 4.5	R\$14.600,00	4,5	4	R\$3.650,00
BYD B Box Pro 13.8	R\$48.000,00	13,8	13	R\$3.692,31
Growatt GBLI6531	R\$22.500,00	6,5	6	R\$3.750,00
LG Chem RESU 6.5	R\$26.000,00	6,5	5,9	R\$4.406,78
Pylontech US2000 B	R\$10.000,00	2,4	2,16	R\$4.629,63
Dyness Powerbox	R\$50.000,00	9,6	9,6	R\$5.208,33
Aoboet UHOME NCA	R\$35.000,00	6,8	6	R\$5.833,33
Huawei Luna (5kWh)	R\$30.000,00	5	5	R\$6.000,00
Redflow Zcell	R\$63.000,00	10	10	R\$6.300,00
Gen Z 48V 3kWh	R\$16.000,00	3	2,4	R\$6.666,67
PowerPlus Energy Life Premium Series	R\$18.000,00	3,3	2,64	R\$6.818,18
Zenaji Aeon	R\$15.000,00	1,93	1,93	R\$7.772,02
SimpliPhi PHI3.4 Smart-Tech	R\$24.500,00	3,4	2,75	R\$8.909,09

Fonte: (SOLLAR, 2021).

A bateria Solar Energy Source Power, que é a bateria que se tornou mais viável e mais recomendada para ser implementada neste sistema. Trata-se da única bateria nacional de todas as baterias supracitadas na tabela, sendo evidenciada na Figura 29. Cada coluna do gráfico corresponde aos valores do preço/armazenamento utilizável (R\$/kWh), em ordem crescente do seu valor, conforme a quinta coluna da Tabela 5.

Figura 29 - Preço das baterias, em função da energia armazenada.



Fonte: (SOLLAR, 2021).

A bateria Energy Source Power, Figura 30, é uma bateria desenvolvida pela empresa brasileira Energy Source, que em 2016, a partir da identificação de um problema global que envolve o armazenamento de energia limpa e renovável, proveniente do descarte inadequado de baterias e o alto consumo de recursos naturais que provocam a degradação do meio ambiente, lançou no mercado uma solução com o intuito de mudar a maneira de reaproveitar e aperfeiçoar o uso de energia.

Figura 30 - Bateria Solar Energy Source Power.



Fonte: (SOLLAR, 2021).

A bateria Energy Source Power, pode ser conectada em série ou paralelo no sistema, possui uma vida útil de até 1.200 ciclos, é uma bateria muito resistente a altas e baixas temperaturas, podendo ser empregada em diversos projetos. Possui o sistema de gestão de carga, evitando uma sobrecarga e descarga completa da

bateria, ou seja, assim que a bateria estiver cheia, em um nível máximo, ele corta a recarga, e assim que atingir um nível mínimo, o BMS (Battery Management System), em português, Sistema de Gerenciamento de Carga, corta a descarga completa, assegurando uma maior vida útil das baterias e um funcionamento mais seguro.

É uma bateria muito leve, sendo 70% mais leve que a bateria de chumbo-ácido, não tóxica, pois não emite gases, possui um sistema de proteção contra curto-circuito, ainda tem capacidade de armazenamento de 3,1 kWh, 24V de tensão e 1.165 Watts de potência.

Para se utilizar as baterias, como estas trabalham em corrente contínua, para serem carregadas e ser utilizada a energia produzida pelas mesmas, é necessário que esta energia, seja convertida. Desta forma, necessita-se o incremento do inversor no sistema.

4.2 INVERSORES (CONVERSOR CC-CA)

Os inversores têm a finalidade de transformar uma corrente contínua, em corrente alternada, mudando a sua forma de onda. Isso requer que, a forma de onda da corrente resultante na rede tenha mínima distorção, ou seja, passando de uma forma de onda contínua, para uma forma de onda senoidal, dentro de padrões de qualidade adequados (PEREIRA; GONÇALVES, 2008).

Em outras palavras, o inversor é um adaptador de energia. Com o uso do inversor, este permite que a energia armazenada nas baterias, após passar pela conversão de corrente contínua, para corrente alternada, possa alimentar as cargas da residência.

O inversor é responsável por otimizar a energia produzida. É o inversor que garante toda a segurança de um sistema, realizando o seu monitoramento. Além disso, os inversores podem ser considerados como o cérebro de um sistema. “Por serem os responsáveis de captar as informações e entender que a energia em forma de corrente contínua (CC), precisa ser convertida em corrente alternada (CA), conforme necessita a rede elétrica” (PEREIRA, 2021).

De forma simplificado, pode-se resumir desta forma o funcionamento do inversor: “A conversão CC-CA ocorre através de um circuito de chaveamento eletrônico controlado por Pulse Width Modulation (PWM), tomando como referência

a tensão e a frequência da rede na qual está sendo injetada a energia gerada”. “Após o chaveamento da forma de onda, estes, geralmente realizados por componentes eletrônicos, que podem ser transistores do tipo chamados Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT), a corrente passa por filtros passa-baixa, para retirar os componentes harmônicos de baixa frequência. Desta forma, resultará em uma onda de saída praticamente senoidal (PEREIRA, 2021).

O inversor além de realizar a conversão de energia, também pode atuar em outras atribuições em um sistema, como:

- Monitoramento e controle do desempenho máximo dos módulos fotovoltaicos.
- Controle dos parâmetros da energia entre à rede e o sistema de armazenamento.
- Em sistemas fotovoltaicos garante que o sistema pare de funcionar em casos de falta de energia da rede.
- Identificação de anomalias no sistema e na rede, assegurando os equipamentos e pessoas;
- Registro da quantidade de energia produzida.

De modo geral, em relação às vantagens dos inversores, Figura 31, estes englobam uma rápida instalação, diversas funcionalidade, baixo custo de manutenção e vida útil prolongada do componente, em torno de 10 a 15 anos.

Figura 31 - Inversor CC-CA.



Fonte: (PEREIRA, 2021).

Conforme (PEREIRA, 2021) para que seja escolhido, corretamente, qual o inversor que deve ser utilizado no sistema, deve-se atentar para alguns pontos mais importantes, como:

- Eficiência - trata da relação entre a potência de saída e a potência de entrada. Para que ocorra a inversão de corrente contínua, em alternada, o inversor precisa ter a capacidade de economizar energia, sendo recomendada uma eficiência de no mínimo, 90%, desta forma, significaria que 10% da potência seria perdida ou consumida no próprio inversor.
- Padrão de proteção - os circuitos internos mais sensíveis de um inversor devem ser bem protegidos contra surtos causados por descargas elétricas e condições de sobrecarga. Sobrecargas podem ser causadas por mau funcionamento de equipamentos, problemas com fiação elétrica ou simplesmente pelo fato de muitos equipamentos estarem ligados ao mesmo tempo. O inversor, em casos assim, deve-se auto - desligar, caso a tensão das baterias esteja muito baixa, para protegê-las contra danos por descarga excessiva. O inversor precisa atender as recomendações da NBR IEC 60529. Nessa norma, são estabelecidos os graus de proteção para revestimentos de equipamentos elétricos, os chamados códigos IP.
- Local que será instalado - o inversor poderá ser instalado em diferentes locais, considerando qual será a sua finalidade, ou seja, para que tipo de aplicação este será utilizado. Por exemplo, em uma residência, ele pode ser instalado perto do quadro de luz, em qualquer cômodo da casa ou próximo ao telhado, para ficar próximo de módulos solares que poderão ser instalados futuramente.
- Tensão de entrada e saída - devendo a tensão CC de entrada do inversor, estar de acordo com o sistema elétrico e o banco de baterias, que comumente utilizam 12, 24 ou 48 Vcc.
- Potência de saída - expressa em Watts, em relação à potência do inversor, deve-se considerar três níveis de potência: contínua, máxima limitada por tempo e de surto. Potência contínua refere-se à potência que o inversor pode fornecer por um período indefinido de horas.

Potência máxima limitada por tempo significa a potência máxima que o inversor fornecerá por certo tempo, tipicamente, 10 ou 20 minutos. Já a potência de surto refere-se a sua capacidade de partir motores.

Seguindo estas recomendações, foram levantados os valores em reais (R\$), de qual o inversor mais recomendado, com base na relação custo benefício, sendo utilizado como parâmetros o seu preço (R\$) em função da potência (W) do inversor, conforme relata a Tabela 6 e a Figura 32.

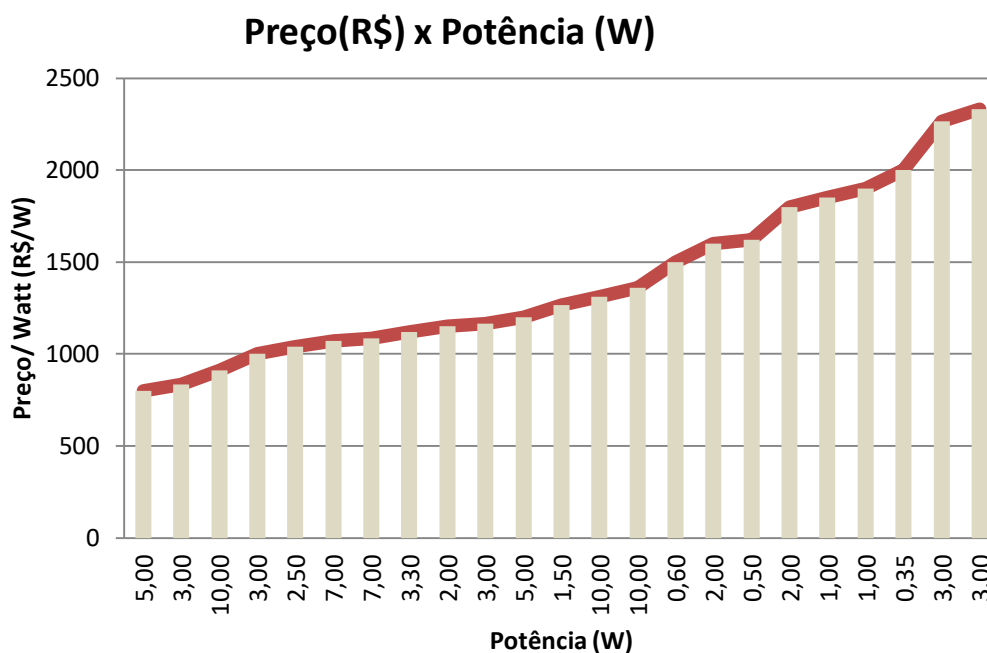
Tabela 6 - Características técnicas e econômicas dos inversores.

MARCA E NOME DO INVERSOR	PREÇO(R\$)	POTÊNCIA(kW)	PREÇO/WATT (R\$/W)
Growatt Mic5000tl x 5Kw	R\$4.000,00	5,00	R\$800,00
Growatt Mic3000ti-x 3kW	R\$2.500,00	3,00	R\$833,33
INVT BG10KTR	R\$9.100,00	10,00	R\$910,00
Canadian 3kW CSI-3K-S22002-E	R\$3.002,00	3,00	R\$1.000,67
Growatt Mic2500tl x 2,5kW	R\$2.600,00	2,50	R\$1.040,00
Canadian 7kW CSI - 7KTL1P -GI	R\$7.500,00	7,00	R\$1.071,43
Refusol - 801p007200	R\$7.600,00	7,00	R\$1.085,71
REFUsoL - 801p3k100 3,3Kw	R\$3.700,00	3,30	R\$1.121,21
Growatt Mic2000tl x 2kW	R\$2.300,00	2,00	R\$1.150,00
Canadian 3kW CSI-3K-tl1p-gi-fi	R\$3.500,00	3,00	R\$1.166,67
REFUsoL - 801p005200 5kW	R\$6.000,00	5,00	R\$1.200,00
Growatt Mic1500tl x 1,5kW	R\$1.900,00	1,50	R\$1.266,67
Good WE 10 Kw	R\$13.100,00	10,00	R\$1.310,00
FRONIUS Symo Brasil 10kW	R\$13.600,00	10,00	R\$1.360,00
Intelbras IMD 601	R\$900,00	0,60	R\$1.500,00
Grid Tie Ecosolys Ecos - 2000 Plus	R\$3.200,00	2,00	R\$1.600,00
Usina Inverter	R\$810,00	0,50	R\$1.620,00
Sungrow Monofásico SG2 K-S	R\$3.600,00	2,00	R\$1.800,00
Power Inverter Híbrido 1kW	R\$1.850,00	1,00	R\$1.850,00
Grid Ecosolys Ecos-1000 Plus	R\$1.900,00	1,00	R\$1.900,00
Ultra Eletronicos	R\$700,00	0,35	R\$2.000,00
FRONIUS PRIMO 3,0	R\$6.800,00	3,00	R\$2.266,67
STRING FoxESS MONOFÁSICO	R\$7.000,00	3,00	R\$2.333,33

Fonte: (SOLLAR, 2021).

Os valores de cada coluna do gráfico da Figura 32, estão em ordem crescente do seu preço/ Watt (R\$/W), conforme a quarta coluna da Tabela 6.

Figura 32 - Preço (R\$) do inversor em função da potência (W).



Fonte: (SOLLAR, 2021).

Para que as baterias possam ser utilizadas, se faz necessário o uso dos carregadores para o abastecimento destas cargas, desta forma é apresentada a sua função e dados sobre este importante componente do sistema.

4.3 CARREGADOR DE BATERIA

O carregador de baterias neste sistema tem a função de alimentar as baterias com energia, para realizar o armazenamento da carga. Captando a energia da rede elétrica e depois que esta energia é convertida pelos inversores, o carregador abastece as baterias com esta energia captada, para que estas cumpram a função de armazenamento. Para que o sistema funcione, os carregadores devem cumprir, permanentemente, sua função (PEREIRA, 2021).

Além disso, o carregador, Figura 33, apresenta, através do display, o indicativo da tensão e corrente que está sendo aplicado nas baterias, ou seja, de forma inteligente, realiza o controle dos níveis de tensão e corrente que está sendo aplicado.

Desta forma, o carregador garante a vida útil das baterias, e ainda disponibiliza ao cliente, a possibilidade de identificar quando estas baterias já estão

com sua carga máxima e se estão em pleno funcionamento, para que esta energia possa ser consumida pela residência no horário de ponta da rede elétrica.

Outra função muito importante do carregador de baterias, é a proteção que este fornece as baterias, contra sobrecargas e descargas profundas, otimizando o processo de carga e preservando a vida útil das baterias.

Para a escolha do carregador de baterias (PEREIRA, 2021), recomenda-se que sejam levados em consideração quatro critérios, sendo:

- O tipo de bateria que será instalado no sistema.
- Tensão de entrada e tensão de saída.
- Corrente de saída: aconselha-se que se utilize um carregador de baterias com uma classificação de corrente de 1:10 da capacidade, ou seja, se uma bateria for de 100 ampères, recomenda-se utilizar um carregador de 10 ampères.
- Carga permanente: é o principal requisito para a corrente de carga. O carregador deve ser capaz de fornecer essa corrente, com a capacidade restante usada para carregar a bateria. Por exemplo, para uma carga permanente de 2 amperes, um carregador de baterias de 5 ou 10 amperes, seria considerado adequado.

Figura 33 - Carregador de baterias.



Fonte: (PEREIRA, 2021).

Portanto, o carregador de baterias se faz indispensável para que o consumidor usufrua deste sistema de armazenamento de energia, pois, sem o carregador, a energia não poderá sequer, ser armazenada nas baterias. Desta forma, algumas das tecnologias de carregadores de baterias, são elencadas na Tabela 7 e Figura 34, que estão disponíveis no mercado.

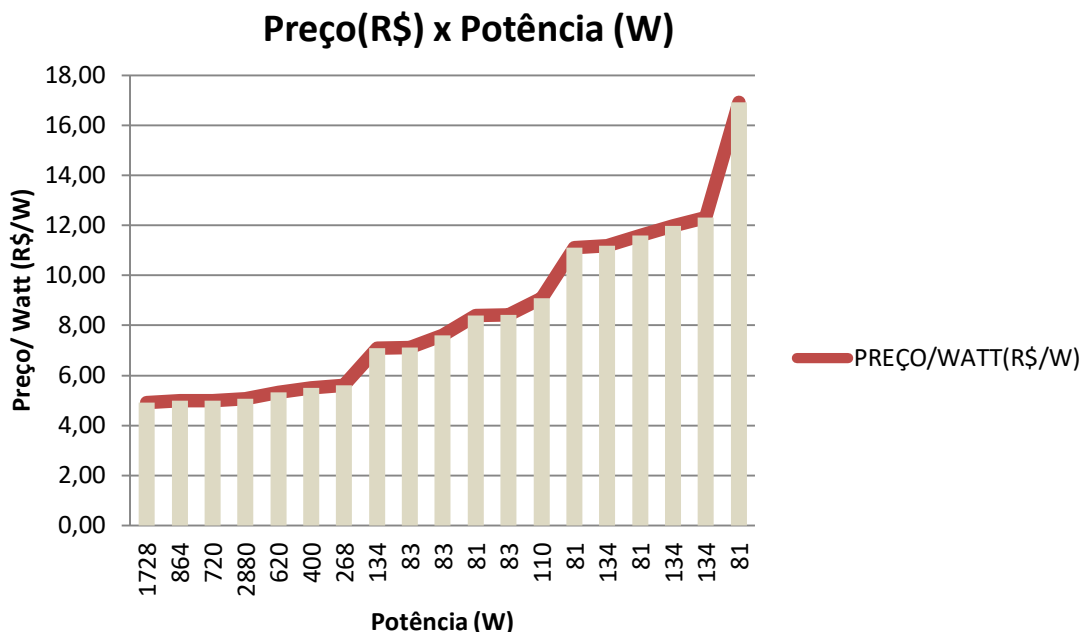
Tabela 7 - Características técnicas e econômicas dos carregadores de baterias.

MARCA E NOME DO CARREGADOR	PREÇO(R\$)	CORRENTE DE CARGA (A)	POTÊNCIA(W)	PREÇO/WATT (R\$/W)
MCE CHFB 24- 60	R\$8.500,00	60	1728	4,92
MCE CHFB 24-30	R\$4.300,00	30	864	4,98
FRONIUS CENTRIUM ACCTIVA	R\$3.600,00	30	720	5,00
MCE CHFB 24 -100	R\$14.600,00	100	2880	5,07
OTTO LT 100/ 3S	R\$3.300,00	25	620	5,32
FRONIUS ACCTIVA TWIN	R\$2.200,00	15	400	5,50
F30 SR PROFISSIONAL	R\$1.500,00	10	268	5,60
DEEPSEA - DSE 9255	R\$950,00	5	134	7,09
KGEN - KG24C3A	R\$590,00	3	83	7,11
REACIONA - BCH - OPT - 41	R\$630,00	3	83	7,59
KVA - 521 - K21L	R\$680,00	3	81	8,40
KGEN - KG24BCD	R\$700,00	3	83	8,43
F100 SR PROFISSIONAL	R\$1.000,00	4	110	9,09
KVA - 521	R\$900,00	3	81	11,11
DEEPSEA - DSE 9701	R\$1.500,00	5	134	11,19
COMAP - ICHG - 65 -24 - A	R\$940,00	3	81	11,60
COMAP - ICHG - 120-12/24	R\$1.605,00	5	134	11,98
DEIF - DBC - 1 -2405	R\$1.650,00	5	134	12,31
GRAMEYER - GCBF - 04 24	R\$1.370,00	3	81	16,91

Fonte: (SOLLAR, 2021).

Os valores de cada coluna do gráfico abaixo, Figura 34, estão em ordem crescente do seu preço/ Watt (R\$/W), conforme a quinta coluna da Tabela 7.

Figura 34 - Preço (R\$) do carregador de baterias em função da potência (W).



Fonte: (SOLLAR, 2021).

Para que se faça toda a parte de escolha de qual deverá ser o momento de utilização da energia das baterias, toda a parte de programação e controle do sistema é utilizado o painel de controle do sistema.

4.4 PAINEL DE CONTROLE DO SISTEMA

O painel de controle do sistema é uma das partes mais importantes dos componentes do sistema, sendo considerada a parte de programação das tarefas a serem executadas. Todos os dados coletados, de consumo da residência, carga das baterias, horários que deve estabelecer qual a alimentação de energia utilizar, sendo da rede elétrica ou das baterias para a demanda da residência, todos estas e outras decisões, serão compiladas por esta parte do sistema.

Os dados coletados serão enviados a um microcontrolador que salvará os dados e tomará as decisões sobre o gerenciamento desta carga de energia, de acordo com a necessidade de cada consumidor.

O microcontrolador, através de uma programação com base nos dados salvos, ficará responsável por realizar o chaveamento de relés de estado sólido que

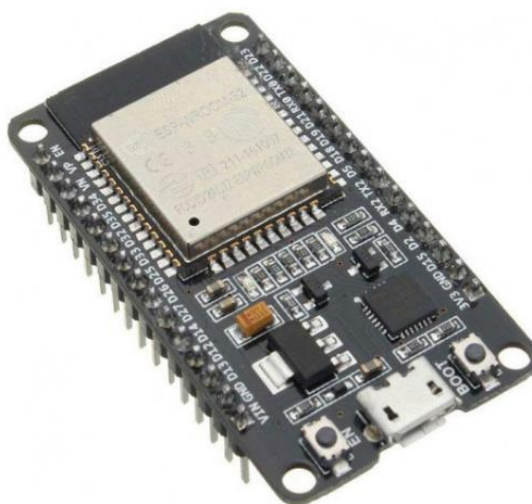
indicarão qual a fonte de energia deverá fazer a alimentação de energia da residência.

O microcontrolador escolhido e que será utilizado para realizar as medições e gerenciamento de carga do usuário é o ESP32. Segundo estudos realizados por (LIMA, 2020), este microcontrolador apresenta muitas versatilidades, como: conexão Wi-Fi, processador extremamente poderoso e veloz, Bluetooth Low Energy, possibilitando sua integração com celulares, tablets, etc.

Conforme apresentado por (LIMA, 2020), seguindo os padrões desenvolvidos em sua pesquisa, para o desenvolvimento do sistema proposto neste trabalho, será seguido os mesmos procedimentos em relação ao microprocessador.

Desta forma, basicamente, o microcontrolador ESP32 NodeMCU, Figura 35, irá monitorar a corrente e a tensão do sistema, sendo composto por relés e sensores para verificar o funcionamento das baterias e o abastecimento da residência, gerindo a carga advinda da rede elétrica da concessionária de energia. O microcontrolador ESP32 tem um custo de R\$100,00.

Figura 35 - Microcontrolador ESP32 NodeMCU.



Fonte: (LIMA, 2020).

Em relação aos relés, estes são componentes que podem ser eletromecânicos ou eletrônicos, criados com a função de produzir modificações rápidas em um ou mais circuitos elétricos de saída. Ao ser alimentado, o circuito de comando integrado dentro dos relés, faz a comutação de outro par de contatos ligados à um circuito secundário. De forma resumida, pode-se concluir que um relé

se configura como um contato que abre e fecha, de acordo com um determinado fator em sua entrada (LIMA, 2020).

O relé de estado sólido, Figura 36, também conhecido com SSR (Solid State Relay), é um componente semicondutor que têm as mesmas funções de um relé eletromecânico convencional, que é acionar uma carga de maior potência a partir de uma baixa potência em sua entrada.

Desta forma, os relés de estado sólido, Tabela 8, funcionam como atuadores, ficando responsáveis por chavear os circuitos e possibilitar que seja realizado o controle e gerenciamento da carga do sistema de armazenamento de energia.

Figura 36 - Relé de estado sólido.



Fonte: (USINAINFO, 2021).

Tabela 8 - Características técnicas e econômicas dos relés de estado sólido.

MARCA E NOME DO RELÉ (3 Unidades)	PREÇO(R\$)	CORRENTE (A)
FOTEK SSR - 25 DA	R\$105,00	25
FOTEK SSR - 40 DA	R\$144,00	40
MRA SSR - 50 DD	R\$180,00	50
FOTEK SSR - 60 DA	R\$204,00	60
FOTEK SSR - 10 DA	R\$255,00	100

Fonte: (USINAINFO, 2021).

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, inicialmente, foi evidenciada a importância dos sistemas de armazenamento de energia na unificação, distribuição e ampliação dos sistemas de geração distribuída. Além disso, foram resumidos os benefícios que são obtidos com

o aumento destes sistemas de geração distribuída, tanto na forma econômica, como na forma sustentável.

Desta forma, foi exemplificado como o armazenamento de energia pode ser utilizado pelas concessionárias e consumidores. Dentro deste contexto, foi proposto um sistema de armazenamento de energia para consumidores de baixa tensão, que utilizem a tarifa branca como tarifação em suas residências, sem que estes venham mudar seus hábitos de consumo.

Por conseguinte, foram elencados os materiais e tecnologias a serem utilizados no sistema de armazenamento de energia proposto, a fim de obter uma viabilidade econômica na fatura mensal do consumidor, sendo feita toda a precificação e análise de cada elemento do sistema, quais suas vantagens e desvantagens, o tipo de tecnologia utilizado por cada elemento do sistema e quais suas características técnicas, buscando obter, para cada grupo de consumidores de baixa tensão, elementos do sistema de altíssima qualidade e ótima relação custo benefício.

5 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica trata-se de realizar o dimensionamento do sistema e verificar se o armazenamento de energia proposto neste trabalho se tornará economicamente viável. Para isso, são utilizados indicadores de viabilidade para se ter uma maior clareza nos resultados gerados e para a tomada de decisão da viabilidade do sistema.

Sabe-se que vivemos em um momento de muitas tecnologias vindo a tona em todo nosso planeta. O mercado vive em constante competição, fazendo com que empresas busquem sempre a inovação. Estas inovações sejam tecnologias, novos equipamentos etc., incluem mobilização de recursos financeiros. Com isso, administradores de empresas devem sempre avaliar quais decisões devem ser tomadas buscando um lucro para o empresário (BORDEUX-RÊGO et al., 2008).

Desta forma, necessita-se estabelecer critérios objetivos para segregar os fluxos de caixa, tomando a melhor decisão (BORDEUX-RÊGO et al., 2008; NUNES, 2012).

Assim, critérios são recomendados com o objetivo de indicar se um projeto será economicamente, viável ou não, sendo utilizados os valores da economia gerada e os valores que deverão ser investidos para se obter esta economia.

Alguns dos indicadores essenciais que servem para auxiliar na tomada de decisão acerca dos investimentos que serão feitos, são o *Payback*, Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

5.1 PRAZO DE RECUPERAÇÃO DE INVESTIMENTO (*PAYBACK*)

Este é um dos indicadores que relaciona qual será o tempo necessário para recuperar o investimento feito em um projeto. Desta forma, quanto maior o tempo de recuperação do capital investido, maior é o risco do investimento (GUIDUCCI, FILHO E MOTA, 2012).

Para um projeto tornar-se viável, compara-se o tempo máximo de recuperação do capital desejado pelo investidor e analisa-se se é inferior ao período em que foi submetido (BORDEUX-RÊGO et al., 2008; GUIDUCCI; FILHO; MOTA, 2012). A equação (12), mostra a relação do *Payback*.

$$PB = \frac{INV(0)}{RFC} \quad (12)$$

Em que:

PB - Payback (em meses);

INV(0) - investimento inicial;

RFC - Resultado Fluxo de caixa com o ganho do investimento;

Após ser calculado o *Payback* do sistema de armazenamento, é necessário que se obtenha o cálculo do VPL.

5.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O indicador VPL se refere a riqueza em valores monetários do investimento, sendo a diferença entre o valor presente das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa, a uma determinada taxa, frequentemente chamada de taxa de desconto, custo de oportunidade ou custo do capital (REBELATTO, 2004, p.214).

Conforme ressalta Casarotto Filho (1994), pode-se fazer a seguinte analogia:

- Se $VPL > 0$, então o valor investido será recuperado e haverá um ganho.
- Se $VPL = 0$, significa que a aplicação não resultará diferença.
- Se $VPL < 0$, significa que o investidor estará resgatando um valor menor que o valor investido, tornando-se inviável o investimento.

O cálculo do VPL, também pode ser obtido, através da equação (13).

$$VPL = I_0 + \sum_{t=1}^N \left(\frac{Ft}{((1+TMA)^t)} \right) \quad (13)$$

Em que:

VPL : Valor presente líquido;

I_0 : investimento inicial;

Ft : Fluxo de caixa no período t ;

TMA : Taxa mínima de atratividade;

Tendo os resultados o Payback e do VPL, para concluir os cálculos da viabilidade do sistema, necessita-se o cálculo da TIR.

5.3 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

De acordo com Hoji (2006), a Taxa Interna de Retorno (TIR) caracteriza-se pela taxa de desconto do fluxo de caixa. A TIR é uma taxa de juros implícita numa série de pagamentos (saídas) e recebimentos (entradas), que tem a função de descontar um valor futuro ou aplicar o fator de juros sobre um valor presente.

Em outras palavras, é a taxa que remunera o investimento realizado no projeto. Assim, a soma das saídas deve ser igual à soma das entradas, em uma determinada data de análise, para se anularem (HOJI, 2006). Desta forma, para que um projeto torne-se viável, recomenda-se que seja analisada a seguinte relação:

- Se a TIR > custo de capital (taxa mínima de atratividade - TMA), aceita-se o projeto;
- Se a TIR < custo de capital (taxa mínima de atratividade - TMA), rejeita-se o projeto;

Ressalta-se que é preciso ter muito cuidado e não confundir a TIR com a taxa mínima de atratividade (TMA) que o valor investido deverá proporcionar para que o investimento seja interessante (HOJI, 2006).

Para obter o valor da TIR, é realizado o cálculo da equação (14).

$$0 = \sum_{t=1}^N \left(\frac{Ft}{((1+TIR)^t)} \right) \quad (14)$$

Em que:

Ft : Fluxo de caixa no período t ;

TIR: Taxa Interna de Retorno;

A equação (14) descreve o VPL em função de uma taxa de desconto, ou seja, a medida que a taxa aumenta, o VPL diminui até igualar-se a 0. Quando VPL = 0, este valor corresponderá à TIR.

Tendo todos os resultados dos indicadores de viabilidade elencados, juntamente dos elementos componentes do sistema a precificação deste pode ser obtida.

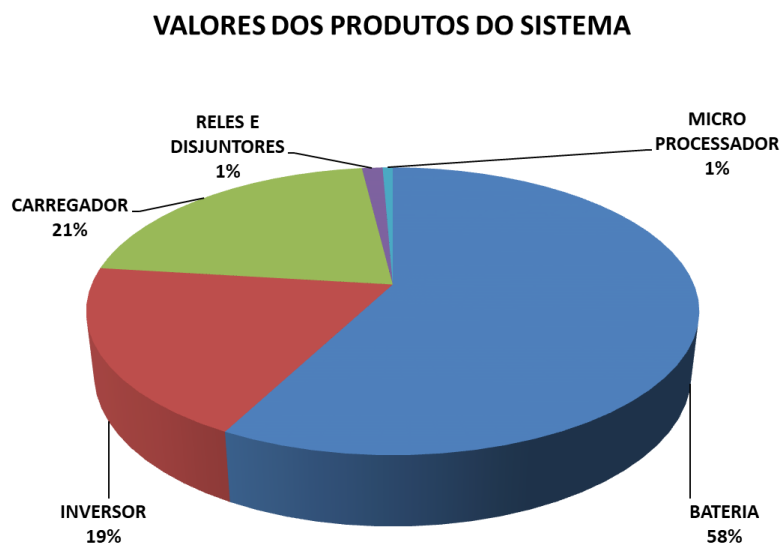
5.4 PREÇO DO SISTEMA

O valor do sistema de armazenamento de energia foi precificado, sendo utilizados nesta quantificação: três relés de estado sólido, uma fonte chaveada, resistores, conectores e capacitores, reguladores de tensão, um microcontrolador ESP32, disjuntores, carregador de baterias, inversor de corrente e os dois tipos de baterias propostos, de íons de lítio e baterias estacionárias.

Basicamente, o valor se difere apenas pelo tipo de tecnologia de baterias utilizado. Estes valores se referem a um consumidor do Grupo 5, com um consumo mensal acima de 500 kWh, sendo necessário o uso de três baterias (R\$9000,00), um inversor (R\$ 3000,00), um carregador de baterias (R\$3300,00), relés e disjuntores (R\$ 204,00) e um microcontrolador (R\$100,00).

Verifica-se, na quantificação e precificação do sistema, que o maior custo do valor de investimento do sistema de armazenamento, se deve ao preço das baterias, conforme a Figura 37.

Figura 37 - Valores em porcentagem, dos elementos do sistema.



Fonte: Autor.

Os valores finais do sistema foram quantificados conforme o montante de energia que será deslocada, sendo feito este estudo, para todos os grupos de consumidores de BT residencial, conforme as Tabelas 9, 10, 11, 12, 13, que correspondem aos grupos 1, 2, 3, 4, 5 de consumo, respectivamente.

Este primeiro sistema precificado, utilizando baterias de íons de lítio, se torna um valor mais alto de investimento, porém, suas baterias tem uma vida útil mais prolongada, sendo necessário, desta forma, ser feito uma análise para cada caso.

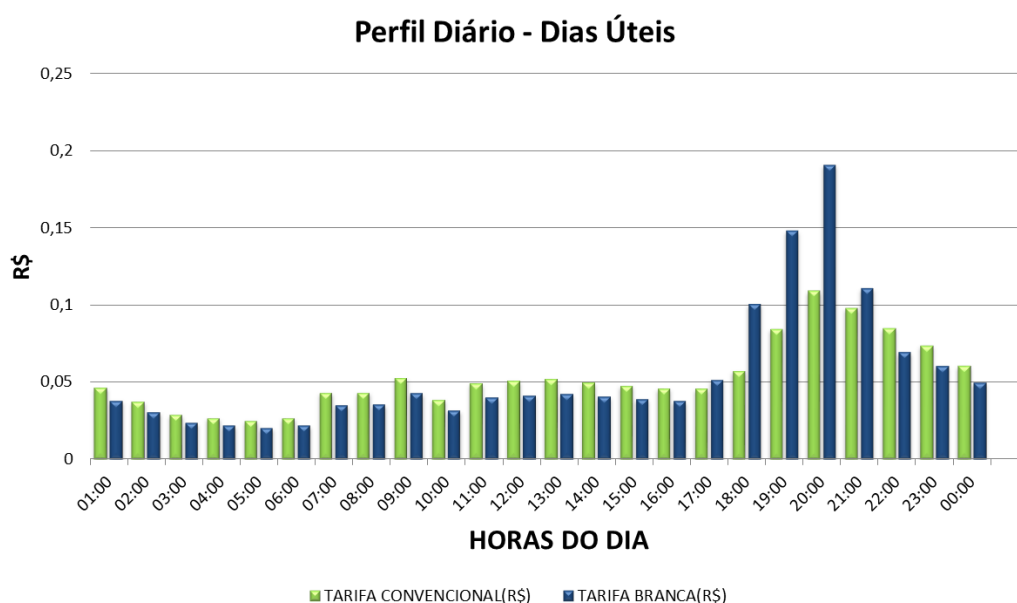
A segunda precificação do sistema se faz utilizando baterias estacionárias e carregadores convencionais, o que ocasionará em um sistema, inicialmente, com um investimento menor, porém, tendo suas baterias uma vida útil menor, quando comparadas às baterias de íons de lítio, sendo necessária também, ser feita a análise para cada caso.

Em relação as classes de consumo do subgrupo B1, pode-se se fazer a comparação entre o valor pago, na Tarifa Convencional ou na Tarifa Branca, entre todas as classes dos consumidores deste subgrupo. Os resultados desta comparação são apresentados nas Figuras 38 à 47. Em todos os gráficos, o valor da tarifa Convencional, em reais (R\$), destaca-se na cor verde. Na cor azul dos gráficos, encontram-se os dados referentes aos valores pagos em reais (R\$), dos consumidores faturados no sistema de Tarifa Branca. Vale ressaltar que, ambos os dados, estão subdivididos de hora em hora, para as 24 horas do dia.

5.4.1 Estudo de Caso I - Grupo 1 de BT - 31 à 100 kWh/mês

A Figura 38 apresenta o consumo para os dias de semana, tendo como faturamento as Tarifas Convencional e Branca.

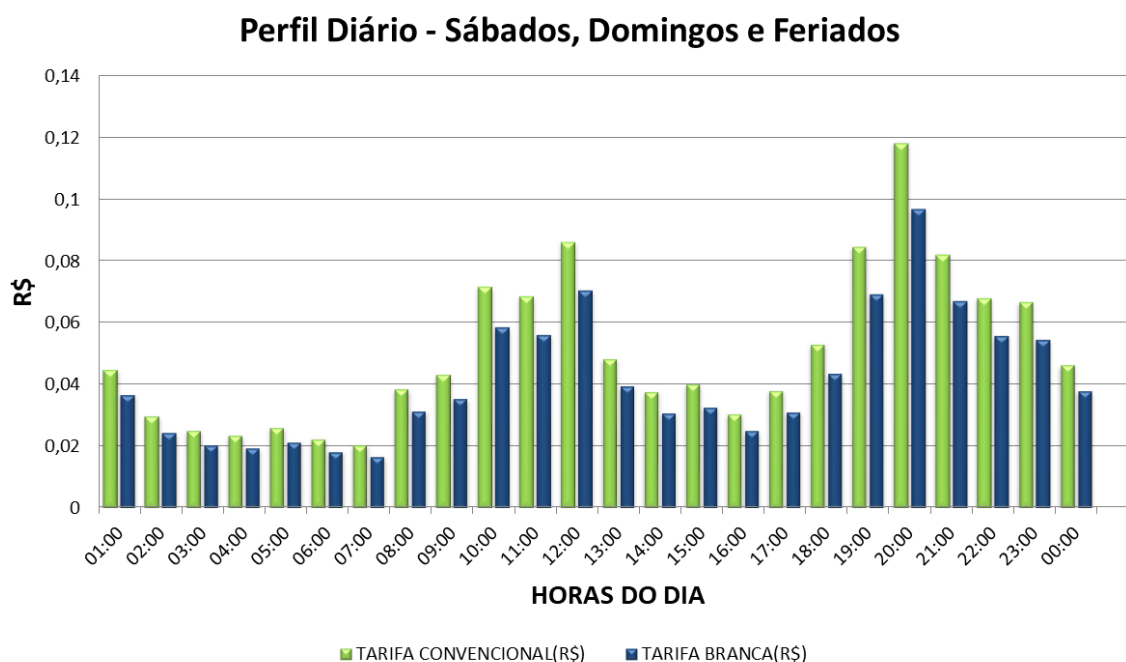
Figura 38 - Valores pagos em dias úteis pelos consumidores da classe de 31 a 100 kWh.



Fonte: Autor.

A Figura 39 apresenta o consumo para os finais de semana e feriados nacionais, tendo como faturamento as Tarifas Convencional e Branca.

Figura 39 - Valores pagos em finais de semana e feriados nacionais pelos consumidores da classe de 31 a 100 kWh.



Fonte: Autor.

Na tabela 9, que refere-se ao grupo 1 de consumidores residenciais, com um consumo mensal de 97 kWh, sendo 1,950 kWh, consumidos diariamente, em dias úteis, no horário de ponta. O preço da tarifa convencional mensal tem o valor de R\$52,67, e o valor da tarifa branca mensal, de R\$60,50. Utilizando-se da tarifa branca deslocada, que corresponde ao deslocamento da energia do horário ponta para o horário fora ponta, proposta por este trabalho, o valor mensal da fatura varia de R\$38,62 à R\$58,31, variando assim também a economia mensal, conforme o deslocamento proposto.

Para este grupo, a economia somente é obtida a partir do deslocamento de 40% do consumo diário do horário de ponta, desta forma, o sistema se tornaria possível apenas para consumidores que desloquem mais que 40% da energia consumida no horário de ponta.

Tabela 9 - Características técnicas e econômicas do sistema, para o grupo 1, 31 à 100 kWh de consumo mensal, utilizando baterias de íons de lítio.

VALOR EM R\$ (MÊS)		VALOR EM kWh (DIA)		PREÇO DO SISTEMA ION LITIO (R\$)	PREÇO DO SISTEMA ESTACIONARIA (R\$)
BRANCA DESLOCADA	ECONOMIA	PONTA (%)	CONSUMO PONTA		
R\$58,31	-R\$5,65	10,00%	1,950	R\$4.495,00	R\$1.505,00
R\$56,12	-R\$3,46	20,00%	1,950	R\$4.495,00	R\$1.505,00
R\$53,94	-R\$1,27	30,00%	1,950	R\$4.495,00	R\$1.695,00
R\$51,75	R\$0,92	40,00%	1,950	R\$4.495,00	R\$1.695,00
R\$49,56	R\$3,11	50,00%	1,950	R\$4.495,00	R\$1.835,00
R\$47,37	R\$5,29	60,00%	1,950	R\$4.605,00	R\$2.288,00
R\$45,19	R\$7,48	70,00%	1,950	R\$4.605,00	R\$2.305,00
R\$43,00	R\$9,67	80,00%	1,950	R\$4.695,00	R\$2.395,00
R\$40,81	R\$11,86	90,00%	1,950	R\$4.695,00	R\$2.445,00
R\$38,62	R\$14,05	100,00%	1,950	R\$6.005,00	R\$2.755,00

Fonte: Autor.

Para obter-se uma maior clareza da viabilidade econômica do sistema e para ser tomada a melhor decisão quanto ao investimento, para o grupo 1 de consumidores de baixa tensão, foram calculados os indicadores de viabilidade econômica supracitados: *Payback*, VPL e TIR. Os cálculos, conforme tabela 10, foram feitos para um deslocamento de 90% da energia de ponta deste grupo de consumidores, o qual foi considerado o mais viável do grupo, para os dois tipos de tecnologias de baterias utilizados, íons de lítio e estacionária.

Tabela 10 - Características dos indicadores de viabilidade econômica do sistema, para o grupo 1, 31 à 100 kWh de consumo mensal.

GRUPO 1 - 90% DESLOC.		LITIO	ESTACIONÁRIA
TMA	Período (ANOS)	Fluxo Caixa (Ft)	Fluxo Caixa(Ft)
1%	0	-R\$4.695,00	-R\$2.445,00
1%	1	R\$142,32	R\$142,32
1%	2	R\$142,32	R\$142,32
1%	3	R\$142,32	R\$142,32
1%	4	R\$142,32	R\$142,32
1%	5	R\$142,32	R\$142,32
1%	6	R\$142,32	R\$142,32
1%	7	R\$142,32	-
1%	8	R\$142,32	-
1%	9	R\$142,32	-
1%	10	R\$142,32	-
	VPL	-R\$3.347,04	-R\$1.620,19
	TIR	-17%	-24%
	PAYBACK (ANOS)	32,99	17,18

Fonte: Autor.

Verifica-se que os indicadores para o grupo 1 de consumidores residenciais, recomendam que o sistema não é viável para ambas as tecnologias de baterias, pelo fato de o *Payback* do investimento ficar muito longo, ultrapassando a vida útil estipulada das baterias, sendo de 10 anos das baterias de íons de lítio e de 6 anos das baterias estacionárias.

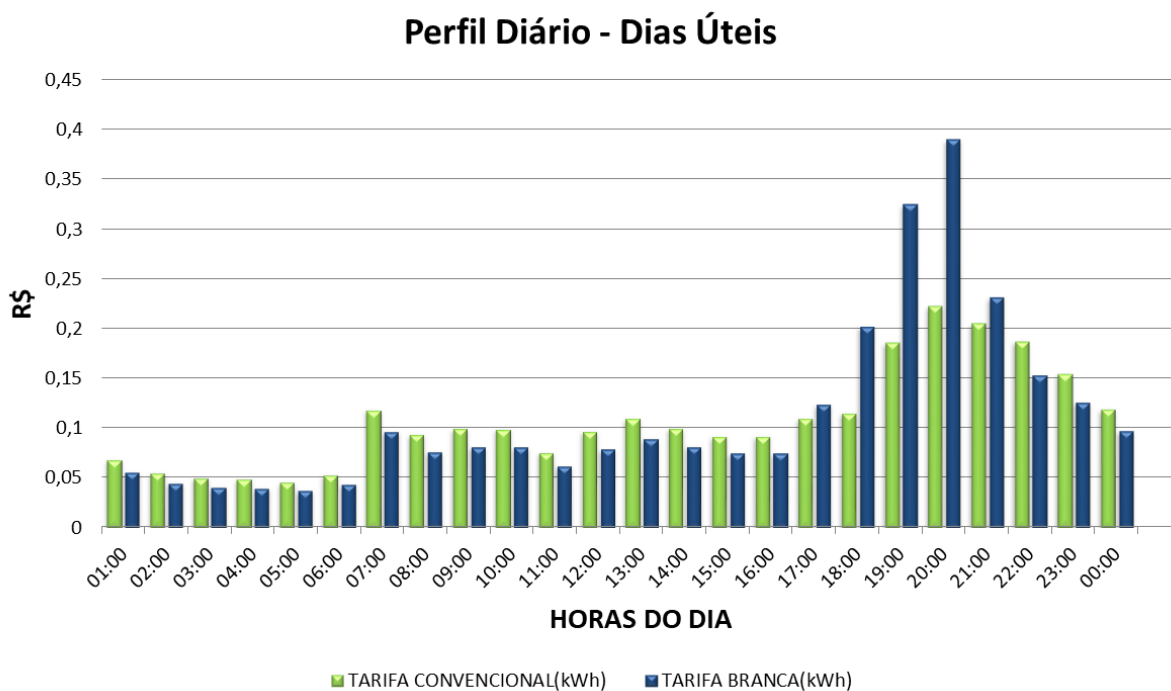
Ademais, o $VPL < 0$, tendo um retorno financeiro negativo para ambas as tecnologias, significando que o investidor estará resgatando um valor menor que o valor investido.

Além disso, tendo uma taxa interna de retorno - TIR, negativa, ou seja, menor que a taxa mínima de atratividade (sendo esta de 1%), ocasionando-se num sistema inviável neste momento.

5.4.2 Estudo de Caso II - Grupo 2 de BT - 101 à 160 kWh/mês

A Figura 40 apresenta o consumo para os dias de semana, tendo como faturamento as Tarifas Convencional e Branca.

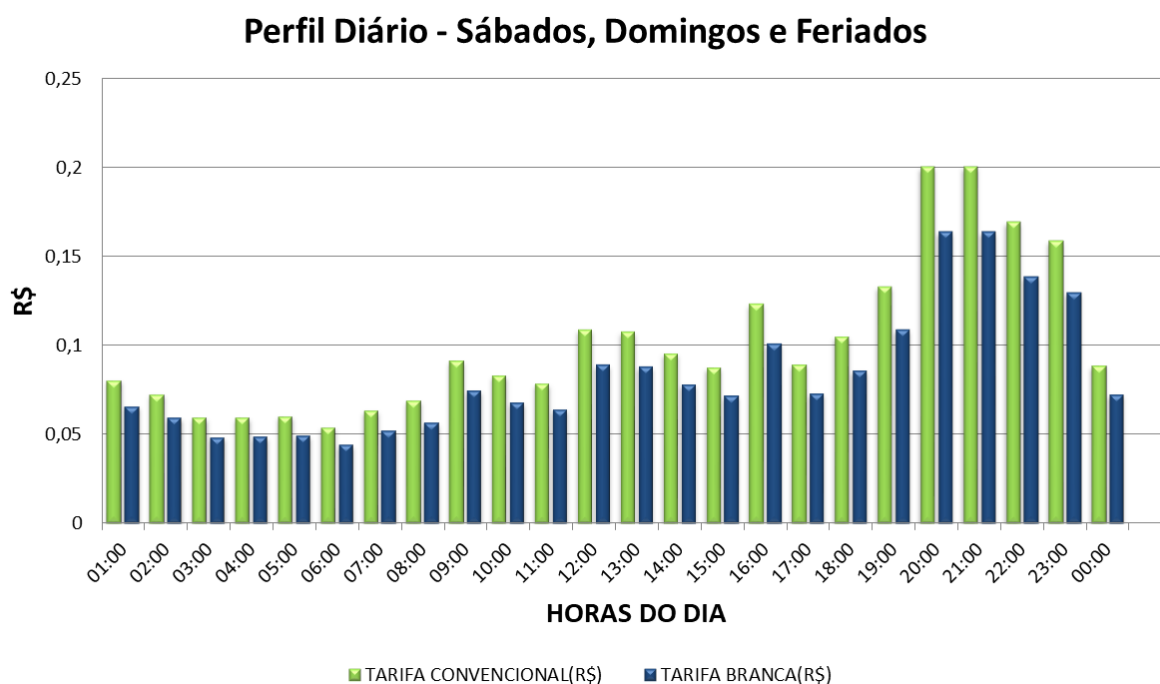
Figura 40 - Valores pagos em dias úteis pelos consumidores da classe de 101 a 160 kWh.



Fonte: Autor.

A Figura 41 apresenta o consumo para os finais de semana e feriados, tendo como faturamento as Tarifas Convencional e Branca.

Figura 41 - Valores pagos em finais de semana e feriados nacionais pelos consumidores da classe de 101 a 160 kWh.



Fonte: Autor.

Na tabela 11, que se refere ao grupo 2 de consumidores residenciais, com um consumo mensal de 158 kWh, sendo 2,325 kWh, consumidos diariamente, em dias úteis, no horário de ponta. O preço da tarifa convencional mensal tem o valor de R\$86,31 e o valor da tarifa branca mensal, de R\$91,69. Utilizando-se da tarifa branca deslocada, que corresponde ao deslocamento da energia do horário ponta para o horário fora ponta, proposta por este trabalho, o valor mensal da fatura varia de R\$65,59 à R\$89,08, variando assim também a economia mensal, conforme o deslocamento proposto.

Para este grupo, é evidenciado que a economia, somente é obtida a partir do deslocamento de 30% do consumo diário do horário de ponta, desta forma, o sistema se tornaria possível apenas para consumidores que deslocarem mais que 30% da energia consumida no horário de ponta.

Tabela 11 - Características técnicas e econômicas do sistema, para o grupo 2, 101 à 160 kWh de consumo mensal, utilizando baterias de íons de lítio.

VALOR EM R\$ (MÊS)		VALOR EM kWh (DIA)		PREÇO O SISTEMA	PREÇO DO SISTEMA
BRANCA DESLOCADA	ECONOMIA	PONTA (%)	CONSUMO PONTA	ION LITIO (R\$)	ESTACIONARIA (R\$)
R\$89,08	-R\$2,77	10,00%	2,325	R\$4.495,00	R\$1.505,00
R\$86,47	-R\$0,16	20,00%	2,325	R\$4.495,00	R\$1.505,00
R\$83,86	R\$2,45	30,00%	2,325	R\$4.495,00	R\$1.695,00
R\$81,25	R\$5,06	40,00%	2,325	R\$4.495,00	R\$1.725,00
R\$78,64	R\$7,67	50,00%	2,325	R\$4.605,00	R\$2.288,00
R\$76,03	R\$10,28	60,00%	2,325	R\$4.605,00	R\$2.305,00
R\$73,42	R\$12,89	70,00%	2,325	R\$4.695,00	R\$2.445,00
R\$70,81	R\$15,50	80,00%	2,325	R\$5.055,00	R\$2.755,00
R\$68,20	R\$18,11	90,00%	2,325	R\$6.005,00	R\$3.705,00
R\$65,59	R\$20,72	100,00%	2,325	R\$6.005,00	R\$3.820,00

Fonte: Autor.

Para obter-se uma maior clareza da viabilidade econômica do sistema e para ser tomada a melhor decisão quanto ao investimento, para o grupo 2 de consumidores de baixa tensão, foram calculados os indicadores de viabilidade econômica supracitados: *Payback*, VPL e TIR. Os cálculos, conforme tabela 12, foram feitos para um deslocamento de 100% da energia de ponta deste grupo de consumidores, o qual foi considerado o mais viável do grupo, para os dois tipos de tecnologias de baterias utilizados, íons de lítio e estacionária.

Tabela 12 - Características dos indicadores de viabilidade econômica do sistema, para o grupo 2, 101 à 160 kWh de consumo mensal.

GRUPO 2 - 100% DESLOC.		LITIO	ESTACIONARIA
TMA	Periodo(ANOS)	Fluxo Caixa(Ft)	Fluxo Caixa(Ft)
1%	0	-R\$6.005,00	-R\$3.820,00
1%	1	R\$248,64	R\$248,64
1%	2	R\$248,64	R\$248,64
1%	3	R\$248,64	R\$248,64
1%	4	R\$248,64	R\$248,64
1%	5	R\$248,64	R\$248,64
1%	6	R\$248,64	R\$248,64
1%	7	R\$248,64	-
1%	8	R\$248,64	-
1%	9	R\$248,64	-
1%	10	R\$248,64	-
	VPL	-R\$3.650,05	-R\$2.379,01
	TIR	-13%	-22%
	PAYBACK (ANOS)	24,15	15,36

Fonte: Autor.

Verifica-se que os indicadores para o grupo 2 de consumidores residenciais, recomendam que o sistema não é viável para ambas as tecnologias de baterias, pelo fato de o *Payback* do investimento ficar muito longo, ultrapassando a vida útil estipulada das baterias, sendo de 10 anos das baterias de íons de lítio e de 6 anos das baterias estacionárias.

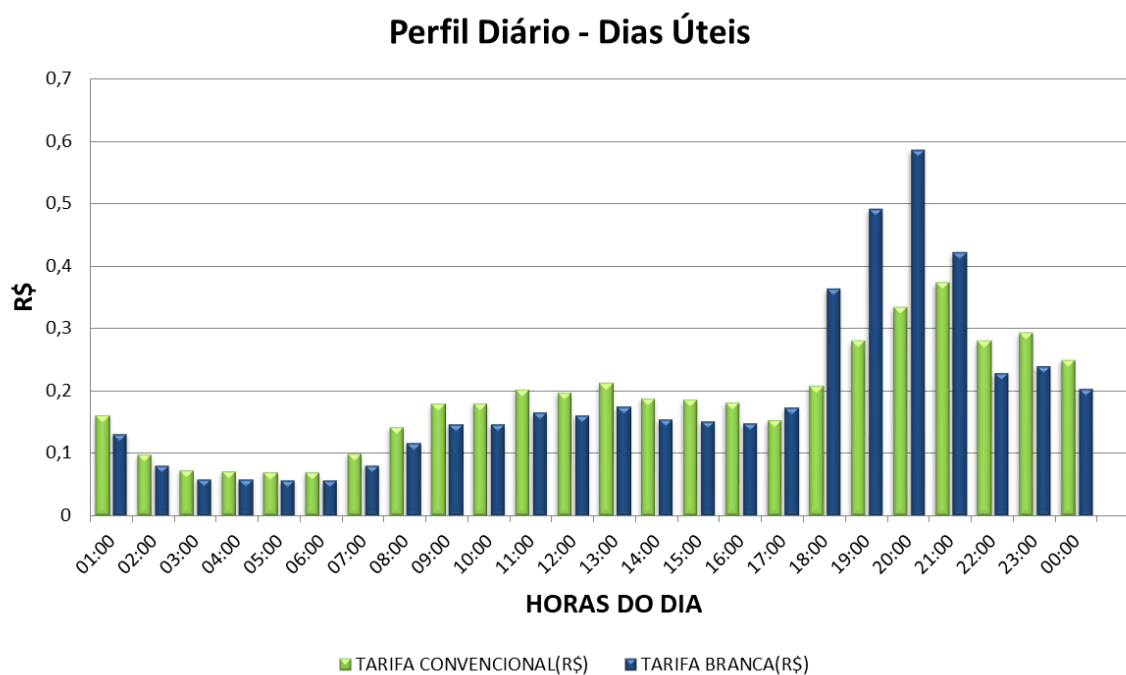
Ademais, o $VPL < 0$, tendo um retorno financeiro negativo para ambas as tecnologias, significando que o investidor estará resgatando um valor menor que o valor investido.

Além disso, tendo uma taxa interna de retorno - TIR, negativa, ou seja, menor que a taxa mínima de atratividade (sendo esta de 1%), ocasionando-se num sistema inviável neste momento.

5.4.3 Estudo de Caso III - Grupo 3 de BT - 161 à 300 kWh/mês

A Figura 42 apresenta o consumo para os dias de semana, tendo como faturamento as Tarifas Convencional e Branca.

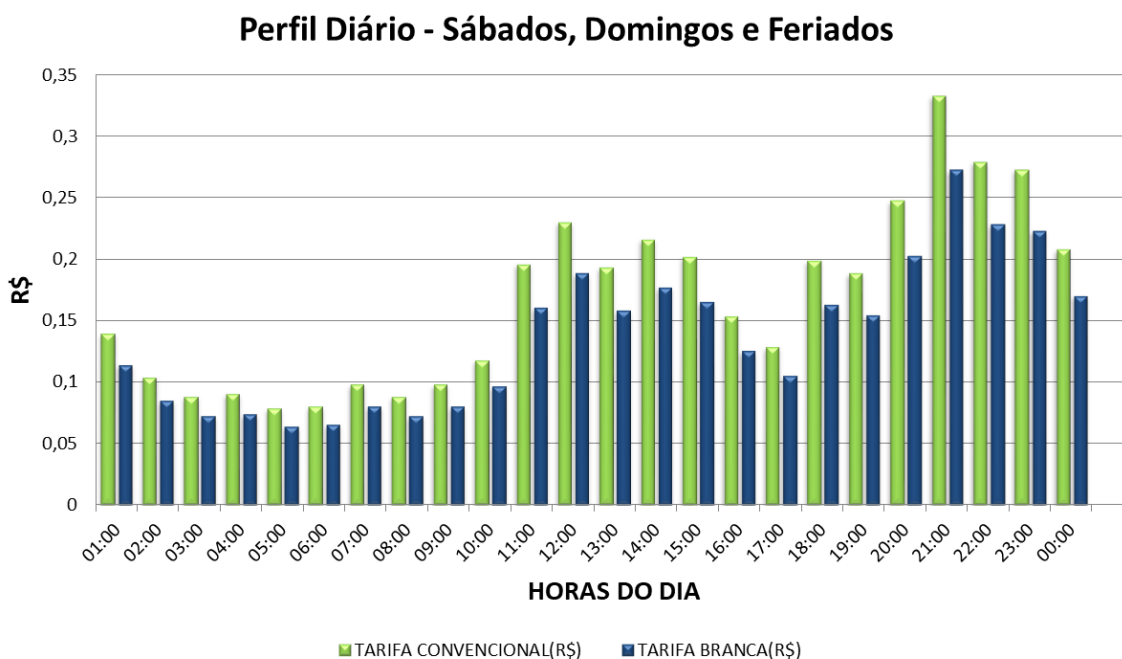
Figura 42 - Valores pagos em dias úteis pelos consumidores da classe de 161 a 300 kWh.



Fonte: Autor.

A Figura 43 apresenta o consumo para os finais de semana e feriados nacionais, tendo como faturamento as Tarifas Convencional e Branca.

Figura 43 - Valores pagos em finais de semana e feriados nacionais pelos consumidores da classe de 161 a 300 kWh.



Fonte: Autor.

Na tabela 13, que se refere ao grupo 3 de consumidores residenciais, com um consumo mensal de 289 kWh, sendo 4,70 kWh, consumidos diariamente, em dias úteis, no horário de ponta. O preço da tarifa convencional mensal tem o valor de R\$157,92 e o valor da tarifa branca mensal, de R\$170,03. Utilizando-se da tarifa branca deslocada, que corresponde ao deslocamento da energia do horário ponta para o horário fora ponta, proposta por este trabalho, o valor mensal da fatura varia de R\$117,29 à R\$164,75, variando assim também a economia mensal, conforme o deslocamento proposto.

Para este grupo, é evidenciado que a economia, somente é obtida a partir do deslocamento de 30% do consumo diário do horário de ponta, desta forma, o sistema se tornaria possível apenas para consumidores que deslocarem mais que 30% da energia consumida no horário de ponta.

Tabela 13 - Características técnicas e econômicas do sistema, para o grupo 3, 161 à 300 kWh de consumo mensal, utilizando baterias de íons de lítio.

VALOR EM R\$ (MÊS)		VALOR EM kWh (DIA)		PREÇO DO SISTEMA ION LITIO (R\$)	PREÇO DO SISTEMA ESTACIONARIA (R\$)
BRANCA DESLOCADA	ECONOMIA	PONTA (%)	CONSUMO PONTA		
R\$164,75	-R\$6,84	10,00%	4,7	R\$4.495,00	R\$1.505,00
R\$159,48	-R\$1,56	20,00%	4,7	R\$4.495,00	R\$1.725,00
R\$154,21	R\$3,71	30,00%	4,7	R\$4.605,00	R\$2.305,00
R\$148,93	R\$8,98	40,00%	4,7	R\$5.055,00	R\$2.565,00
R\$143,66	R\$14,26	50,00%	4,7	R\$6.005,00	R\$3.820,00
R\$138,39	R\$19,53	60,00%	4,7	R\$9.555,00	R\$5.205,00
R\$133,11	R\$24,80	70,00%	4,7	R\$9.605,00	R\$5.255,00
R\$127,84	R\$30,08	80,00%	4,7	R\$9.605,00	R\$5.255,00
R\$122,57	R\$35,35	90,00%	4,7	R\$9.605,00	R\$5.454,00
R\$117,29	R\$40,62	100,00%	4,7	R\$10.005,00	R\$5.854,00

Fonte: Autor.

Para obter-se uma maior clareza da viabilidade econômica do sistema e para ser tomada a melhor decisão quanto ao investimento, para o grupo 3 de consumidores de baixa tensão, foram calculados os indicadores de viabilidade econômica supracitados: *Payback*, VPL e TIR. Os cálculos, conforme tabela 14, foram feitos para um deslocamento de 100% da energia de ponta deste grupo de consumidores, o qual foi considerado o mais viável do grupo, para os dois tipos de tecnologias de baterias utilizados, íons de lítio e estacionária.

Tabela 14 - Características dos indicadores de viabilidade econômica do sistema, para o grupo 3 , 161 à 300 kWh de consumo mensal.

GRUPO 3 - 100% DESLOC.		LITIO	ESTACIONARIA
TMA	Periodo(ANOS)	Fluxo Caixa(Ft)	Fluxo Caixa(Ft)
1%	0	-R\$6.005,00	-R\$3.820,00
1%	1	R\$487,44	R\$487,44
1%	2	R\$487,44	R\$487,44
1%	3	R\$487,44	R\$487,44
1%	4	R\$487,44	R\$487,44
1%	5	R\$487,44	R\$487,44
1%	6	R\$487,44	R\$487,44
1%	7	R\$487,44	-
1%	8	R\$487,44	-
1%	9	R\$487,44	-
1%	10	R\$487,44	-
	VPL	-R\$1.388,31	-R\$995,05
	TIR	-4%	-7%
	PAYBACK (ANOS)	20,52	12

Fonte: Autor.

Verifica-se que os indicadores para o grupo 3 de consumidores residenciais, recomendam que o sistema não é viável para ambas as tecnologias de baterias, pelo fato de o *Payback* do investimento ficar muito longo, ultrapassando a vida útil estipulada das baterias, sendo de 10 anos das baterias de íons de lítio e de 6 anos das baterias estacionárias.

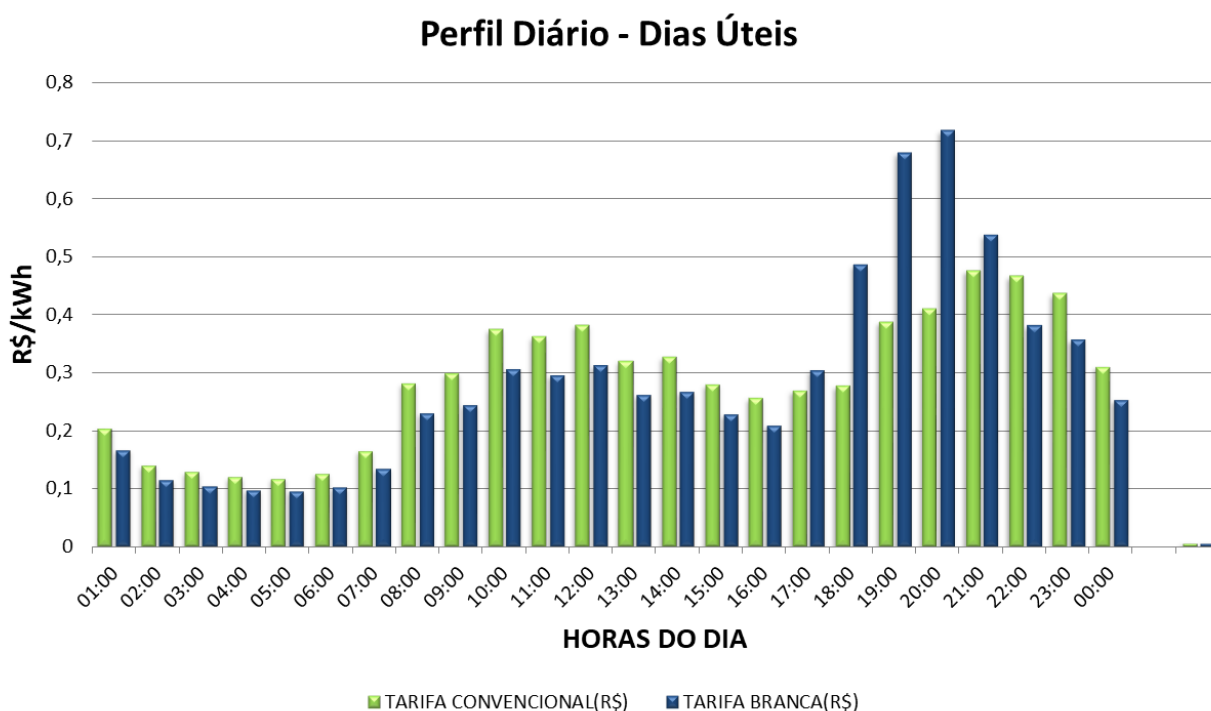
Ademais, o $VPL < 0$, tendo um retorno financeiro negativo para ambas as tecnologias, significando que o investidor estará resgatando um valor menor que o valor investido.

Além disso, tendo uma taxa interna de retorno, TIR, negativa, ou seja, menor que a taxa mínima de atratividade (sendo esta de 1%), ocasionando-se num sistema inviável neste momento.

5.4.4 Estudo de Caso IV - Grupo 4 de BT - 301 à 500 kWh/mês

A Figura 44 apresenta o consumo para os dias de semana, tendo como faturamento as Tarifas Convencional e Branca.

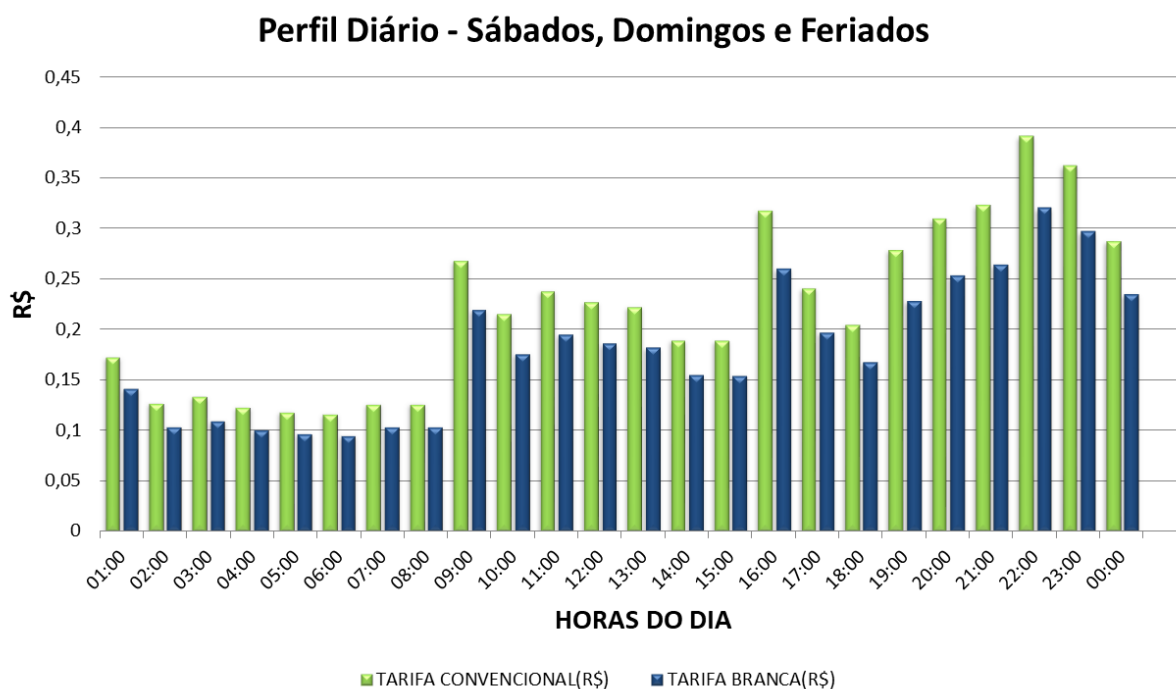
Figura 44 - Valores pagos em dias úteis pelos consumidores da classe de 301 a 500 kWh.



Fonte: Autor.

A Figura 45 apresenta o consumo para os finais de semana e feriados, tendo como faturamento as Tarifas Convencional e Branca.

Figura 45 - Valores pagos em finais de semana e feriados nacionais pelos consumidores da classe de 301 a 500 kWh.



Fonte: Autor.

Na tabela 15, que refere-se ao grupo 4 de consumidores residenciais, com um consumo mensal de 453 kWh, sendo 7,70 kWh, consumidos diariamente, em dias úteis, no horário de ponta. O preço da tarifa convencional mensal tem o valor de R\$247,61 e o valor da tarifa branca mensal, de R\$271,87. Utilizando-se da tarifa branca deslocada, que corresponde ao deslocamento da energia do horário ponta para o horário fora ponta, proposta por este trabalho, o valor mensal da fatura varia de R\$185,48 à R\$263,23, variando assim também a economia mensal, conforme o deslocamento proposto.

Para este grupo, é evidenciado que a economia, somente é obtida a partir do deslocamento de 30% do consumo diário do horário de ponta, desta forma, o sistema se tornaria possível apenas para consumidores que deslocarem mais que 30% da energia consumida no horário de ponta.

Tabela 15 - Características técnicas e econômicas do sistema, para o grupo 4, 301 à 500 kWh de consumo mensal, utilizando baterias de íons de lítio.

VALOR EM R\$ (MÊS)		VALOR EM kWh (DIA)		PREÇO DO SISTEMA	PREÇO DO SISTEMA
BRANCA DESLOCADA	ECONOMIA	PONTA (%)	CONSUMO PONTA	ION LITIO (R\$)	ESTACIONARIA (R\$)
R\$263,23	-R\$15,62	10,00%	7,7	R\$4.495,00	R\$1.695,00
R\$254,59	-R\$6,98	20,00%	7,7	R\$5.055,00	R\$2.395,00
R\$245,95	R\$1,66	30,00%	7,7	R\$6.005,00	R\$3.820,00
R\$237,31	R\$10,30	40,00%	7,7	R\$9.605,00	R\$5.255,00
R\$228,67	R\$18,94	50,00%	7,7	R\$9.680,00	R\$5.255,00
R\$220,03	R\$27,58	60,00%	7,7	R\$10.080,00	R\$5.854,00
R\$211,39	R\$36,22	70,00%	7,7	R\$10.780,00	R\$8.554,00
R\$202,76	R\$44,86	80,00%	7,7	R\$14.080,00	R\$8.854,00
R\$194,12	R\$53,50	90,00%	7,7	R\$14.104,00	R\$9.254,00
R\$185,48	R\$62,14	100,00%	7,7	R\$15.604,00	R\$9.254,00

Fonte: Autor.

Para obter-se uma maior clareza da viabilidade econômica do sistema e para ser tomada a melhor decisão quanto ao investimento, para o grupo 4 de consumidores de baixa tensão, foram calculados os indicadores de viabilidade econômica supracitados: *Payback*, VPL e TIR. Os cálculos, conforme tabela 16, foram feitos para um deslocamento de 100% da energia de ponta deste grupo de consumidores, o qual foi considerado o mais viável do grupo, para os dois tipos de tecnologias de baterias utilizados, íons de lítio e estacionária.

Tabela 16 - Características dos indicadores de viabilidade econômica do sistema, para o grupo 4, 301 à 500 kWh de consumo mensal.

GRUPO 4 - 100% DESLOC.		LITIO	ESTACIONARIA
TMA	Periodo(ANOS)	Fluxo Caixa(Ft)	Fluxo Caixa(Ft)
1%	0	-R\$15.604,00	-R\$9.254,00
1%	1	R\$745,68	R\$745,68
1%	2	R\$745,68	R\$745,68
1%	3	R\$745,68	R\$745,68
1%	4	R\$745,68	R\$745,68
1%	5	R\$745,68	R\$745,68
1%	6	R\$745,68	R\$745,68
1%	7	R\$745,68	-
1%	8	R\$745,68	-
1%	9	R\$745,68	-
1%	10	R\$745,68	-
	VPL	-R\$8.541,44	-R\$4.932,43
	TIR	-12%	-18%
	PAYBACK (ANOS)	20,92	12,41

Fonte: Autor.

Verifica-se que os indicadores para o grupo 4 de consumidores residenciais, recomendam que o sistema não é viável para ambas as tecnologias de baterias, pelo fato de o *Payback* do investimento ficar muito longo, ultrapassando a vida útil estipulada das baterias, sendo de 10 anos das baterias de íons de lítio e de 6 anos das baterias estacionárias.

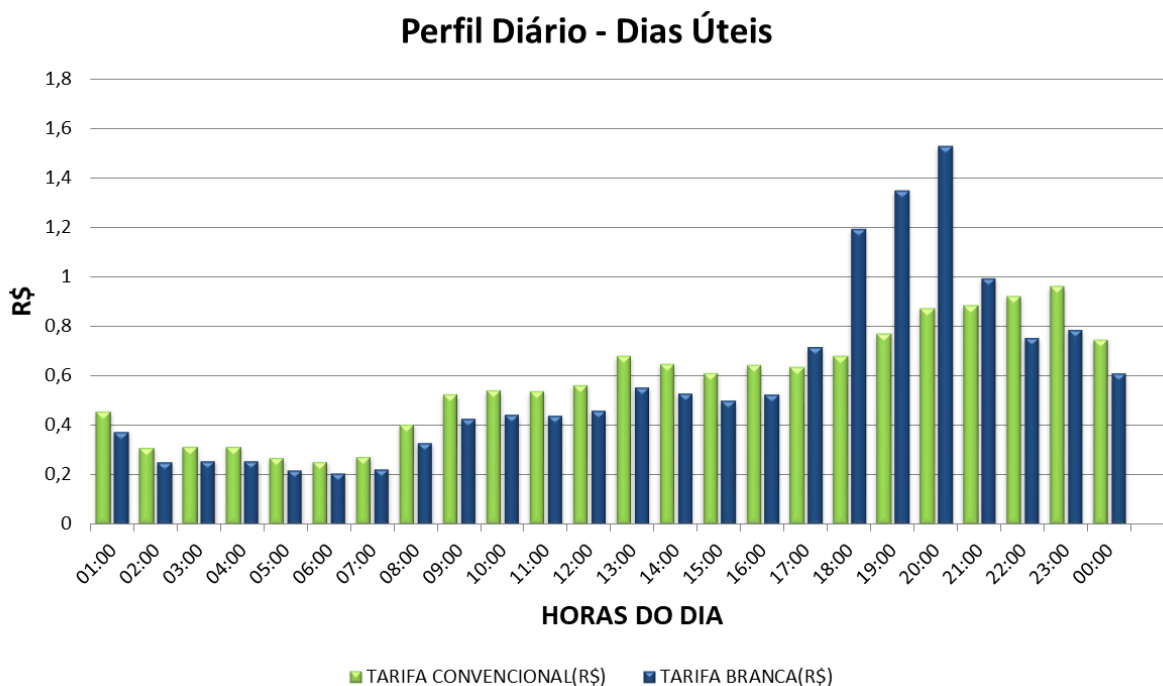
Ademais, o $VPL < 0$, tendo um retorno financeiro negativo para ambas as tecnologias, significando que o investidor estará resgatando um valor menor que o valor investido.

Além disso, tendo uma taxa interna de retorno, TIR, negativa, ou seja, menor que a taxa mínima de atratividade (sendo esta de 1%), ocasionando-se num sistema inviável neste momento.

5.4.5 Estudo de Caso V - Grupo 5 de BT - acima de 500 kWh/mês

A Figura 46 apresenta o consumo para os dias de semana, tendo como faturamento as Tarifas Convencional e Branca.

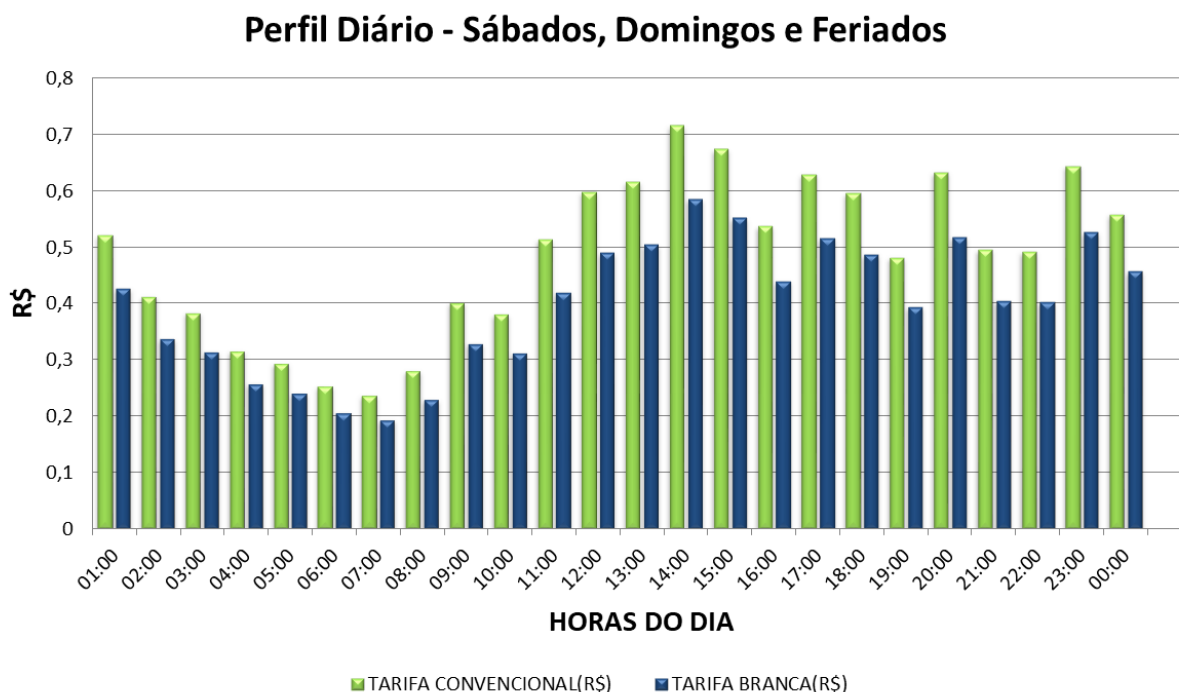
Figura 46 - Valores pagos em dias úteis pelos consumidores da classe acima de 500 kWh



Fonte: Autor.

A Figura 47 apresenta o consumo para os finais de semana e feriados nacionais, tendo como faturamento as Tarifas Convencional e Branca.

Figura 47 - Valores pagos em finais de semana e feriados nacionais pelos consumidores da classe acima de 500 kWh.



Fonte: Autor.

Como se pode perceber nos gráficos das figuras anteriores, que fazem a comparação entre o valor pago na fatura, adotando a Tarifa Convencional ou a Tarifa Branca, que os valores pagos diariamente em ambas, não se diferem muito, sendo isto um grande problema para o consumidor que pretende adotar a Tarifa Branca, pois, provavelmente nestes cenários de consumo, ele não economizará o suficiente, para gerar uma economia que possa arcar com os custos da implementação de um SAE.

Na tabela 17, que refere-se ao grupo 5 de consumidores residenciais, com um consumo mensal de 810 kWh, sendo 10,80 kWh, consumidos diariamente, em dias úteis, no horário de ponta. O preço da tarifa convencional mensal tem o valor de R\$443,21 e o valor da tarifa branca mensal, de R\$457,03. Utilizando-se da tarifa branca deslocada, que corresponde ao deslocamento da energia do horário ponta para o horário fora ponta, proposta por este trabalho, o valor mensal da fatura varia

de R\$335,86 à R\$444,92, variando assim também a economia mensal, conforme o deslocamento proposto.

Para este grupo, é evidenciado que a economia, somente é obtida a partir do deslocamento de 20% do consumo diário do horário de ponta, desta forma, o sistema se tornaria possível apenas para consumidores que deslocarem mais que 20% da energia consumida no horário de ponta.

Tabela 17 - Características técnicas e econômicas do sistema, para o grupo 5, acima de 500 kWh de consumo mensal, utilizando baterias de íons de lítio.

VALOR EM R\$ (MÊS)		VALOR EM kWh		PREÇO DO SISTEMA	PREÇO DO SISTEMA
BRANCA DESLOCADA	ECONOMIA	PONTA (%)	CONSUMO PONTA	ION LITIO (R\$)	ESTACIONARIA (R\$)
R\$444,92	-R\$1,70	10,00%	10,8	R\$4.605,00	R\$2.288,00
R\$432,80	R\$10,42	20,00%	10,8	R\$6.005,00	R\$3.820,00
R\$420,68	R\$22,53	30,00%	10,8	R\$9.605,00	R\$5.255,00
R\$408,56	R\$34,65	40,00%	10,8	R\$10.080,00	R\$5.854,00
R\$396,44	R\$46,77	50,00%	10,8	R\$10.780,00	R\$8.554,00
R\$384,33	R\$58,89	60,00%	10,8	R\$14.104,00	R\$8.854,00
R\$372,21	R\$71,00	70,00%	10,8	R\$15.604,00	R\$6.554,00
R\$360,09	R\$83,12	80,00%	10,8	R\$15.604,00	R\$9.254,00
R\$347,97	R\$95,24	90,00%	10,8	R\$19.304,00	R\$12.844,00
R\$335,86	R\$107,36	100,00%	10,8	R\$19.655,00	R\$13.144,00

Fonte: Autor.

Para obter-se uma maior clareza da viabilidade econômica do sistema e para ser tomada a melhor decisão quanto ao investimento, para o grupo 5 de consumidores de baixa tensão, foram calculados os indicadores de viabilidade econômica supracitados: *Payback*, VPL e TIR. Os cálculos, conforme tabela 18, foram feitos para um deslocamento de 80% da energia de ponta deste grupo de consumidores, o qual foi considerado o mais viável do grupo, para os dois tipos de tecnologias de baterias utilizados, íons de lítio e estacionária.

Tabela 18 - Características dos indicadores de viabilidade econômica do sistema, para o grupo 5, acima de 500 kWh de consumo mensal.

GRUPO 5 - 80% DESLOC.		LITIO	ESTACIONARIA
TMA	Periodo(ANOS)	Fluxo Caixa(Ft)	Fluxo Caixa(Ft)
1%	0	-R\$15.604,00	-R\$9.254,00
1%	1	R\$997,44	R\$997,44
1%	2	R\$997,44	R\$997,44
1%	3	R\$997,44	R\$997,44
1%	4	R\$997,44	R\$997,44
1%	5	R\$997,44	R\$997,44
1%	6	R\$997,44	R\$997,44
1%	7	R\$997,44	-
1%	8	R\$997,44	-
1%	9	R\$997,44	-
1%	10	R\$997,44	-
	VPL	-R\$6.156,94	-R\$3.473,36
	TIR	-7%	-11%
	PAYBACK (ANOS)	15,64	9,27

Fonte: Autor.

Verifica-se que os indicadores para o grupo 5 de consumidores residenciais, recomendam que o sistema não é viável para ambas as tecnologias de baterias, pelo fato de o *Payback* do investimento ficar muito longo, ultrapassando a vida útil estipulada das baterias, sendo de 10 anos das baterias de íons de lítio e de 6 anos das baterias estacionárias.

Ademais, o $VPL < 0$, tendo um retorno financeiro negativo para ambas as tecnologias, significando que o investidor estará resgatando um valor menor que o valor investido.

Além disso, tendo uma taxa interna de retorno - TIR, negativa, ou seja, menor que a taxa mínima de atratividade (sendo esta de 1%), ocasionando-se num sistema inviável neste momento.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi tratado sobre a análise econômica do sistema de armazenamento de energia proposto. Para tal, foram utilizados, para uma melhor tomada de decisão, os indicadores de viabilidade: *Payback*, VPL e TIR. O preço do

sistema como um todo foi obtido e precificado, sendo os tais indicadores imprescindíveis para analisar a viabilidade do sistema.

O sistema obteve uma diferença de investimento, quando utilizando de baterias de íons de lítio ou de baterias estacionárias. A precificação foi feita para todos os grupos de consumidores de baixa tensão, que venham a adotar a tarifa branca para tarifação, sem que estes mudem seus hábitos de consumo.

Foi verificado, que para os cinco grupos supracitados de consumidores residenciais, em todos os estudos de casos, tanto como utilizando da tecnologia de baterias de íons de lítio, como baterias estacionárias, o sistema proposto se tornou inviável, seguindo as recomendações de todos os indicadores de viabilidade.

Em todos os estudos de casos, o *Payback*, referenciou um lastre enorme de retorno do investimento, em anos, superando a vida útil do sistema. O VPL, para todos os estudos de casos, resultou ser menor do que zero ($VPL < 0$), indicando que o investimento retornaria prejuízos em comparação com a economia gerada. Da mesma forma, em todos os casos, o TIR ficou negativo, se tornando menor que o TMA proposto no sistema, se tornando, financeiramente inviável.

6 CONCLUSÕES

Os consumidores de baixa tensão, no Brasil, são os responsáveis pela maior concentração de energia no chamado horário ponta, ou seja, das 18:00 horas às 21:00 horas. Devido a este fator, se tornam os causadores e responsáveis pela grande expansão do sistema elétrico brasileiro, pelo superdimensionamento do sistema de distribuição, ocasionando grandes custos.

Em função deste perfil de consumo de consumidores residenciais, é proposta a tarifa horária. Um exemplo desta medida é a Tarifa Branca, na qual seu valor se torna mais elevado que a Tarifa Convencional, no período de ponta. Porém, nos horários fora de ponta, seu valor reduz, se tornando mais viável, comparado a Tarifa Convencional. No entanto, a proposta principal na qual a Tarifa Branca foi criada, se busca uma alteração do perfil de consumo, incidindo em mudanças de hábitos de consumo por parte do consumidor.

Neste sentido, foi proposto o sistema de armazenamento de energia, tema deste trabalho, onde os consumidores de baixa tensão aderem ao sistema de Tarifa Branca, sem que venham a mudar seus hábitos de consumo. Para todos os cinco grupos de consumidores de baixa tensão residenciais, foram simulados os deslocamentos de energia, sendo utilizado o sistema de armazenamento de energia. Este sistema utiliza a energia da rede elétrica da concessionária, quando do horário de fora de ponta, onde a fatura de energia é mais acessível, armazenando em baterias.

Em seguida, esta energia é utilizada no horário de ponta da concessionária, onde a fatura na Tarifa Branca, seria muito mais elevada que a Tarifa Convencional, gerando uma economia.

Em todos os grupos de consumidores, ou seja, em todos os casos estudados, foi obtida uma economia mensal utilizando da Tarifa Branca com deslocamento, quando comparada com a Tarifa Convencional.

Assim, o sistema de armazenamento de energia proposto foi elencado, sendo todos os seus elementos precificados e ainda, utilizando de duas tecnologias de baterias para a sua precificação, sendo: as baterias de íons de lítio e as baterias estacionárias. Houve uma grande diferença de investimento para ambas as tecnologias, porém, sendo evidente que a vida útil de ambas também se

diferenciam, sendo necessário ser analisado caso a caso, o que foi feito para todos os grupos.

Com o objetivo de analisar a viabilidade econômica do sistema proposto para cada estudo de caso, foram utilizados os indicadores de viabilidade *Payback*, VPL e TIR.

O *Payback* teve um resultado muito prolongado, em anos, para ser obtido um retorno financeiro com o investimento do sistema proposto, tendo a vida útil do sistema ultrapassada pelo prazo de retorno do investimento, se tornando o sistema, inviável, com base neste indicador. Da mesma forma, o VPL de todos os casos estudados, teve como resultado um ($VPL < 0$), ou seja, se tornando um investimento que no futuro, iria trazer prejuízos financeiros quando comparado com a economia gerada. Por fim, para ambos os estudos de casos, o TIR acabou não tendo um resultado positivo, sendo seu valor menor que a TMA, se tornando um investimento não recomendado por, no futuro, poder ocasionar prejuízos de investimento.

Analisando todos os indicadores e suas recomendações, foi obtido um resultado conclusivo, que, no cenário atual, o sistema proposto, com ambas as tecnologias de baterias, se tornou inviável, para os consumidores de baixa tensão residenciais.

Com a crescente tecnologia e implementação de carros elétricos, certamente haverá a expansão em tecnologias e estudos de novas baterias para estes carros elétricos que dominarão as ruas do mundo o que poderá viabilizar o sistema proposto neste trabalho. Isso se justifica, pelo motivo do maior valor de investimento do sistema, serem as baterias, que conseqüentemente, se tornarão mais acessíveis.

Pode se concluir que o objetivo do trabalho foi alcançado com êxito, pois, através deste trabalho, foi possível verificar a viabilidade de um sistema de armazenamento de energia para consumidores de baixa tensão residenciais, utilizando somente baterias, sem a geração da própria energia, podendo ser alcançado resultados interessantes. No momento ocasionam uma inviabilidade, principalmente pelo alto custo das tecnologias de baterias, podendo, no entanto, em um futuro próximo, com todas as tecnologias de baterias que tem surgido se tornarem mais acessíveis, podendo, talvez, se tornar um sistema viável.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros seria interessante o desenvolvimento de um aplicativo, onde fossem lançados os valores da leitura do medidor dos consumidores e através deste, fossem obtidos os valores das tarifas convencional, branca e também a branca deslocada, proposta neste trabalho.

Outra sugestão interessante seria o estudo sobre o acréscimo de outras fontes de GD no sistema, como energia fotovoltaica ou energia eólica, podendo ser gerada a energia para, pelo menos, armazenar nas baterias, a energia consumida no horário de ponta, obtendo uma economia muito maior.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. C. A.; FREIRE, R. L. **Geração de Energia Elétrica através de um Sistema Híbrido Diesel-Eólico para um Hospital**. Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio (AGRENER GD), 2008.

ANEEL, Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 2. ed. – Brasília: ANEEL, 2005.

_____. **ANEEL Tarifa Branca**. ANEEL, 2012. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Acesso em: 10 out. 2019.

_____. **Audiência Pública nº 043/2013**. Obter subsídios para condições para aplicação da modalidade tarifária branca. ANEEL, 2013. Disponível em:<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2013/043/contribuicao/proteste_ap043_2013.pdf>. Acesso em: 12 de set. 2019.

_____. **Nota Técnica nº 311/2011**. SRE-SRD/ANEEL - Estrutura tarifária para o serviço de distribuição de energia elétrica. ANEEL, 2011. Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/nren2011464.pdf>>. Acesso em: 28 de set. 2019.

_____. **Nota Técnica nº 362/2010**. Estrutura Tarifária para o serviço de distribuição de energia elétrica - Sinal econômico para a baixa tensão. ANEEL, 2010a. Disponível em:<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/120/documento/nota_tecnica_n%C2%BA_362_2010_sre-srd-aneel.pdf>. Acesso em: 11 de set. 2019.

_____. **Nota Técnica nº 0025/2011**. SRD-SRC-SRG-SCG-SEM-SRE-SPE/ANEEL -. ANEEL, 2011b. Disponível em:<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/042/documento/nota_tecnica_0025_gd.pdf>. Acesso em: 14 de out. 2019.

_____. **Ranking das Tarifas no Brasil**, de 24 de novembro de 2015. ANEEL, 2015. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas> >. Acesso em: 19 set. 2019.

_____. **Resolução Normativa nº 376/2009**, de 25 de agosto de 2009. ANEEL, 2009. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/ren2006247.pdf/00a08734-65b0-434f-8e1f-9d55a8160199?version=1.0>>. Acesso em: 28 set. 2019.

_____. **Resolução Normativa nº 414/2010**, de 09 de setembro de 2010. ANEEL, 2010. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 1 set. 2019.

_____. **Resolução Normativa nº 456/2000**, de 29 de novembro de 2000. ANEEL, 2000. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/res2000456.pdf/58fd4daf-6227-4859-a9d9-83cb8d41ec45?version=1.0>>. Acesso em: 17 de set. 2019.

_____. **Resolução Normativa nº 479/2012**, de 03 de abril de 2012. ANEEL, 2012b. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2019.

_____. **Resolução Normativa nº 482/2012**, de 17 de abril de 2012. ANEEL, 2012a. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2019.

_____. **Resolução Normativa nº 547/2013**, de 16 de abril de 2013. ANEEL, 2013a. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2013547.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2019.

_____. **Resolução Normativa nº 733/2016**, de 06 de setembro de 2016. ANEEL, 2016. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2013/043/resultado/ren2016733.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2019.

BARROS, B. F. DE; BORELLI, R.; GEDRA, R. L. **Gerenciamento de Energia: Ações Administrativas e técnicas de uso adequado de energia elétrica**. 2a ed. São Paulo: Érica, 2014.

BORDEUX-RÊGO, R. et al. **Viabilidade econômica-financeira de projetos**. 2 .ed. Rio de Janeiro: FGV, 2008. 158 p.

CASAROTTO FILHO, Nelson et KOPITTKE, Bruno Hartmut. **Análise de Investimentos**. São Paulo: Editora Atlas S/A, 1994.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Redes Elétricas Inteligentes: Contexto Nacional**. Brasília, DF: Corporate Financial Center, 2012.

CUNHA, M.V. **Estratégias de gerenciamento pelo lado da demanda aplicadas aos consumidores de BT considerando a tarifa branca e a geração distribuída**. 2016, 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. Brasília: MME/EPE, 2016. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016.pdf](http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anuario%20Estatistico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202016.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2017.

FANG, X.; MISRA, S.; XUE, G.; YANG, D. **Smart Grid – The new and improved power Grid: a survey**. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, v.PP, n.9, p.1-37, set. 2011.

FARRET, F.A.; SIMÕES, M.G. **Integration of Alternative Sources of Energy**. John Wiley & Sons. Michigan - University of Michigan, p. 504, 2006.

FIGUEIRÓ, I. C. **A tarifa horária para os consumidores residenciais sob o foco das redes elétricas inteligentes - REI**. 2013, 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

FIGUEIRÓ, I. C.; ABAIDE, A. R.; BERNARDON, D. P. **Smart Grid and the Challenges of the Application of an Hourly Rate for Residential Consumer in Brazil**. Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), 2013 IEEE PES Conference On , vol., no., pp. 1,5, 15-17 April 2013.

GUIDUCCI, R. D. C. N.; LIMA FILHO, J. R. D. ; MOTA, M. M. **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários**. Brasília: Embrapa, 2012. 535 p.

IRENA. **Battery storage for renewables: market status and technology outlook**. International Renewable Energy Agency, 2015.

Lambert T, Gilman P, Lilienthal P., **“Micropower system modelling with HOMER”**. Integrado em: Farret F., Simões M. “Integration of alternative sources of energy”, Wiley; 2006.

LAMIN, H. **Medição Eletrônica em Baixa Tensão: Aspectos Regulatórios e Recomendações para implantação**. 2009. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

LIMA, A.C. **METODOLOGIA PARA GERENCIAMENTO, PREVISÃO E MANEJO DE CARGA APLICADA A CONSUMIDORES RESIDENCIAIS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2020.

LEI FEDERAL. **Lei Federal do Brasil nº 10.637/2004**, de 30 de abril de 2004. Congresso Nacional. Brasília, DF, Casa Civil, 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.865.htm>. Acesso em: 10 de set. 2019.

LEI. **Lei Municipal dos tributos do CIP de Cachoeira do Sul nº 3391**, de 30 de Dezembro de 2002. Câmara Municipal. Cachoeira do Sul, RS.

OLIVEIRA, C. T. A. **Desenvolvimento de ferramenta para análise de migração de consumidores de baixa tensão à tarifa branca**. 2017, 61 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Santo Ângelo: Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões.

PEREIRA, O. L. S.; GONÇALVES. F. F. **Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: estudo de caso do sistema de Tubarão-SC**. Revista Brasileira de Energia, Vol.14, Nº.1, pp.25-45, 2008.

Disponível em: < <https://www.sbpe.org.br › rbe › article › download>>. Acesso em: 22 de Jun. 2021.

PROCEL. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**, 2011. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual de Tarif En El - Procel_EPP - Agosto-2011.pdf](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual_de_Tarif_En_El_Procel_EPP_-_Agosto-2011.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2019

PROTESTE. **PROTESTE explica os benefícios e os malefícios da Tarifa Branca na conta de luz**, 2017. Disponível em: <<https://www.proteste.org.br/institucional/imprensa/pressrelease/2017/proteste-explica-os-beneficios-e-os-maleficios-da-tarifa-branca-na-conta-deluz>>. Acesso em: 15 set. 2017.

REBELATTO, D. A. N. **Projeto de Investimento**. 1. ed. Barueri - SP: Editora Manole, 2004. v. 01. 329p.

SANTOS, L. L. C. DOS. **Metodologia para análise da tarifa branca e da geração distribuída de pequeno porte nos consumidores residenciais de baixa tensão**. 2014, 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria.

SILVA, B. F. G. **Estudo de Soluções Alternativas de Armazenamento de Energia para Diferentes Horizontes Temporais**. 2008, 105f. Dissertação (mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) - Porto: Universidade do Porto.

SOARES, T. A. L. **Sistemas de produção de electricidade descentralizada baseados em energia renovável**. Relatório de Projecto realizado no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Energia. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal, p.114, 2009.

SOLLAR Minha Energia. **Como funciona o sistema de energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <<http://minhaenergiasollar.com.br/como-funciona.html>>. Acesso em: 10 julho. 2021.

VIVIAN, C. H. V. **Estudo de caso da curva de carga de consumidor comercial**. 2015, 57 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TOLEDO, F. **Desvendando as Redes Elétricas Inteligentes**. Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

USINAINFO Eletrônica & Robótica. **Componente Eletrônicos**. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/componentes-eletronicos-373>>. Acesso em: 30 jul 2021.

XINGHUO YU; CECATI, C.; DILLON, T.; SIMOES, M.G. **The New frontier of smart grids**. Industrial Electronics Magazine, IEEE, v.5, n.3, p.49-63, set. 2011.

ZAREIPOUR, H. **Tutorial Energy Storage: An Introduction to Technologies, Applications and Best Practices**, IEEE, 2015.