

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR ENGENHARIA ELÉTRICA**

ANA MARIA ALVES DOS SANTOS

LIGYA NAZÁRIO RIBEIRO

**INSTALAÇÃO DO BESS À REDE DE BAIXA TENSÃO
CONVENCIONAL PARA CORREÇÃO DE FLUTUAÇÃO DE TENSÃO
E SOBRECARGA**

**PALMAS
2024**

ANA MARIA ALVES DOS SANTOS

LIGYA NAZÁRIO RIBEIRO

**INSTALAÇÃO DO BESS À REDE DE BAIXA TENSÃO
CONVENCIONAL PARA CORREÇÃO DE FLUTUAÇÃO DE TENSÃO
E SOBRECARGA**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado como requisito parcial para
obtenção do Título de Engenheiros
Eletricistas, do Curso de Graduação de
Engenharia Elétrica do Instituto Federal do
Tocantins – *Campus* Palmas.

Orientador: Me. Felipe T. Bittencourt.

PALMAS, TO

2024

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

S237i Santos, Ana Maria Alves Dos
INSTALAÇÃO DO BESS À REDE DE BAIXA TENSÃO
CONVENCIONAL PARA CORREÇÃO DE FLUTUAÇÃO DE
TENSÃO E SOBRECARGA / Ana Maria Alves Dos Santos, Ligya
Nazário Ribeiro. – PALMAS, TO, 2024.
43 f. : il. color.

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

Orientador: Me. Felipe Tozzi Bittencourt

1. Geração Distribuída. 2. Sobrecarga. 3. BESS. I. Ribeiro, Ligya
Nazário. II. Bittencourt, Felipe Tozzi III. , . IV. Título.

CDD 621

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

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

ANA MARIA ALVES DOS SANTOS

LIGYA NAZÁRIO RIBEIRO

**INSTALAÇÃO DO BESS À REDE DE BAIXA TENSÃO
CONVENCIONAL PARA CORREÇÃO DE FLUTUAÇÃO DE
TENSÃO E SOBRECARGA**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado como requisito parcial para
obtenção do Título de Engenheiros
Eletricistas, do Curso de Graduação de
Engenharia Elétrica do Instituto Federal do
Tocantins – *Campus Palmas*.

Aprovado em 17/09/2024

BANCA AVALIADORA



Prof. Me. Felipe Tozzi Bittencourt (Orientador)

IFTO – *Campus Palmas*



Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque

IFTO – *Campus Palmas*



Eng. Lorena da Costa Coutinho

Energisa Tocantins

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter nos dado sabedoria e competência para formular e desenvolver este trabalho e concluir mais uma etapa de nossas vidas.

Ao nosso orientador Prof. Me. Felipe Tozzi Bittencourt, por toda orientação para construção desse trabalho e paciência para nos tranquilizar e nos impulsionar para não desistirmos.

Aos professores que nos ensinaram e nos moldaram para que sejamos bons profissionais.

Aos demais membros da banca examinadora.

As nossas famílias e amigos que nos apoiaram e foram nosso alicerce mais importante durante todos os anos de faculdade.

A todos e todas que de alguma forma se fizeram presentes em nossas vidas e contribuíram para o nosso crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

Devido ao grande impacto ambiental causado pela geração de energia elétrica, que em sua maioria eram provenientes de usinas hidrelétricas ou termelétricas, fez-se necessário incentivar novas fontes de energia limpa com o intuito de diminuir os impactos ao meio ambiente. A opção que mais se popularizou no Brasil, foi a Geração Distribuída (GD) utilizando sistemas fotovoltaicos devido ao clima favorável. Contudo, nos últimos anos, os consumidores, atraídos pelos investimentos fiscais, instalaram sistemas interligados à rede em um curto prazo de tempo. Tais alterações atreladas ao sistema de distribuição, provocaram danos aos equipamentos e interferem na qualidade da energia elétrica pois, o sistema de distribuição não estava preparado para receber tamanha carga e em alguns pontos, rapidamente chegou a sua saturação. Devido a quantidade exacerbada de sistemas fotovoltaicos que geram grandes quantidades de energia durante o horário de baixo consumo e alto consumo em horários que a geração é nula, um grande desequilíbrio entre consumo e geração obriga que o transformador trabalhe em sobrecarga e em determinados horários entre em fluxo reverso impactando os parâmetros aceitáveis dos níveis de tensão determinados pela ANEEL . Dessa forma, o BESS é proposto com uma solução para os problemas evidenciados a fim de amenizar ou sanar 100% dos impactos.

Palavras-chave: Geração Distribuída. Níveis de Tensão. Sobrecarga. BESS. Sistema Fotovoltaico.

ABSTRACT

Due to the significant environmental impact caused by electricity generation, which mostly came from hydroelectric or thermoelectric plants, it became necessary to encourage new sources of clean energy in order to reduce environmental impacts. The option that gained the most popularity in Brazil was the generation of energy using photovoltaic systems due to the favorable climate. However, in recent years, consumers, attracted by fiscal incentives, have installed grid-connected systems in a short period of time. These changes, linked to the distribution system, have caused damage to equipment and have interfered with the quality of electricity, as the distribution system was not prepared to handle such a load and, in some areas, it quickly reached its saturation point. Due to the excessive number of photovoltaic systems generating large amounts of energy during low consumption hours and high consumption during times when generation is null, a significant imbalance between consumption and generation forces the transformer to operate above its nominal values and, at certain times, enter reverse flow. Thus, the BESS (Battery Energy Storage System) is proposed as a solution to the problems identified in order to mitigate or fully eliminate the impacts.

Key-words: Distributed Generation. Voltage Levels. Overload. BESS. Photovoltaic System.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução da potência instalada no Brasil	15
Figura 2 – Evolução da fonte Solar Fotovoltaica no Brasil	17
Figura 3 – Potência Instalada de Geração Distribuída em Palmas	18
Figura 4 – Conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1kV (380/220)	19
Figura 5 – BESS aplicado de forma Centralizada	23
Figura 6 – BESS aplicado em Sistemas Isolados	23
Figura 7 – Exemplos de Layouts	24
Figura 8 – Diagrama BMS	25
Figura 9 – Funcionamento BESS	26
Figura 10 – Medição da Tensão por Fase	30
Figura 11– Medição da Corrente por Fase	31
Figura 12 – Fases sobrecarregadas	32
Figura 13 – Potência por Fase	33
Figura 14 – Potência Total em Watts	33
Figura 15 – Prospecção da Potência após a instalação do BESS	35
Figura 16 – Prospecção da Corrente após a instalação do BESS (30%)	35
Figura 17 – Prospecção da Corrente após a instalação do BESS (50%)	36
Figura 18 – Prospecção da Corrente após a instalação do BESS (100%)	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo Benefício do BESS

38

LISTA DE SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BAMS	Sistema de gerenciamento Central das Baterias
BESS	Sistema de armazenamento de energia com baterias
BMS	Sistema de gestão das strings
BT	Baixa Tensão
BMU	Unidade de monitoramento das baterias
CAPEX	Despesa de capital
CC	Corrente Contínua
CO ²	Dióxido de Carbono
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DIC	Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
DICRI	Duração da Interrupção Individual ocorrida em Dia Crítico por Unidade Consumidora
DMIC	Duração Máxima de Interrupção Contínua
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FIC	Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
GD	Geração Distribuída
GW	Giga Watts
Hz	Hertz
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IRENA	Agência Internacional de Energia Renovável
Li	Lítio
MCPSE	Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico
MW	Mega Watts
NDU	Norma de Distribuição Unificada
OPEX	Despesa Operacional
PbC	Chumbo-carbono
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
REN	Resolução Normativa

RMS	Raiz quadrada da média dos quadrados
SBMS	Sistema de gerenciamento de String
SEP	Sistema Elétrico de Potência
TW	Tera Watts
VTCD	Variações de tensão de curta duração

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Problema de pesquisa	13
1.2 Justificativa	13
1.3 Objetivos	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Geração distribuída	14
2.1.1 Evolução da Geração Distribuída	15
2.1.2 Aspectos financeiros	16
2.1.3 Atual índice de instalações no Brasil, Tocantins e Palmas	16
2.1.4 Normas da concessionária para instalação	18
2.2 Níveis de tensão	18
2.2.1 Qualidade da energia elétrica	18
2.2.2 Referência dos níveis de tensão	19
2.2.3 Exigências da Aneel a respeito da qualidade dos níveis de tensão	20
2.2.4 Qualidade do banco de dados geográficos	20
2.2.5 Excesso de GD conectada à rede convencional	20
2.3 Soluções existentes para minimizar os impactos causados pela GD	21
2.3.1 Regulador de Tensão em baixa tensão	21
2.3.2 Divisão de circuito	22
2.4 Sistema BESS como solução para instabilidade dos níveis de tensão	22
2.4.1 Battery Energy Storage System (BESS)	22
2.4.2 Aspectos construtivos do BESS	22
2.4.3 Funcionamento do BESS	25
2.4.4 Aplicações do BESS	26
3 METODOLOGIA	27
3.1 Tipo de pesquisa	27

3.2 Coleta de dados	27
3.3 Tratamento e análise de dados	28
4 ESTUDO DE CASO	29
4.1 Analisador de Energia e a medição gráfica	29
4.2 Medição da Tensão	30
4.2 Medição da Corrente	30
4.3 Medição da Potência	32
5 APLICAÇÃO DO BESS	34
6 VIABILIDADE ECONÔMICA	37
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
8 REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as perspectivas positivas acerca da geração de energia solar fotovoltaica sempre foram altas, devido ao clima propício que permanece sob as cidades e regiões rurais por maior período de dias. Isso ocorre porque se trata de uma energia renovável e limpa.

Nesse sentido a ideia de adquirir um sistema de geração fotovoltaico particular foi facilmente propagada pelo marketing das empresas que se especializaram em seu fornecimento. Hoje, os sistemas de geração própria ainda são mais viáveis para a sociedade de classe alta, contudo, seu valor tende a diminuir com o passar dos anos e tornar-se-á mais acessível às demais classes.

Por consequência, houve um aumento exacerbado de investimentos nas tecnologias relacionadas à geração de energia solar fotovoltaica, com o intuito de incentivar a sustentabilidade e o cuidado com o meio ambiente. Além disso, pode evitar a obrigatoriedade da compra de energia nos valores oferecidos pelas concessionárias, devido aos recorrentes aumentos nos custos e tarifas.

O sistema de geração fotovoltaico on grid (interligado à rede), muito embora seja um modelo eficaz, injeta a energia gerada na rede convencional, o que, em grandes proporções, provoca oscilações na tensão dos circuitos envolvidos devido à sobrecarga de energia na rede.

Dentre os impactos causados pela acentuada injeção da energia gerada à rede de distribuição, a instabilidade dos níveis de tensão que compõem a rede convencional é o principal fator que diminui a qualidade da energia fornecida.

Diante disso, tornou-se necessário pensar em soluções viáveis para que a concessionária adeque a energia fornecida à comunidade aos padrões exigidos pela Aneel e evitar um futuro colapso no sistema de distribuição. Logo, este trabalho tem como foco demonstrar um sistema de armazenamento de carga por meio de baterias, cuja finalidade é armazenar a energia gerada durante o dia pelos sistemas de geração solar, instalados nas residências e introduzi-la na rede durante a noite no horário de pico do consumo de energia. Esse esquema tende a aliviar a sobrecarga de energia nos circuitos.

1.1 Problema de pesquisa

A oscilação dos níveis de tensão e a alteração da onda fundamental da frequência da rede elétrica, provocada pela massiva instalação de energia gerada através da energia solar fotovoltaica em regiões urbanas, provoca a necessidade de altos investimentos para melhoria da rede e, assim, evitar surtos na rede de distribuição. Assim, o presente trabalho visa apresentar um estudo e proposta de instalação de um sistema BESS (Battery Energy Storage System) à rede de Baixa Tensão convencional.

1.2 Justificativa

A injeção em massa de energia solar na rede de distribuição provocou danos às instalações elétricas prediais. Com isso, surgiram inúmeras reclamações acerca da qualidade de energia e, como uma maneira de solucionar o problema, diversos estudos de viabilidade e melhoria de rede são feitos diariamente para tentar amenizar os impactos e os surtos na rede elétrica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo primário deste trabalho é apresentar uma alternativa capaz de sanar os impactos negativos da oscilação dos níveis de tensão, causados pela introdução exacerbada de energia gerada pelos sistemas de energia solar fotovoltaica na rede de distribuição convencional em baixa tensão.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Evidenciar os problemas causados pela injeção de energia solar fotovoltaica na rede de distribuição;
- b) Propor uma possível solução para o desequilíbrio dos níveis de tensão na rede que atende aos consumidores conectados ao circuito afetado através da instalação de um sistema BESS (Battery Energy Storage System), atrelado à rede;
- c) Confrontar as vantagens e desvantagens da instalação de um sistema BESS;
- d) Evidenciar a viabilidade econômica, atrelado ao CAPEX ou OPEX da concessionária.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Geração distribuída

Ao contrário do modelo tradicional, em que a energia é produzida por grandes centrais elétricas e transmitida pelos sistemas de distribuição, esse tipo de geração é um modelo de produção de energia elétrica em que várias fontes de energia são instaladas em diferentes locais, geralmente, próximas aos consumidores finais. Ou seja, ela permite que consumidores produzam parte ou toda a energia que consomem, reduzindo a dependência das redes de distribuições, além de reduzir as perdas de transmissão e distribuição. Essa produção de energia pode ser feita por meio de painéis solares, turbinas eólicas, sistemas de cogeração, entre outros.

Esse modelo de geração de energia é visto como uma alternativa mais sustentável e eficiente, pois utiliza fontes renováveis e reduz a distância entre a produção e o consumo de energia. Além disso, a geração distribuída contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e, para a segurança energética, já que diversifica as fontes de produção.

Em decorrência das grandes dependências de fontes de energia concentradas, como usinas termelétricas e hidrelétricas de grande porte ou usinas nucleares, que poderia levar a problemas de segurança energética, além das perdas significativas de energia durante o transporte, a geração distribuída surge como uma necessidade, por ser mais resiliente, e a produção está dispersa em várias unidades menores.

Então, a GD surge através de incentivos públicos, a fim de se ter maior confiabilidade no sistema. Porém, inicialmente, era preciso tratar de barreiras para que tais investimentos fossem acessíveis à sociedade, haja vista que havia poucas tecnologias de sistemas renováveis.

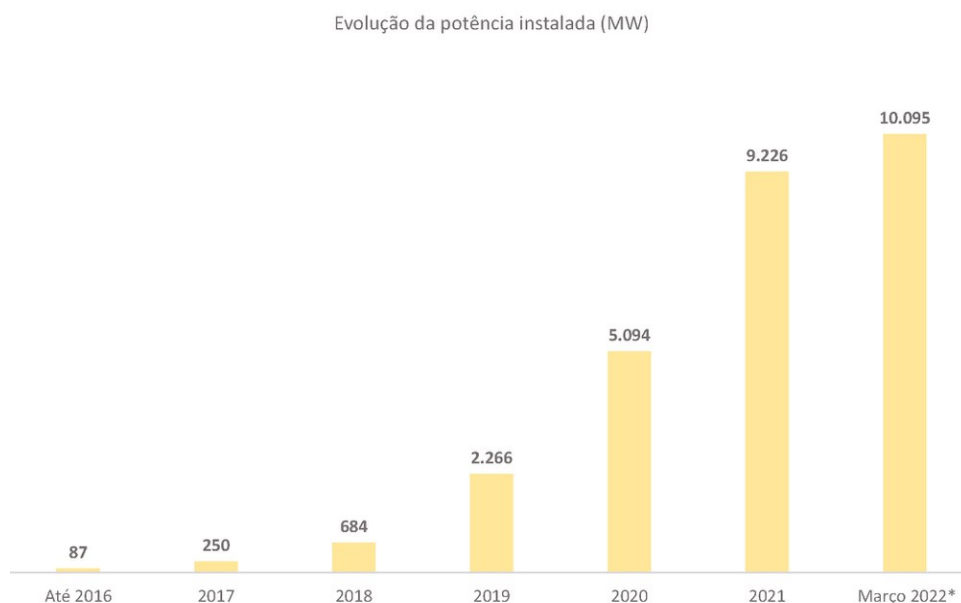
Atraídos pelos benefícios do sistema de geração distribuída, no Brasil, o Ministério de Minas Energia e a Agência Reguladora de Energia Elétrica começaram a buscar mais políticas públicas de incentivo à população para tal sistema. Em 2012, a ANEEL (Agência Reguladora de Energia Elétrica) divulgou a Resolução Normativa 482/2012, que apresentava incentivos do uso de sistemas de geração de energia descentralizado, como os sistemas fotovoltaicos, eólicos, pequenas centrais hidrelétricas e cogeração qualificada, possibilitando aos consumidores brasileiros gerarem a sua própria energia elétrica.

2.1.1 Evolução da Geração Distribuída

É notório que o crescimento de geração distribuída tem aumentado de forma exponencial em todo o mundo. De acordo com a Agência Internacional de Energia Renovável - IRENA, a capacidade instalada de GD no mundo atingiu 1,63 TW em 2022, e que o continente asiático tem altos resultados neste índice, sendo que a China cresceu em 141 GW. O continente europeu vem logo na segunda posição, contribuindo com um crescimento de 57,3 GW, seguido pela América do Norte, com crescimento de 29,1 GW.

Segundo a ANEEL (2022), conforme pode ser visto na FIGURA 1, a geração distribuída no Brasil ultrapassou a marca de 10 GW de potência instalada de micro e minigeração distribuída, com menos de três anos, quando se comemorou, em junho de 2019, a marca de 1 GW de potência de Micro e minigeração instalada.

Figura 1 - Evolução da Potência Instalada no Brasil



Fonte: ANEEL, 2022.

Acredita-se, ainda, que tais resultados tiveram como fatores primordiais as regulações criadas pela ANEEL, em especial, a REN 482/2012. A geração de energia fotovoltaica lidera o ranking brasileiro com a maior fonte de geração distribuída e, a cada ano, alcança recordes incríveis de crescimento. Esse índice tende a crescer ao longo dos anos, porém, um fator que ainda causa preocupação são os custos dos materiais para a implantação dos sistemas.

2.1.2 Aspectos financeiros

Um dos fatores que contribuiu para o aumento da geração distribuída, com destaque na energia fotovoltaica, ocorreu, em grande parte, devido a aspectos financeiros. Estes, por sua vez, no Brasil, estão em constante evolução e são aplicados de forma a influenciar pequenos e grandes consumidores a se tornarem GD's.

Nesse contexto, existem diversos aspectos financeiros que influenciam a geração distribuída, sendo um deles os incentivos fiscais e regulatórios, os quais fazem com que os custos de investimento para os consumidores, que optam pela instalação de sistemas de geração distribuída, sejam reduzidos.

Outro fator de grande influência no aspecto financeiro é que no Brasil a geração distribuída é baseada no sistema de compensação de energia, sendo que o excedente de energia gerada pelos consumidores é injetado na rede elétrica e compensado nas contas de energia. Isso possibilita que os consumidores gerem créditos que são descontados nas contas de energia em meses de menor produção.

Além da crescente redução dos custos para instalações de sistemas de geração distribuída, é notório que as facilidades de financiamento têm aumentado, de forma que a conexão de consumidores com menos poder monetário consigam ter acesso ao sistema.

Em 2015, a Prefeitura Municipal de Palmas-TO lançou um projeto de lei que incentivava os palmenses à instalação de sistemas fotovoltaicos, denominado de "Palmas Solar". Segundo Alan Barbiero, secretário Municipal de Planejamento e Gestão, em uma entrevista extraída do site da prefeitura de Palmas, estava previsto para os palmenses que aderiram à instalação de um sistema de geração distribuída - conectado à rede em suas residências, comércios, etc - teriam até 80% de descontos no Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), além de descontos em vários outros impostos.

2.1.3 Atual índice de instalações no Brasil, Tocantins e Palmas

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar (2023), o Brasil atingiu a marca de mais 34,2 GW de sistemas fotovoltaicos, conforme pode-se observar no gráfico da FIGURA 2.

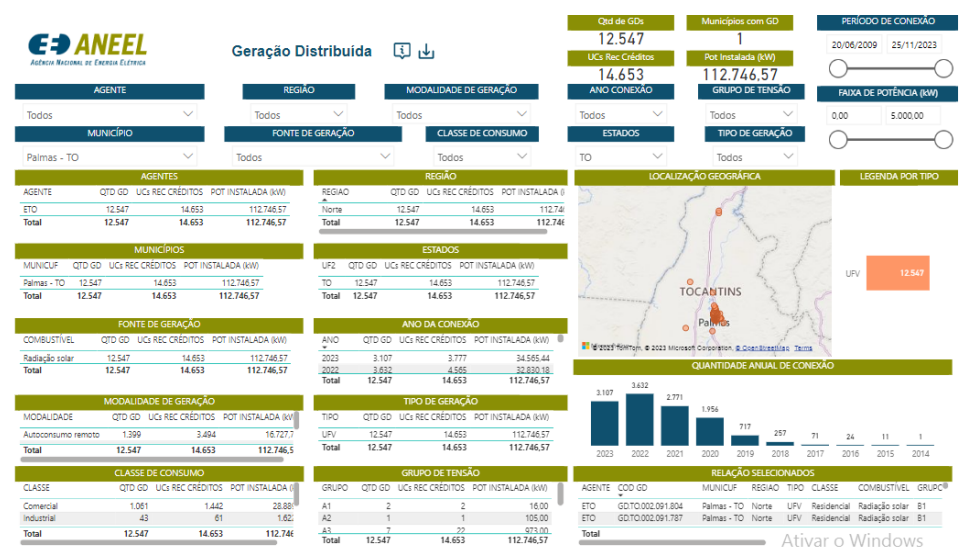
Figura 2 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2023.

Apesar de ser um estado novo, o Tocantins possui um marco de 330,6 MW de potência instalada, a qual é dividida em 139 municípios (Aneel, 2023). Ainda conforme dados da Aneel (2023), a capital do estado, Palmas, lidera o ranking no estado, com 112,7 MW de conexões.

Figura 3 - Potência Instalada de Geração Distribuída em Palmas



Fonte: ANEEL, 2023.

2.1.4 Normas da concessionária para instalação

A concessionária de distribuição de energia, que atende o Tocantins, Energisa, dispõe em seu site normas que padronizam a solicitação de conexão do sistema de geração distribuída nas redes de sua concessão.

Para projetos de microgeração distribuída, cuja geração deverá ser menor ou igual a 75 kW, serão atendidos através da norma de distribuição unificada NDU 013, na qual irá abordar os critérios para a conexão em Baixa Tensão de acessantes de Geração Distribuída ao sistema de distribuição.

Já para os projetos de conexão de minigeração distribuída, cuja geração deverá ser maior que 75 kW, serão atendidos através da norma de distribuição unificada NDU 015, na qual irá abordar os critérios para a conexão em Média Tensão de acessantes de Geração Distribuída ao sistema de distribuição.

2.2 Níveis de tensão

2.2.1 Qualidade da energia elétrica

A qualidade da energia elétrica, fornecida ao consumidor pela concessionária, é metodicamente regulamentada pela ANEEL, com a Resolução nº 1.009, de 22 de março de 2022 (REN1.009/2022). Nesta resolução, estão previstas todas as diretrizes que devem ser seguidas e monitoradas para garantir que os consumidores sejam atendidos em conformidade com a lei estabelecida. De acordo com os critérios

estabelecidos, para que se faça a medição de níveis de tensão, faz-se necessário investimentos em equipamentos sensoriais e mão de obra especializada. Tais investimentos devem estar presentes em toda e qualquer empresa do setor elétrico brasileiro, tendo em vista que serão avaliadas pela continuidade do fornecimento, a qualidade do atendimento ao consumidor, e a qualidade do produto energia elétrica. Os parâmetros para a qualidade dos níveis de tensão são descritos na tabela 5 do PRODIST – Módulo 8 (ANEEL) conforme a FIGURA 4 deste trabalho.

Figura 4 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1KV (380/220)

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(350 \leq TL \leq 399) / (202 \leq TL \leq 231)$
Precária	$(331 \leq TL < 350 \text{ ou } 399 < TL \leq 403) / (191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233)$
Crítica	$(TL < 331 \text{ ou } TL > 403) / (TL < 191 \text{ ou } TL > 233)$

Fonte: PRODIST - Módulo 8 (ANEEL)

2.2.2 Referência dos níveis de tensão

Em conformidade às diretrizes da ANEEL (PRODIST, MÓDULO 8), os níveis de tensão precisam seguir padrões de qualidade de fornecimento tanto para o fornecimento em regime permanente quanto para o regime transitório.

Para o regime permanente, quando o fluxo de tensão é invariável nos pontos, com o passar do tempo, os aspectos avaliados são:

- A. Variações de tensão em regime permanente: refere-se à comparação do valor de tensão obtido por medição apropriada, no ponto de conexão, em relação aos níveis de tensão especificados como adequados, precários e críticos (ANEEL, PRODIST, módulo, p. 3).
- B. Fator de potência: é a relação entre a potência ativa e reativa e deve ser controlado por medição permanente e obrigatória para a rede em média e alta tensão.
- C. Harmônicos: são causados pela existência de elementos não lineares na rede que causam deformações na onda senoidal da frequência universal e são monitorados através de 9 indicadores essenciais.
- D. Desequilíbrio de tensão: quando nas tensões de fase do sistema

elétrico trifásico apresentam qualquer diferença em sua amplitude e seus limites são controlados pelo indicador FD95%, encontrados no PRODIST, módulo 8, da ANEEL, tabela 3.

- E. Flutuação de tensão: é um fenômeno caracterizado pela variação aleatória, repetitiva ou esporádica dos valores eficazes ou de pico da tensão instantânea (ANEEL, PRODIST, módulo 8, p. 11)
- F. Variação de frequência: em condições normais, a frequência da rede deve operar entre 59,9 Hz e 60,1 Hz.

Para o regime transitório, que trata de eventos indesejáveis, porém momentâneos no fornecimento de energia, avalia-se as variações de tensão de curta duração - VTCD: estabelece que o valor eficaz da tensão não pode sofrer desvios em sua amplitude por um tempo superior a 3 minutos.

2.2.3 Exigências da Aneel a respeito da qualidade dos níveis de tensão

O fornecimento do produto energia elétrica, por obrigatoriedade deve estar dentro dos limites dos indicadores de continuidade: Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão (DIC), Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão (FIC), Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC), Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC), Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão (DMIC) e Duração da Interrupção Individual ocorrida em Dia Crítico por Unidade Consumidora (DICRI) que serão destrinchados brevemente na metodologia deste trabalho.

2.2.4 Qualidade do banco de dados geográficos

Também de acordo com a resolução da ANEEL, toda a rede elétrica deve ser cadastrada em sistemas de georreferenciamento, os quais devem ser fidedignos ao serem comparados com os ativos existentes em campo. Neste sentido, a qualidade da base de cadastro dos ativos elétricos é de fundamental importância para que se faça uma boa análise dos níveis de tensão.

2.2.5 Excesso de GD conectada à rede convencional

O forte aumento das instalações de sistemas de energia solar fotovoltaica

conectada à rede convencional (on Grid), provocou oscilações nos níveis de tensão. Este fator atinge diretamente o consumidor final, tendo em vista que a qualidade do produto - energia elétrica - saiu dos padrões considerados adequados para fornecimento. Sendo que os grandes vilões, responsáveis pelas deformidades na onda senoidal fundamental da tensão e corrente elétrica, são os inversores de potência dos sistemas fotovoltaicos, pois são compostos por dispositivos semicondutores como os transistores (LOPES; LUCCA, 2023, p. 24).

As fontes de geração de energia alternativa, neste caso, a solar fotovoltaica, não produz de forma constante e ininterrupta, pois os módulos fotovoltaicos captam a irradiação solar do momento e, portanto, depende das ações climáticas tanto para impactos positivos quanto negativos na geração. Essa inconstância nos índices de geração causa o que se entende por flutuação de tensão, ou seja, quando a tensão tem valores eficazes inconstantes e estas variações, repetitivas, esporádicas ou aleatórias são em geral provocadas pelas alterações rápidas nas potências ativas e reativas das cargas elétricas (PAULILLO; TEIXEIRA, 2013, p. 1).

A falta de estabilidade entre os sistemas de geração e o sistema elétrico de potência também pode acarretar na inversão do fluxo de potência, tendo em vista que a diferença entre o que foi gerado individualmente e o que a rede convencional injeta é irrisória e, com isso, pode alterar o sentido da corrente elétrica, situação esta que pode causar surtos e danos na rede de distribuição convencional.

2.3 Soluções existentes para minimizar os impactos causados pela GD

Em virtude dos problemas causados pela GD, a indústria do setor elétrico buscou soluções financeiramente palpáveis de serem possíveis de aplicação na rede de distribuição em baixa tensão, com o intuito de manter a tensão no ponto de entrada do consumidor dentro dos padrões exigidos. Dentre tantas soluções, as mais viáveis e rentáveis dentro da concessionária são: o Regulador de Tensão em Baixa Tensão e a Divisão de Circuito, pois, de acordo com o MCPSE (Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico), sua capitalização é assegurada na revisão tarifária.

2.3.1 Regulador de Tensão em baixa tensão

O Regulador de Tensão é um equipamento que, quando instalado em baixa tensão, consegue restabelecer e cessar a flutuação de tensão, pois seu funcionamento consiste

em atuar sempre que há uma variação de tensão que esteja fora dos padrões de qualidade de energia elétrica. Assim, em um circuito que os níveis de tensão apresentam, corriqueiramente, reclamações devido à má qualidade, é uma das soluções viáveis para controlar a variação indesejada.

2.3.2 Divisão de circuito

Consiste em, após analisar um determinado circuito que aponta frequentes oscilações nos níveis de tensão, realizar um estudo relacionado à carga injetada pela geração distribuída e a demanda dos consumidores atendidos pela rede convencional. Para tanto, faz-se uma divisão do circuito para que a proporção entre geração e o consumo seja balanceada com o intuito de reduzir ou prevenir os surtos na rede.

2.4 Sistema BESS como solução para instabilidade dos níveis de tensão

2.4.1 Battery Energy Storage System (BESS)

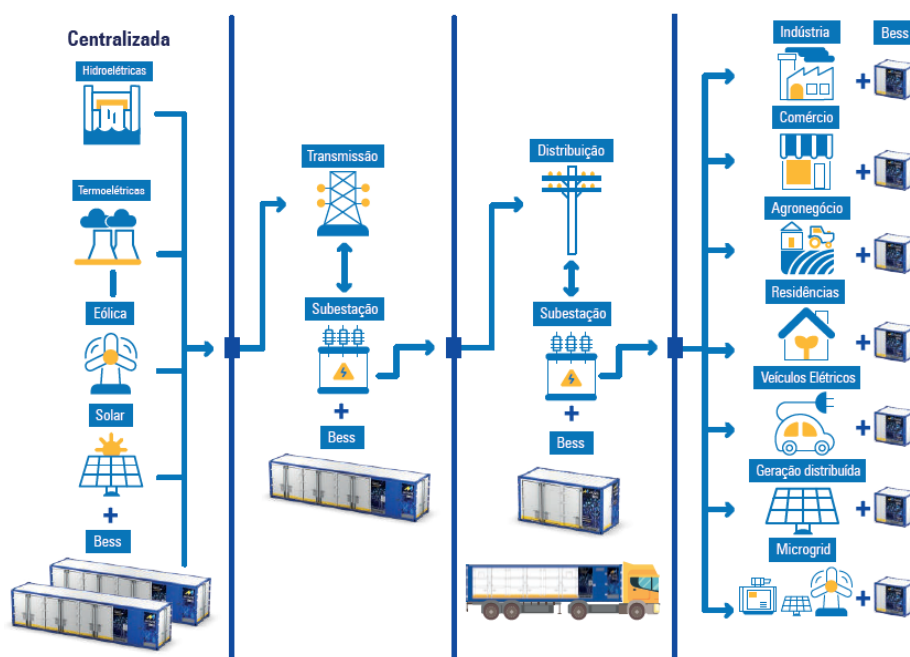
O BESS é um sistema inteligente de armazenamento de cargas em baterias, controlado de forma digital. É uma solução eficaz e viável para reduzir custos e melhorar a qualidade de energia. Em seus aspectos construtivos, que será apresentado logo mais neste trabalho, há uma grande preocupação com a sustentabilidade e eficiência, tendo em vista a utilização de baterias 100% recicláveis.

2.4.2 Aspectos construtivos do BESS

A tecnologia em torno do funcionamento do BESS está diretamente relacionada à escolha da bateria e do sistema de operação. Atualmente, as empresas do ramo trabalham, principalmente, com a fabricação de baterias tracionárias, estacionárias e metroferroviárias. No caso do sistema BESS, a bateria estacionária é a melhor opção por se tratar de uma instalação imóvel, alocada de forma estratégica.

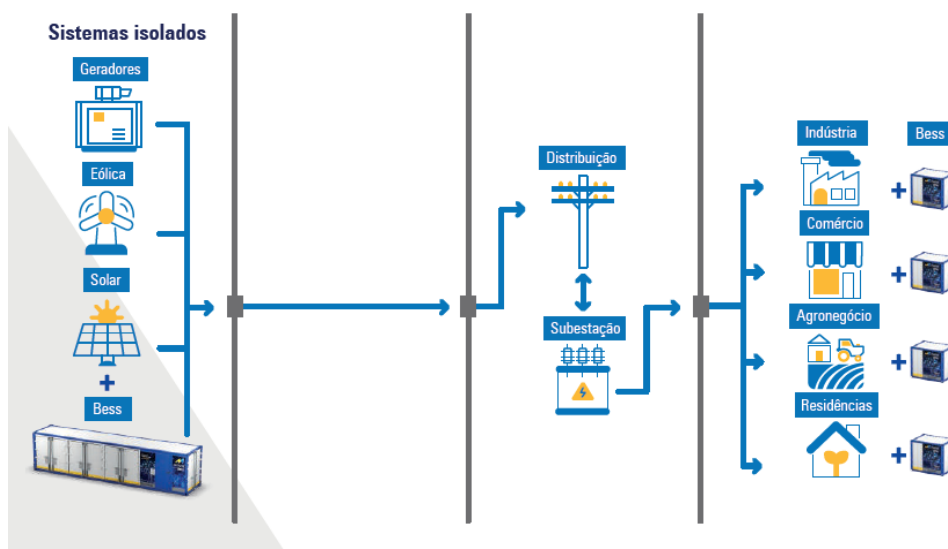
Por se tratar de uma tecnologia dinâmica e flexível em relação a sua utilização, o BESS pode ser adaptado para aplicação em todos os estágios do Setor Elétrico brasileiro de forma centralizada e em sistemas isolados, conforme as FIGURAS 5 e 6.

Figura 5 - BESS aplicado de forma centralizada



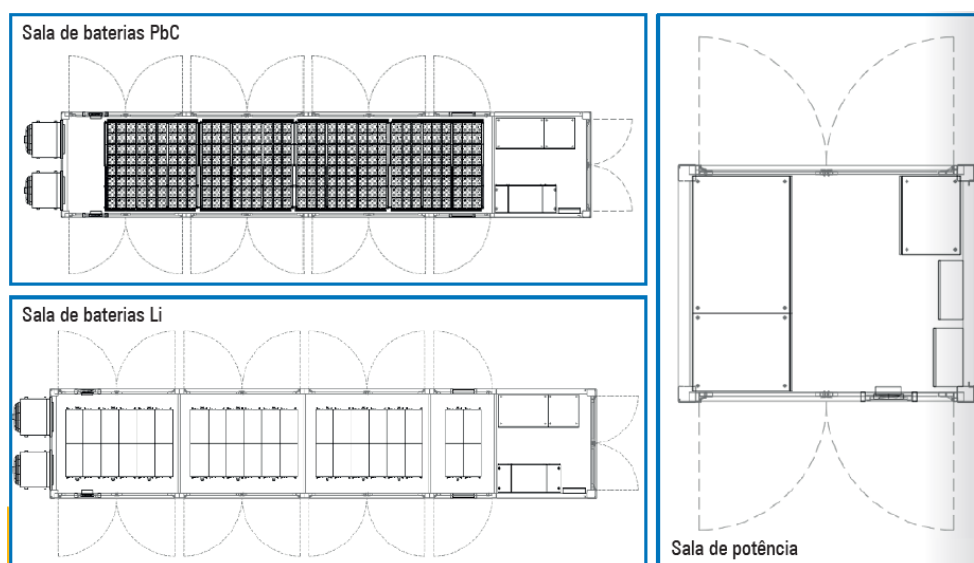
Fonte: Catálogo Moura: Sistema de Armazenamento de Energia (BESS).

Figura 6 - BESS aplicado em sistemas isolados



Fonte: Catálogo Moura: Sistema de Armazenamento de Energia (BESS)

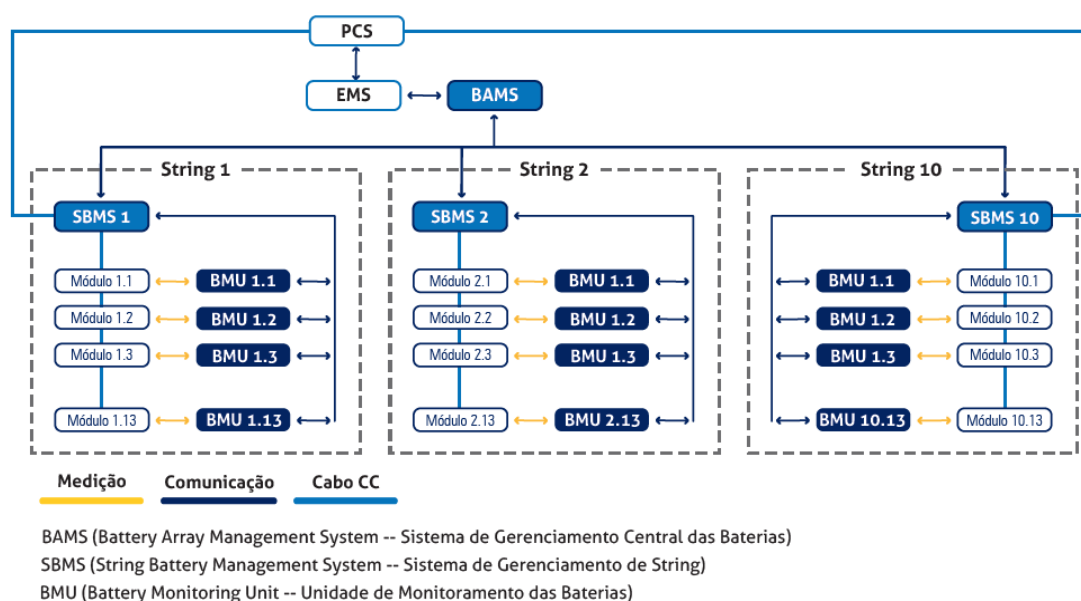
O sistema consiste em uma carcaça de material metálico no formato de contêiner, cujas dimensões são projetadas e construídas conforme a necessidade. Dentro dele, os ambientes são planejados para que comportem a sala de baterias PbC ou Li e a sala de potência, como o exemplo proposto na FIGURA 7.

Figura 7 - Exemplos de Layouts

Fonte: Catálogo Moura: Sistema de Armazenamento de Energia (BESS)

A utilização de baterias de Chumbo-Carbono (PbC) é ideal para situações em que se deseja liberar a energia armazenada de maneira gradual, ou seja, a energia é injetada a médio ou longo prazo. Elas oferecem um melhor desempenho e maior durabilidade para armazenagem de cargas de sistemas de geração fotovoltaica. Foi desenvolvida para tolerar 3 vezes mais ciclos de vida quando comparado ao padrão de outras baterias vigentes no mercado. Outro fator positivo é de que tem uma boa capitania de carga, o que favorece para que sua recarga seja eficiente e rápida. As baterias PbC foram projetadas para atender diretamente ao âmbito fotovoltaico e, por conter uma tecnologia de ventilação, suporta altas temperaturas, o que a torna ideal para utilização no Brasil, por se tratar de um país de clima tropical. As baterias de material Chumbo-Carbono são reconhecidas por obter alta performance, fácil instalação, baixa necessidade de manutenção, além de possuir um sistema antivazamento que reduz a emissão de CO² no meio ambiente. Como qualquer tecnologia, ela também possui desvantagens e a principal delas é o alto custo de mercado, devido à sua extensão. Já as baterias de Lítio (Li), são utilizadas em ocasiões em que há a necessidade de fornecer, em um curto prazo, um alto valor de energia, entretanto, esta solução não será aprofundada neste estudo. Após a escolha do material das baterias, é feito um projeto para alocação dos módulos em sua quantidade necessária, tal como exemplifica a FIGURA 8.

Figura 8 - Diagrama BMS

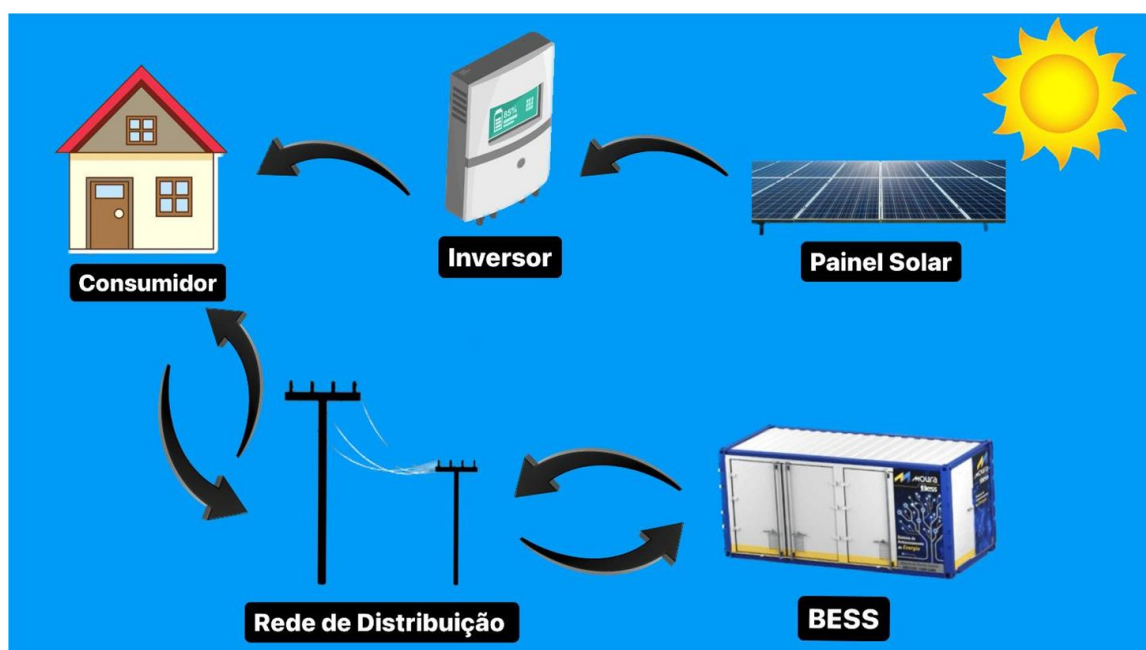


Fonte: Catálogo Moura: Sistema de Armazenamento de Energia (BESS)

2.4.3 Funcionamento do BESS

O sistema tem como lógica de funcionamento o armazenamento de cargas geradas através das diversas possibilidades já existentes, como energia solar fotovoltaica, eólica, hidroelétrica, termoeletrica, dentre outras menos usuais. Um conjunto de baterias é organizado para estocar a energia gerada, a fim de ser utilizada, posteriormente, conforme a demanda desejada, o que evita, na visão da concessionária, a necessidade de grandes investimentos para ampliação de rede para suprir os horários de pico. A avaliação, análise e controle foram desenvolvidos para serem monitorados e comandados pelos sistemas de software remotamente, o que auxilia no gerenciamento online da carga e descarga, bem como do comportamento da rede após sua atuação.

Figura 9 - Funcionamento BESS



Fonte: Do próprio autor

2.4.4 Aplicações do BESS

O BESS tem parâmetros de funcionamento que envolvem economia, sustentabilidade, segurança, flexibilidade na operação e eficiência. Seu intuito é puramente a armazenagem de cargas, provindas da geração de energia ou na armazenagem da energia que chega através das redes de transmissão e distribuição. Logo, possui diversas aplicações e, como foco deste trabalho, a sua utilização para armazenagem de cargas geradas pelos consumidores locais pela geração distribuída.

Atualmente, os principais fornecedores da tecnologia no Brasil são as empresas WEG, Baterias Moura e Siemens, mas, em nível nacional, existem as concorrentes Lithium Valley, Power (do grupo Mitsubishi) e Evlithium. No setor industrial, comércios e agronegócio que precisam estocar energia gerada para momentos de blackout, difícil acesso para rede convencional, controle de reativos ou no intuito de economizar energia no horário de pico, o BESS já é uma solução utilizada. No ramo de transmissão e distribuição de energia, ele é utilizado para evitar investimentos exacerbados em melhoria de rede, pela capacidade de manter uma reserva energética, black start (quando há a necessidade de desligar todas as unidades geradoras) e regulação de tensão. Já no tocante à geração de energia, é aplicado para reserva energética, suavização de potência e regulação de frequência. Em sistemas isolados, os principais fatores são a diminuição do uso de diesel e a diminuição de custos operacionais.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de pesquisa

O intuito final deste trabalho é sinalizar os métodos utilizados para a instalação de um sistema de armazenamento de carga. Estes, por sua vez, serão apresentados através de um BESS e sua viabilidade financeira, aplicado como proposta de solucionar a instabilidade dos níveis de tensão - causada pela injeção em massa de GD - no ponto de chegada do consumidor, conectado à rede BT convencional. Assim, para este fim, este trabalho se encaixa nas predisposições de uma pesquisa qualitativa exploratória que, por definição, consiste “... em descobrir as bases e trazer informações que permitam chegar ao resultado esperado, ou que pelo menos nos permita formular uma hipótese. Este modo de fazer pesquisa nos permite também definir de forma mais completa o problema de pesquisa” (FROSSARD, 2020[1] [2]).

3.2 Coleta de dados

Para cada objetivo, existe um método que melhor auxilia na coleta dos elementos necessários para comprovar a teoria ou os fatos apresentados. Assim, o estudo de caso, atrelado à pesquisa bibliográfica para embasar os fundamentos teóricos, enquadram-se nas prerrogativas deste trabalho.

O conceito de estudo de caso é muito bem descrito pelas citações escolhidas por Freitas e Jabbour (2010, p. 4), visto que eles concordam que “um estudo de caso é uma história de um fenômeno passado ou atual, elaborada a partir de múltiplas fontes de provas, que pode incluir dados da observação direta e entrevistas sistemáticas, bem como pesquisas em arquivos públicos e privados (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). É sustentado por um referencial teórico, que orienta as questões e proposições do estudo, reúne uma gama de informações obtidas por meio de diversas técnicas de levantamento de dados e evidências (MARTINS, 2008).

Todos os elementos de dados utilizados serão coletados pela análise de um circuito de baixa tensão, localizado em uma quadra na cidade de Palmas-TO e fundamentar-se-á em dados fornecidos pela concessionária de energia, atrelados a conceitos presentes em artigos científicos, normas regulamentadoras, teses e dissertações, literaturas e sites renomados que abordam a temática presente no corpo deste trabalho de conclusão de curso.

Junto aos dados fornecidos, será estabelecida uma conexão entre o problema já apresentado neste trabalho e a solução através da instalação de um sistema BESS e, assim, estabelecer as vantagens e desvantagens dessa proposta.

A análise documental será o principal recurso utilizado tanto para embasar a fundamentação teórica como para a quantificação e sua viabilidade financeira. Toda a formulação dos conceitos e métodos têm como alvo a real possibilidade da aplicação do projeto como uma alternativa de melhoria para a sociedade.

3.3 Tratamento e análise de dados

Todo o estudo de caso será promovido através de dados técnicos, fornecidos pela concessionária e confrontados com suas normas regulamentadoras, bem como a associação dos problemas encontrados com suas causas. Assim, tornar-se-á necessária uma profunda análise do circuito elétrico de baixa tensão convencional e os surtos encontrados no circuito escolhido. Essa direção é importante para que, através das causas, a solução oferecida seja não somente convincente, mas também financeiramente viável e rentável no presente momento ou em um futuro próximo, além da exploração do funcionamento, aspectos construtivos e fornecedores do sistema BESS.

4 ESTUDO DE CASO

Por conhecimento dos problemas causados pelo excesso de sistemas de GD (geração distribuída) descritos no subtópico 2.2.5 deste trabalho, foi observada a necessidade de elaborar um estudo de caso, com o intuito de verificar um determinado circuito, em que os efeitos negativos já causam impactos aos consumidores e à concessionária.

Assim, em compromisso com a objetividade e clareza dos argumentos descritos no escopo deste trabalho de conclusão de curso, foram analisados dados de uma coleta de medições gráficas de um circuito atendido por um transformador específico em uma quadra da cidade de Palmas - TO, entre os dias 02/05/2023 e 07/05/2023. O circuito em questão foi escolhido por se tratar de uma situação em que o transformador que o atende esteja operando em sobrecarga durante o horário em que a geração é alta e o consumo é baixo, tal como nos horários em que a geração é baixa, contudo com alto consumo. O transformador em questão tem como tensão nominal 13,8 kV, potência nominal de 150 kVA.

Neste contexto, o referido circuito está congestionado por gerações distribuídas e, por se tratar de uma área residencial, em horário comercial, o consumo de energia é baixo ao levar em consideração que as casas, em sua maioria, estão vazias. Em paralelo a isso, é também neste horário que a incidência dos raios solares é mais intensa e, em consequência disso, os sistemas de geração de energia solar atingem seu ápice. Toda energia gerada e não consumida é automaticamente injetada na rede elétrica, o que interfere diretamente na qualidade da energia que chega nas unidades consumidoras de todos os clientes atendidos pelo circuito afetado. Isso ocorre porque, ao injetar esse excedente na rede, faz com que o transformador em sobrecarga opere em um fluxo reverso, o qual ele não é projetado para trabalhar, impactando o seu bom funcionamento e vida útil. O transformador em questão também apresentava problemas como derramamento de óleo e ruídos, indicando seu mau funcionamento.

4.1 Analisador de Energia e a medição gráfica

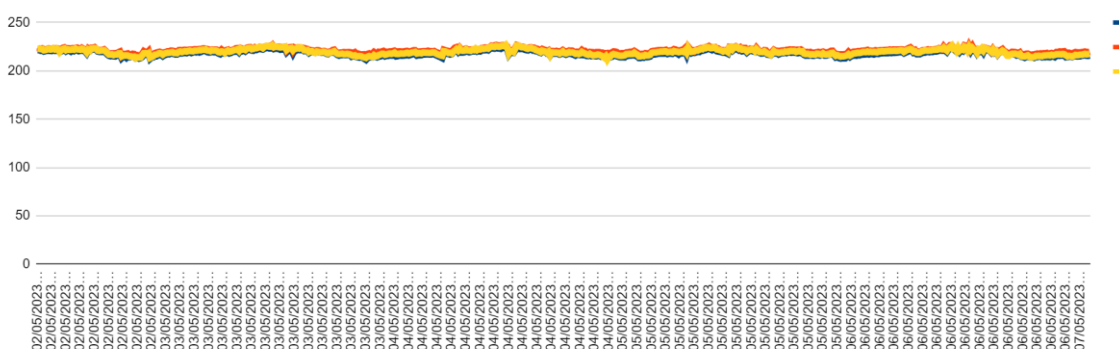
A medição gráfica consiste em aferir os valores de tensão, corrente e potência que passam por um transformador, utilizando um analisador de energia. De acordo com o site da Hottinger Bruel & KJ/ER (HBK), “os analisadores de energia podem detectar digitalmente os ciclos de frequência para fornecer períodos RMS confiáveis durante a conversão de energia. Um analisador de energia também deve detectar a tensão e a corrente do sistema”. Alguns analisadores podem aferir diversas outras grandezas

derivadas de grandezas fundamentais. Dessa forma, quando um determinado circuito apresenta sinais de sobrecarga, faz-se necessário utilizar de um analisador de energia para entender quais parâmetros estão ocasionando a sua instabilidade. Dessa forma, o analisador de energia instalado no transformador foi programado para aferir tais medições por 4 dias, 14 horas e 30 minutos iniciando às 11:00 horas do dia 02/05/2023 e finalizado às 01h30 horas do dia 07/05/2023, contabilizando 4,6 dias ininterruptos, registrando os eventos de 10 em 10 minutos.

4.2 Medição da Tensão

Como dito anteriormente, uma das grandezas que um analisador de energia pode captar são os valores de tensão. Neste caso, as tensões aferidas podem ser observadas na FIGURA 10 e demonstram que, em nenhum momento, fogem dos níveis de qualidade considerados adequados expressos na FIGURA 4.

Figura 10 - Medição da Tensão por Fase



Fonte: Do próprio autor

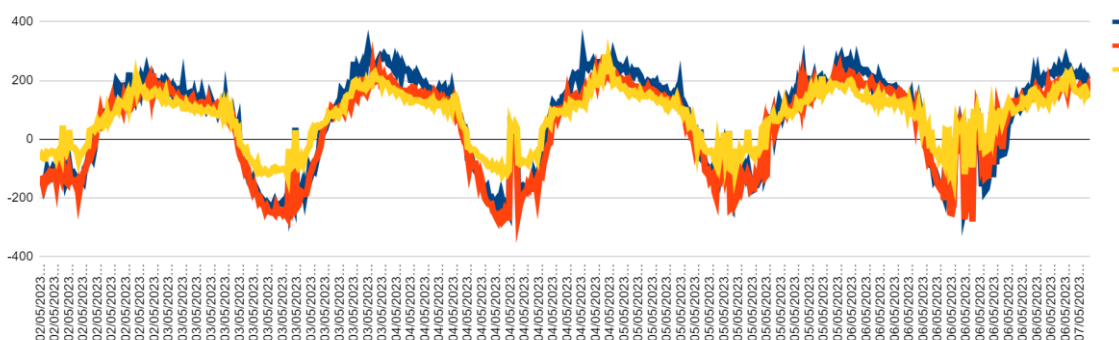
4.2 Medição da Corrente

Dentre diversas causas de queima de transformadores, a mais comum é a queima por sobrecarga. Isso acontece quando, em operação, o transformador atinge 150% de sua potência nominal e considerando que a potência equivalente é definida pela fórmula $P = I \cdot V$, onde P é a potência, I é a corrente, e V é a tensão, a potência é diretamente proporcional a corrente e a tensão. Neste caso, conforme apresentado no item 4.1, os valores de tensão estão dentro dos níveis aceitáveis. Contudo, o fator que está afetando diretamente a potência é a corrente. É possível observar, no gráfico da

FIGURA 11, que nos eventos de 1 dia, aproximadamente entre os horários de 16h50min e 07h50min a corrente alcança valores positivos, enquanto que entre as 08h e 16h40min, a corrente atinge valores negativos. Fato este que se repete entre os mesmos horários dos dias subsequentes. Isso ocorre porque o período de maior geração de energia solar coincide com o horário de menor consumo de energia, ou seja, em média, durante os dias monitorados, cerca de 531,93 kWh não é consumido e, portanto, ela é injetada na rede elétrica, forçando o transformador a operar em seu fluxo reverso.

Quando o transformador opera em fluxo reverso, a corrente pode se deformar, ocasionando o que se conhece por harmônicas, a afetar diretamente em sua amplitude de perdas e sua vida útil. Além disso, em horários de pico, em que se exige uma alta demanda de energia, a sobrecarga pode causar quedas súbitas na tensão, fator este que mais incomoda os consumidores, considerando que, na maioria dos casos, pode ocasionar na queima de equipamentos ou no funcionamento parcial deles.

Figura 11 - Medição da Corrente por Fase



Fonte: Do próprio autor

Sabe-se que pela lei de ohm, a corrente por fase é dada pela potência por fase dividida pela tensão. Assim, para um transformador de 150 kVA, a potência por fase será 50 kVA e a tensão será 220V, logo $I = 50000/220 = 227,27A$. Sendo assim, caso a corrente por fase ultrapasse este valor, entende-se que o sistema está sobrecarregado tal como se observa na relação da figura 12.

Figura 12 - Fases Sobrecarregadas

VALOR DA CORRENTE SECUNDÁRIA			
228,17 AMPERES			

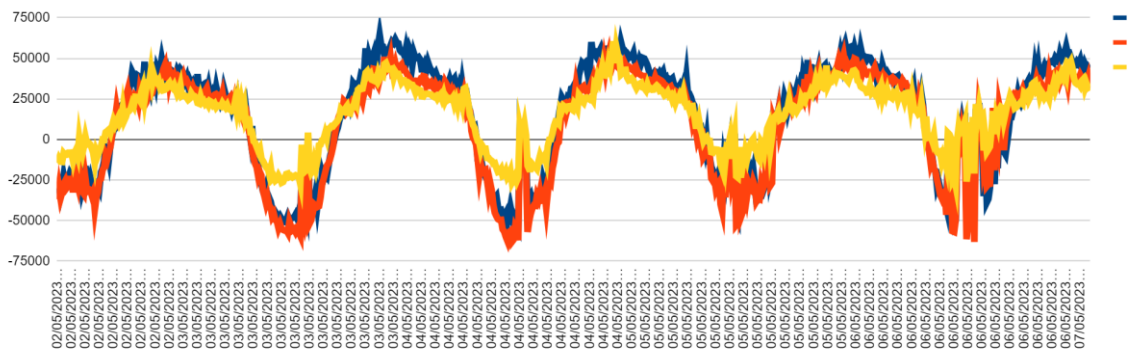
CÁLCULO DO CARREGAMENTO DO TRAFO			
INFORME AS CORRENTES MEDIDAS			
FASE A:	337,96	MÉDIA: 311,87 AMPERES	FASE SOBRACARREGADA
FASE B:	305,32		FASE SOBRACARREGADA
FASE C:	292,32		FASE SOBRACARREGADA

Fonte: Relatório da Concessionária

4.3 Medição da Potência

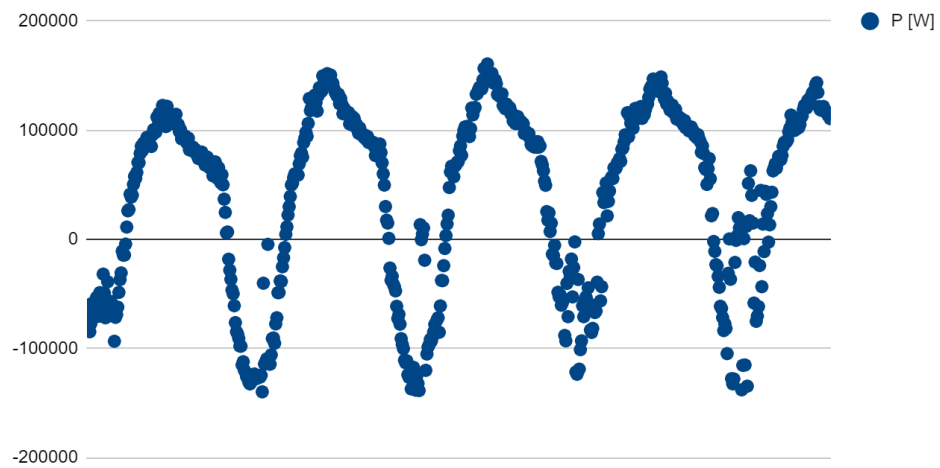
Por norma, as tensões de rede de média tensão do sistema de distribuição no estado do Tocantins são de 13,8kV ou 34,5kV. Sabe-se, também, que o seu carregamento pode ser inferior a 25% ou até 150% de sua potência nominal. Dito isso, o transformador analisado opera com tensão nominal de 13,8kV e 150 kVA, logo, em termos de potência, suporta em seu máximo uma potência de aproximadamente 225 kVA. Nessa direção, a sua utilização acima de seu valor nominal pode não só reduzir a sua vida útil, como também danificar completamente seu funcionamento. Neste caso, por se tratar de um sistema trifásico, a potência total se dá pelo somatório das potências por fase. Pela FIGURA 14, é possível observar que a soma total das fases a, b e c oscilam entre o dia e a noite. Em horários de baixo consumo a potência atinge níveis superiores a sua potência nominal entre as 22 horas e às 23h10min da noite do dia 03/05/2023.

Figura 13 - Potência por fase



Fonte: Do próprio autor

Figura 14 - Potência Total em Watts



Fonte: Do próprio autor

5 APLICAÇÃO DO BESS

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) pode ser representado através de um diagrama o qual dispõe dos equipamentos elétricos existentes. Estes equipamentos são instalados em locais estratégicos, com o intuito de proteger o sistema de danos profundos e evitar que o consumidor final seja atendido com uma energia de má qualidade ou penalizado pela falta dela. Ocorre que, em virtude dos avanços tecnológicos e diminuição do preço acerca da geração própria de energia por meio de sistemas fotovoltaicos, os últimos anos foram marcados por uma quantidade exorbitante de sistemas On Grid. Um dos efeitos negativos desse processo é que o transformador é obrigado a operar em fluxo reverso, situação que faz com que parte da energia gerada seja injetada na média tensão. Outro fator é a sobrecarga do transformador que também operará com uma corrente muito acima dos seus valores nominais. Estes fatos contribuem para a queima de transformadores, pois não são fabricados para este fim, além de implicar em quedas de tensão repentinas e queima dos equipamentos dos consumidores.

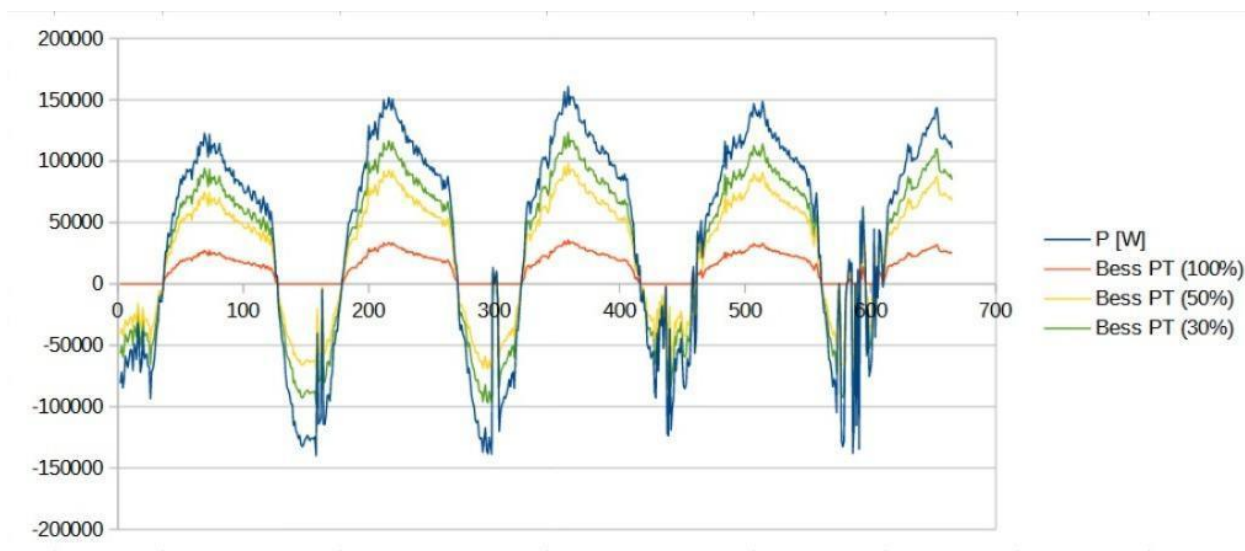
A finalidade da instalação do BESS ao sistema atendido pelo transformador do estudo de caso é para absorver o excesso de energia gerada. Como dito anteriormente, com base nos dados coletados, em média 531,93 kWh, durante um período de 4,6 dias, ou seja, por dia 115,53 kWh não são consumidos. Logo, o BESS instalado na rede BT convencional pode fazer o papel de armazenar parte dessa carga ou toda ela para que o sistema não entre em sobrecarga.

Objetivamente, o intuito da instalação do BESS é para que ele absorva todo o excesso de geração que seria injetado diretamente na rede durante o dia para que, posteriormente, no período noturno, quando a geração cessar e o consumo aumentar, ele “devolva” à rede para que seja consumido. Isso demonstra que seu ciclo de carga e descarga seja de 24 horas (1 dia). A medição gráfica coleta os valores de tensão, corrente e potência que passam pelo transformador, independente de serem oriundos de geração distribuída ou que venha da rede convencional. De acordo com os dados, 6.883,37 kWh são consumidos no intervalo de 4,6 dias, logo, presume-se que a média de consumo diário dos consumidores atrelados ao circuito adotado seja de 1.495,03 kWh.

A FIGURA 15 estabelece uma relação entre a potência média em que o transformador está operando, e a uma prospecção de como estaria após a instalação do BESS, com

capacidade para armazenar 100%, 50% e 30% do excedente diário.

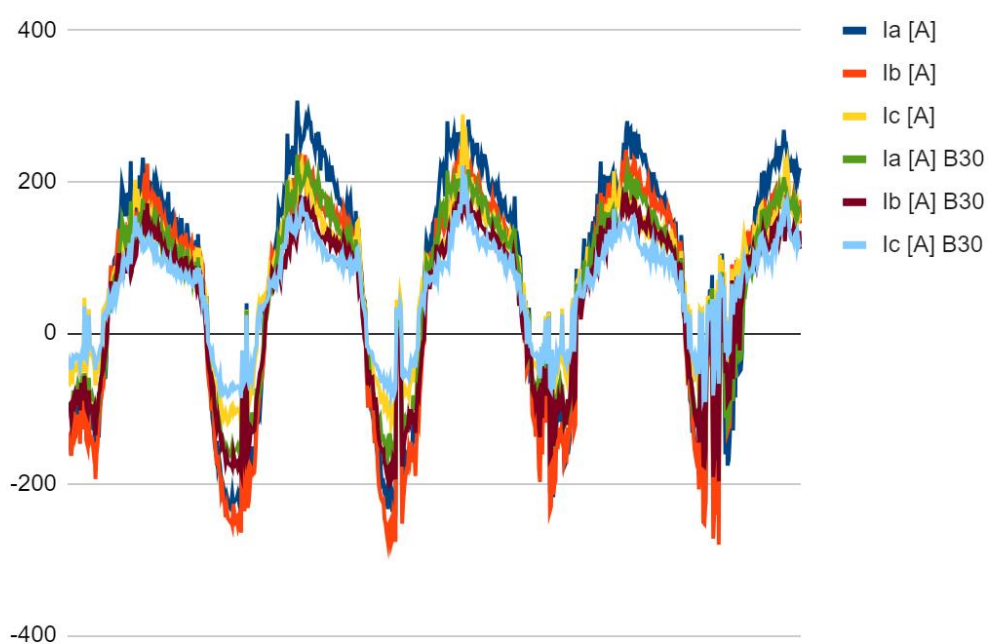
Figura 15 - Prospecção da Potência após a instalação do BESS



Fonte: Do próprio autor

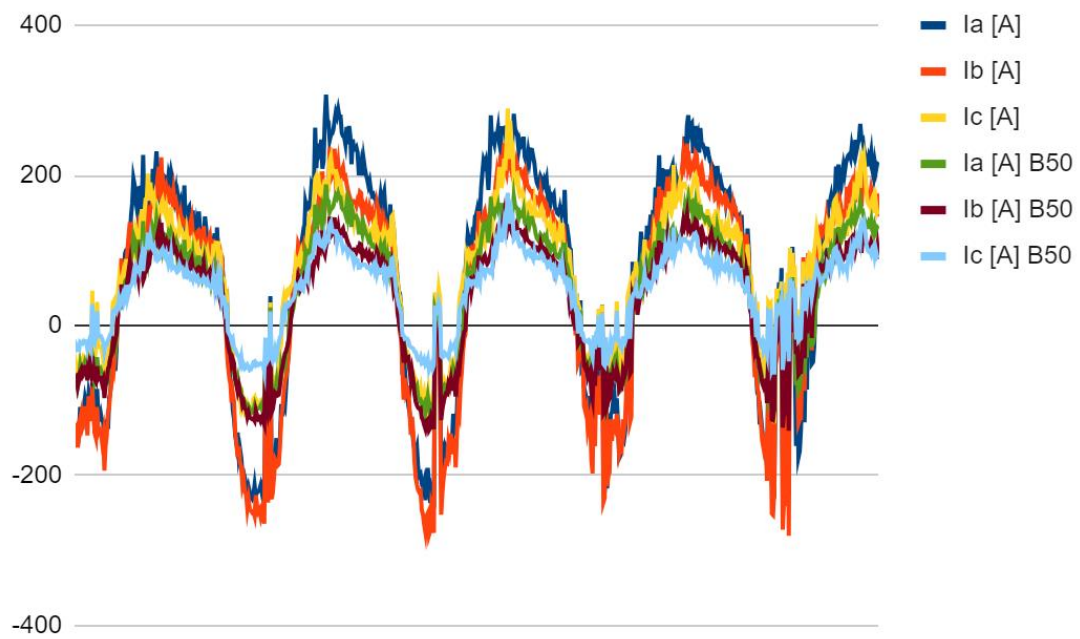
Já as FIGURAS 16, 17 e 18 apresentam uma perspectiva dos valores de corrente após a instalação do BESS, em cenários com 30%, 50% e 100% de eficiência, respectivamente.

Figura 16 - Prospecção da Corrente após a instalação do BESS (30%)



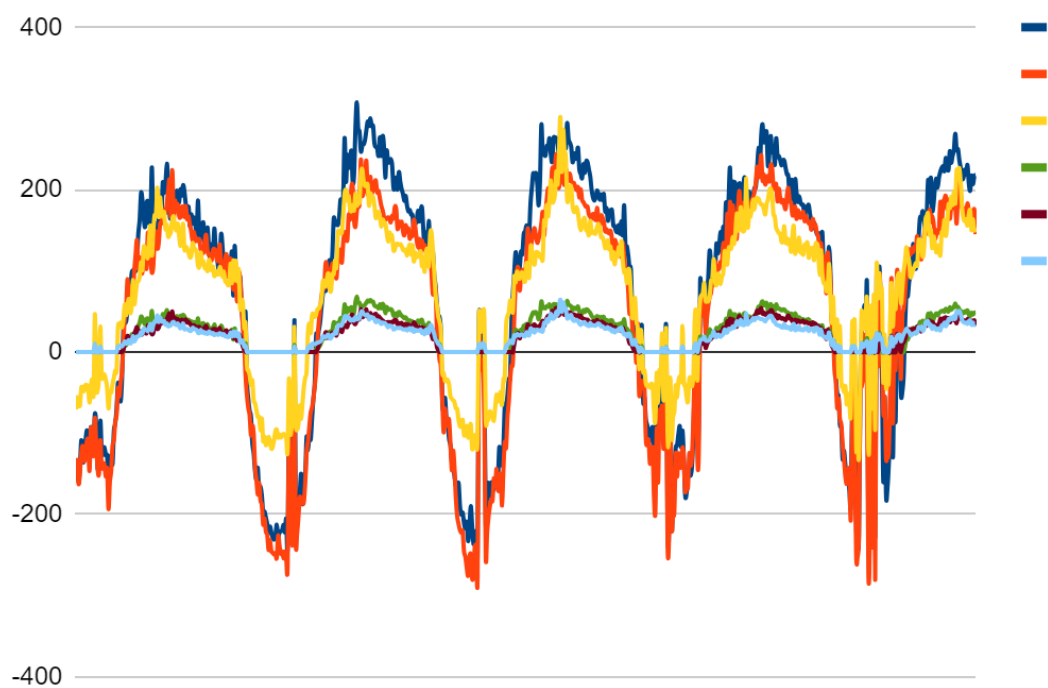
Fonte: Do próprio autor

Figura 17 - Prospecção da Corrente após a instalação do BESS (50%)



Fonte: Do próprio autor

Figura 18 - Prospecção da Corrente após a instalação do BESS (100%)



Fonte: Do próprio autor

6 VIABILIDADE ECONÔMICA

Atualmente, segundo o site “Canal Solar”, um BESS oriundo dos Estados Unidos, tem um valor médio de \$256 por kWh de armazenamento. Nesse sentido, considerando o valor do dólar no dia 06 de agosto de 2024 (5,66 reais), seria o equivalente em reais a R\$1448, 96 por kWh. Outro cenário financeiramente mais favorável devido às taxas de importação, é a possibilidade de comprar um BESS da China, cujo valor por kWh cai para US\$218, logo, seu custo final será de R\$142.550,15, o que representa uma economia de R\$24.848,19 em relação a compra dos Estados Unidos.

Mesmo com valores ainda altos, diante de um cenário crítico como o analisado, instalar um BESS no circuito, resolveria o problema de forma definitiva. Atualmente, a solução mais adotada é a divisão de circuito, contudo isso significará fazer uma melhoria na rede e implementar um novo transformador para atender o novo circuito, ação essa que ameniza o problema, mas não por muito tempo, tendo em vista que o transformador continuará sendo afetado, além de impossibilitar que os consumidores daquele circuito possam realizar o aumento de sua geração sem que haja uma nova melhoria na rede. O que se pode dizer, com certeza, é que não se pode mais frear os avanços acerca da tecnologia. Num futuro não muito distante, presume-se que a energia solar seja a fonte de geração da maioria das residências e, por isso, a curto prazo, a divisão de circuitos resolve o problema de forma paliativa, enquanto o BESS agirá de forma objetiva e eficiente. Em média, uma obra para dividir o circuito apresentado custaria para a concessionária em torno de R\$91.802,28 por haver a necessidade de instalar um novo transformador, valor não tão distante do custo médio de instalação do BESS.

Outra possibilidade a se discutir é a compra do BESS, que tenha capacidade para armazenar uma quantidade que, apesar de não ser o ideal, pode amenizar os problemas. Como por exemplo, considerando armazenar somente 50% do valor do valor total, a onda senoidal reduz seus pontos de máximo e mínimo e tende a se aproximar de zero.

Observa-se a TABELA 01, considerando a possibilidade de um BESS com capacidade de 100%, 50% e 30% em relação à necessidade do circuito. Dessa forma, é possível observar o valor de uma ação com eficácia integral ou de forma paliativa. Para os cálculos da TABELA 1, foi adotado o valor de \$256 para 1 kWh.

Tabela 1 - Custo Benefício do BESS

Percentual (%)	kWh	Valor em Dólar	Valor em Real
100	115,53	\$ 29.575,68	R\$ 167.398,35
50	57,765	\$ 14.787,84	R\$ 83.699,17
30	34,659	\$ 8.872,70	R\$ 50.219,50

Fonte: Do próprio autor

A revisão tarifária tem o objetivo de estabelecer equilíbrio entre o que foi gasto com investimentos pela concessionária para melhorar ou manter a qualidade de energia e ocorre a cada 4 anos. Para o consumidor, ela é responsável por definir o preço pago pela energia de acordo com os investimentos feitos pela concessionária. Para a concessionária, ela é complexa por ser responsável por definir o valor a ser ressarcido à concessionária após os 4 anos de investimento. Ocorre que nem todos os equipamentos disponíveis no meio tecnológico podem ser categorizados como investimento e, portanto, não serão ressarcidos após a contabilização. Com isso, a concessionária trabalha com orçamentos pré-definidos para OPEX e CAPEX. A grosso modo, o CAPEX é o valor gasto em investimentos e serão contabilizados na revisão tarifária, enquanto o OPEX, é o valor gasto em despesas e, portanto, não entram na contabilização da revisão tarifária. A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) através do MCPSE (Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico), cujo link para acesso consta nas referências deste trabalho, determina quais materiais entram como investimento (CAPEX) e serão contabilizados na revisão tarifária.

Dentro dessa perspectiva, o BESS é composto por equipamentos que constam no MCPSE. Contudo, por se tratar de uma nova tecnologia, ainda não está descrito de forma explícita no manual. Em sua composição, tem-se um banco de baterias, um sistema de gerenciamento central das baterias, sistema de gerenciamento de string, uma unidade de monitoramento das baterias e as demais conexões. De acordo com o manual, os sistemas de controle e supervisão do BESS se adequam tal como os painéis de proteção, medição, automação e QCOM de subestações, conforme o item “SISTEMA DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E AUTOMAÇÃO”, página 115 do Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os incentivos fiscais, para atrair o consumidor a procurar fontes de energia limpa, causou uma alta procura para a instalação de sistemas solares. Contudo, tal estímulo para a redução dos impactos ambientais, notavelmente, não proporcionou tempo hábil para que as concessionárias pudessem preparar suas redes de distribuição para as condições adversas em casos de sobrecarga e níveis de tensão instáveis. Isso as forçou a buscar meios de impulsionar pesquisas que propusessem solução para os impactos negativos, a fim de manter a qualidade de energia para o consumidor final e não danificar os equipamentos já instalados.

O objetivo real deste trabalho foi colocar em foco alguns dos problemas causados pela exacerbada quantidade de sistemas de geração fotovoltaicos interligados à rede, especificamente, a flutuação de tensão e sobrecarga. Em virtude disso, propor uma solução viável para a problemática pela instalação de um sistema de armazenamento de carga em baterias comercialmente conhecidas por BESS.

Diversas ocorrências no circuito referido neste trabalho, causadas pela sobrecarga do sistema, mostraram como o transformador e outros componentes interligados a ele sofrem avarias e até mesmo danificação integral ou parcial de seu funcionamento. Logo, a proposta de instalação do BESS é mitigar esses danos, pois, ao armazenar a carga excedente, o transformador não teria que operar com tensões e correntes acima de seus valores nominais, prolongando, assim, a sua vida útil. Nesse sentido, os critérios para o fornecimento de uma energia de qualidade, estabelecidos pela ANEEL, são cumpridos.

8 REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo.** ABSOLAR, 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/?fbclid=PAAab-nNeytcvq03CbKeC8a4eRLq9G0a8cglKU4q7iqtvcydn5qKD8UTeVbNY>. Acesso em: 04 de novembro de 2023.

AMARAN ZERO. **Efeitos do fluxo reverso e seus impactos para os sistemas fotovoltaicos.** Amaran Zero, 2023. Disponível em: <https://amaranzero.com.br/blog/efeitos-do-fluxo-reverso-e-seus-impactos-para-os-sistemas-fotovoltaicos>. Acesso em: 09 de agosto de 2024.

ANDRADE, Yuri. **A Sobrecarga de Transformadores de Potência Imersos em Óleo Mineral Isolante: uma Visão Geral dos Principais Impactos e das Boas Práticas Operativas e de Manutenção.** O Setor Elétrico, 2023. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/a-sobrecarga-de-transformadores-de-potencia-imersos-em-oleo-mineral-isolante-uma-visao-geral-dos-principais-impactos-e-das-boas-praticas-operativas-e-de-manutencao/#:~:text=Portanto%2C%20o%20primeiro%20impacto%20da,remanescente%20do%20transformador%20de%20pot%C3%Aancia>. Acesso em: 13 de julho de 2024.

BANDEIRA, Danielle. LUCAS, João. MACHADO, Rodrigo. MELO, Michelle. **Análise do avanço da geração distribuída no Brasil.** Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/535>. Acesso em: 02 de novembro de 2023.

BRASIL. **Agência Nacional de Energia Elétrica.** Brasil ultrapassa marca de 10 GW em micro e minigeração distribuída. 31 de março de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/brasil-ultrapassa-marca-de-10-gw-em-micro-e-minigeracao-distribuida>. Acesso em: 02 de novembro de 2023.

BRASIL. **Agência Nacional de Energia Elétrica.** Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxliwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 26 de novembro de 2023.

BRASIL. **Agência Nacional de Energia Elétrica.** Manual de controle patrimonial do setor elétrico MCPSE - MCPSE. 11 de agosto de 2015. Acesso em: <https://antigo.aneel.gov.br/documents/656815/14887121/MANUAL+DE+CONTROL+E+PATRIMONIAL+DO+SETOR+EL%C3%89TRICO+-+MCPSE/3308b7e2-649e-4cf3-8fff-3e78ddeb98b>. Acesso em: 16 de setembro de 2023.

BRASIL. **Agência Nacional de Energia Elétrica.** Resolução Normativa ANEEL Nº 1.009. 22 de março de 2022. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20221009.pdf>. Acesso em: 13 de outubro de 2023.

BRASIL. **Agência Nacional de Energia Elétrica.** Procedimentos de Distribuição de

Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. 01 de janeiro de 2017. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo8_Revisao_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19. Acesso em: 08 de agosto de 2023.

BURATTI, Rafael. **Reguladores de tensão em redes elétricas com alta penetração de cargas não lineares**. 2016. 139. UNESP, Ilha Solteira, 2016.

DESSBESELL, Cristina. MOREIRA, Jean. MULLER, Nathaly. CAMPOS, Maurício. **Impacto da Geração Distribuída no Sistema Elétrico de Potência**. Salão do Conhecimento, 2021.

DIAS, Marcos. **Geração distribuída no Brasil: Oportunidades e barreiras**. 2005. 143. UNIFEI, Itajubá, 2005.

FREITAS, Wesley. JABBOUR, Charbel. **O estudo de caso(s) como estratégia de pesquisa qualitativa: fundamentos, roteiro de aplicação e pressupostos de excelência**. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_122_790_15342.pdf. Acesso em: 01 de novembro de 2023.

FROSSARD, Fábio. **Tudo sobre Pesquisa Exploratória Qualitativa**. Disponível em: <https://alunoexpert.com.br/pesquisa-exploratoria-qualitativa/#:~:text=A%20fun%C3%A7%C3%A3o%20da%20pesquisa%20explorat%C3%B3ria,completa%20o%20problema%20de%20pesquisa>. Acesso em: 01 de novembro de 2023.

GOMES, Magno. VIVENZA, Stefano. **Energia, geração distribuída e o princípio da segurança jurídica**. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/23417>. Acesso em: 28 de outubro de 2023.

HOTTINGER. **Definição de um analisador de energia**. HBK. Disponível em: <https://www.hbm.com/pt/8099/analizador-de-energia-principio-de-operacao/#:~:text=Os%20analisadores%20de%20energia%20podem%20detectar%20digitalmente%20os%20ciclos%20de,e%20a%20corrente%20do%20sistema>. Acesso em 10 de julho de 2024.

IRENA. **A expansão da capacidade de geração de energia renovável em 2022 confirma a tendência de crescimento das energias renováveis frente ao declínio dos combustíveis fósseis**. Irena, 2023. Disponível em: <https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Mar/Record-Growth-in-Renewables-Achieved-Despite-Energy-Crisis-PT>. Acesso em: 02 de novembro de 2023.

IARONKA. Odirlan. **O que pode acontecer com transformadores de potência quando expostos ao fluxo reverso de energia?** Trinse. Disponível em: <https://trinse.net/o-que-pode-acontecer-com-transformadores-de-potencia-quando-expostos-ao-fluxo-reverso-de-energia/#:~:text=Um%20fluxo%20reverso%20no%20transformador,a%20falha%20diel%C3%A9trica%20do%20equipamento>. Acesso em: 13 de julho de 2024.

LOPES, Amós. LUCCA, Pedro. **Análise da eficácia do uso de reguladores de baixa tensão na melhoria dos níveis de tensão ocasionados por microgeração distribuída.** 2023. 49. IFTO, Palmas 2023.

MANLY. **Qual é a Diferença Entre Bateria de Chumbo-Carbono e Bateria de Chumbo-Ácido.** Manly, 2021. Disponível em: <https://pt.manly-battery.com/info/what-is-the-difference-between-lead-carbon-bat-63835521.html>. Acesso em: 12 de agosto de 2023.

MARTINS, Samara. **Programa Palmas Solar estabelece incentivos ao desenvolvimento tecnológico.** Prefeitura de Palmas, 2015. Disponível em: <https://www.palmas.to.gov.br/portal/noticias/programa-palmas-solar-estabelece-incentivos-ao-desenvolvimento-tecnologico/8562/>. Acesso em: 02 nov. 2023.

MENEZES, Mateus. SANTOS, Fernando. SANTOS, Rafaela. SILVA, Larissa. **Crescimento da geração distribuída no Brasil e correlação entre os estados.** RMS. São Paulo – SP, v. 10, n. 3, p. 143-158, Set/Dez., 2020.

MOURA, Baterias. **Sistema de Armazenamento de Energia - BESS.** MOURA, 2023. Disponível em: <https://www.moura.com.br/produtos/bess>. Acesso em: 10 de agosto de 2023.

MOURA, Baterias. **Por dentro do Moura BESS.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=yvxOnNdMNik>. Acesso em: 08 de setembro de 2023.

MOURA, Baterias. **BATERIA MOURA SOLAR SÉRIE MS.** Disponível em: https://www.moura.com.br/produtos/estacionarias?gclid=CjwKCAiAvJarBhA1EiwAGgZl0FGaSeviV9PwqeKwonOlxRAaUtHLno1RedabFkfxstXg9KnZwddLNRoCe7cQAvD_BwE&utm_medium=cpc&utm_content=Solar&utm_source=search&utm_campaign=search_rsm_solar. Acesso em: 03 de setembro de 2023.

NEGREIROS, Gustavo. **Impacto da instalação massiva de sistemas FV distribuídos no nível de tensão da rede de distribuição elétrica de baixa tensão.** Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1013>. Acesso em 08 de outubro de 2023.

PAULILLO, Gilson. TEIXEIRA, Mateus. **Flutuações de Tensão.** Capítulo VII. Edição 90. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/09/ed-90_Fasciculo_Cap-VII-Qualidade-de-energia.pdf. Acesso em: 08 de setembro de 2023.

SILVA, Fernando. SILVA, Fernando. **Geração distribuída versus centralizada.** Disponível em: <https://repositorio.ipv.pt/handle/10400.19/350>. Acesso em: 28 de outubro de 2023.

SOLAR PRIME. **Revisão tarifária periódica na Aneel: o que você deve saber sobre ela.** Solar Prime, 2024. Disponível em: <https://solarprime.com.br/revisao-tarifaria-periodica/#:~:text=revis%C3%A3o%20tarif%C3%A1ria%20peri%C3%B3dica%3A%20em%20m%C3%A9dia,conforme%20as%20necessidades%20da%20concession%C3%A1ria>. Acesso em: 12 de agosto de 2024.

SOLAR SUSTAINABLE SOLUTIONS. **Geração de Energia Solar no Tocantins supera marca histórica de 355 megawatts de potência.** Solar Sustainable Solutions, 2024. Disponível em: <https://energia3s.com.br/geracao-de-energia-solar-no-tocantins-supera-marca-historica-de-355-megawatts-de-potencia/>. Acesso em: 30 de agosto de 2024.

VACCARO, Guilherme. MARTINS, Jonatas. MENEZES, Thiago. **Análise estatística da qualidade de níveis de tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica.** PRODUÇÃO. São Leopoldo, RS. volume 21, 539-552, julho/setembro 2011.

VALINOR, Rodrigo. **CAPEX e OPEX: entenda a diferença, como funciona e mais.** Remessa Online, 2024. Disponível em: <https://www.remessaonline.com.br/blog/capex-e-opex/#:~:text=CAPEX%20%C3%A9%20todo%20gasto%20voltado,aluguel%20e%20folha%20de%20pagamento>. Acesso em: 15 de agosto de 2024.

WEG. **BESS Sistemas de Armazenamento de Energia em Baterias.** WEG, 2023. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h0e/h3c/WEG-ESSW-sistema-de-armazenamento-de-energia-50100243-pt.pdf>. Acesso em: 10 de novembro de 2023.