



UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
ENGENHARIA DE ENERGIAS

CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS

O USO DA TELEMEDIÇÃO COMO MÉTODO DE CAPTAÇÃO DE DADOS PARA
A CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.

ANDRÉ LUCAS DOS SANTOS SILVA

Redenção – CE

2021

ANDRÉ LUCAS DOS SANTOS SILVA

O USO DA TELEMEDIÇÃO COMO MÉTODO DE CAPTAÇÃO DE DADOS PARA
A CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Energias da Universidade da Integração
Internacional da Lusofonia Afro-brasileira
Campus Palmares como requisito Parcial
para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Energias.

Orientador:

Francisco Olímpio Moura Carneiro

Redenção – CE

2021

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Silva, André Lucas Dos Santos.

S578u

O uso da telemedição como método de captação de dados para a correção do fator de potência / André Lucas Dos Santos Silva. - Redenção, 2021.

50f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Olímpio Moura Carneiro.

1. Energia elétrica. 2. Fator de potência. 3. Capacitores elétricos. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 621.3


ANDRÉ LUCAS DOS SANTOS SILVA

**O USO DA TELEMEDIÇÃO COMO MÉTODO DE CAPTAÇÃO DE DADOS PARA
A CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.**

Monografia apresentada como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Energia, pela Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, UNILAB – Campus dos Palmares

Aprovada em:

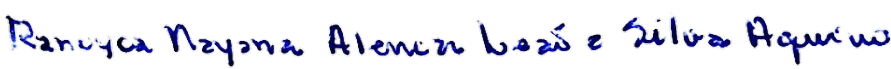
BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Francisco Olimpio Moura Carneiro (Orientador)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Professor do Magisterio Superior
Instituto de Engenharias e Desenvolvimento
Sustentável - SIAPE: 1148304


Profa. Dra. Lúcia Maria Carvalho Sousa Cordeiro

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)


Profa. Dra. Ranoyca Nayana Alencar Leão E Silva Aquino

Profa. Dra. Ranoyca Nayana Alencar Leão E Silva Aquino

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Dedico o presente trabalho aos meus pais, e a todos que me apoiaram no decorrer da graduação dentro e fora da Universidade.

AGRADECIMENTOS:

A Deus, por ter trilhado esse caminho na minha vida, agradeço por me ter dado forças nas horas mais difíceis.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e tornaram possível um filho de um pedreiro e de uma costureira se tornar um engenheiro.

A todos os amigos que fiz ao longo do curso, em especial Bruno França, Francisca Viviane e Marcos Venícios, guardarei nossos momentos juntos para toda a vida, dos estudos intensos as brincadeiras descontraídas.

Aos professores que me proporcionaram, durante toda a graduação, todo o conhecimento necessário para a realização desse sonho, em especial o professor Dr. Francisco Olímpio Moura Carneiro, por ter aceitado a tarefa de orientar-me neste trabalho. Sua ajuda foi de grande importância.

A minha namorada Rosiane Santiago, que me incentivou todos os dias, sempre acreditando em meu potencial.

“Sem educação corremos o perigo horrível e mortal
de levar a sério as pessoas educadas.”

G. K. Chesterton

RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade avaliar o método de Telemedição na obtenção de dados elétricos de uma unidade consumidora para o seu uso prático em serviços de eficiência energética como correção de fator de potência, na comparação com ferramentas específicas para esses serviços, como o analisador de energia. Para a elaboração do trabalho, foi utilizada a Telemedição da concessionária Enel em uma unidade consumidora pertencente ao grupo A, realizada através do método diagnóstico da situação energética da unidade, constatando a necessidade da correção de fator de potência. A partir dos dados obtidos no mesmo método, foi realizado o dimensionamento do banco de capacitores com finalidade de corrigir o baixo fator de potência da unidade. As vantagens e desvantagem do uso do método foram destacadas após a realização do dimensionamento e instalação do banco de capacitores na unidade, que também através da Telemedição foi capaz de realizar a avaliação da situação após a correção do fator de potência. A Telemedição permite de maneira remota e gratuita ter acesso aos dados de qualidade de energia de uma unidade consumidora, dados esses que a própria concessionária utiliza para tarifações e eventuais multas, isso garante aos prestadores do serviço de correção de fator de potência, dados confiáveis e precisos. Porém, a qualidade do serviço realizado através desse método só será possível diante a capacidade técnica do profissional em analisar os dados disponíveis na Telemedição, pois o método não realiza diagnósticos prontos, apenas fornece informações energéticas, como demanda, consumo, fator de potência e energia reativa em gráficos e planilhas.

Palavras-chave: Telemedição, Dimensionamento, Correção do fator de potência.

ABSTRACT

The present work aims to evaluate the Telemetry method in obtaining electrical data from a consumer unit for its practical use in energy efficiency services such as power factor correction, in comparison with specific tools for these services, such as the analyzer energy. For the elaboration of the work, the Enel concessionaire's Telemetry was used in a consumer unit belonging to group A, carried out through the method of diagnosing the energy situation of the unit, verifying the need for power factor correction. From the data obtained in the same method, the capacitor bank was dimensioned in order to correct the unit's low power factor. The advantages and disadvantages of using the method were highlighted after performing the dimensioning and installation of the capacitor bank in the unit, which also through Telemetry was able to carry out the evaluation of the situation after correction of the power factor. Telemetry allows remote and free access to the energy quality data of a consumer unit, data that the utility itself uses for tariffs and eventual fines, this guarantees the power factor correction service providers, reliable and accurate. However, the quality of the service performed through this method will only be possible given the professional's technical ability to analyze the data available in Telemetry, as the method does not perform ready diagnoses, it only provides energy information, such as demand, consumption, power factor and energy reactive in charts and spreadsheets.

Keywords: Telemetry, Sizing, Power factor correction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - FP unitário, tensão (V) em fase com a corrente (I).....	18
Figura 2 - Circuito simples de uma carga indutiva.....	20
Figura 3 - Fasores de tensão e corrente associados com a carga.....	24
Figura 4 - Triângulo de potências.....	25
Figura 5 - FP Indutivo, tensão (V) antecipada em relação a corrente (I)	27
Figura 6 - FP Capacitivo, corrente (I) antecipada em relação a tensão (V)	27
Figura 7 - Medidor LandisGyr E750.	28
Figura 8 - Medidor Minipa ET-5062.....	31
Figura 9 - Página de acesso ao gerenciamento energético	33
Figura 10 - Página de boas-vindas.....	33
Figura 11 - Abas da lateral da página	34
Figura 12 - Fator de potência mensal antes da correção.....	35
Figura 13 - Fator de potência diário antes da correção.....	36
Figura 14 - Energia reativa excedente após a correção do fator de potência	37
Figura 15 - Fator de potência mensal após a correção	39
Figura 16 - Fator de potência diário após a correção	39
Figura 17 - Energia reativa excedente antes da correção do fator de potência	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores inerentes a resistência elétrica.	19
Quadro 2 - Relação potência reativa com fator de potência.....	23
Quadro 3 - Principais característica de um analisador de energia elétrica	30
Quadro 4 - Principais vantagens e desvantagens do método de Telemedicação	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensionamento de potência reativa do banco de capacitores	37
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente alternada
Cap	Capacitivo
CC	Corrente contínua
COELCE	Companhia Energética do Ceará
ENEL	Ente nazionale per l'energia elettrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FP	Fator de potência
$\text{Im}(Z)$	Imaginário da impedância
Ind	Indutivo
IEC	International Electrotechnical Commission
PC	Computador pessoal
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
$\text{Re}(Z)$	Real da impedância
RMS	Root Mean Square
UNISEPE	União das Instituições de Serviço, Ensino e Pesquisa
TCC	Trabalho de conclusão de curso
TI	Tecnologia da Informação
TRMS	True RMS
UL	Underwriters Laboratories

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

θ	Ângulo do fator de potência
ϕ_1	Arco cosseno do fator de potência verificado
ϕ_2	Arco cosseno do fator de potência desejado
Ω	ohm
ω	Velocidade angular
C	Capacitância
F	Farad
I	Corrente
I_L	Corrente na carga indutiva
I_{RMS}	Corrente eficaz
j	Unidade imaginária
KVAr	Quilovolt-ampère-reactivo
kVArh	Quilovolt-ampère-reactivo-hora
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
L	Indutância
P	Potência ativa
Q	Potência reativa
Q_C	Potência reativa do capacitor
$Q_{C(380V)}$	Potência reativa do capacitor de tensão nominal de 380 V
$Q_{C(440V)}$	Potência reativa do capacitor de tensão nominal de 440 V
R	Resistência
S	Potência aparente/complexa
V	Tensão
VA	Volt–Ampere
V_{RMS}	Tensão eficaz
W	Watts
X	Reatância
Z	Impedância

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Justificativa	15
1.2. Objetivos.....	16
1.2.1. Objetivo Geral	16
1.2.2. Objetivos Específicos	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. Cargas	18
2.1.1. Carga Resistiva	18
2.1.2. Carga Indutiva	19
2.1.3. Carga Capacitiva.....	20
2.1.4. Representação Fasorial e Impedância	21
2.2. Potência ativa	22
2.3. Potência reativa.....	22
2.4. Potência aparente.....	23
2.5. Fator de potência	24
2.6. Correção do fator de potência	26
2.7. Métodos para obtenção de dados	28
2.7.1. Telemedicação.....	28
2.7.2. Analisador de Energia Elétrica	29
3. ESTUDO DE CASO.....	32
3.1. Descrição do empreendimento.....	32
3.2. Levantamento dos dados.....	32
3.2.1. Análise do fator de potência	34
3.3. Dimensionamento do banco de capacitores.....	36
3.4. Resultados e discussões	38
4. CONCLUSÃO.....	42
REFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos séculos o homem veio explorando de maneira desordenada os recursos naturais e consumindo de maneira irracional. Isso tem gerado consequências negativas para a humanidade como a crise energética vivenciada atualmente (UNISEPE, 2015). A crise energética surgindo juntamente com a expectativa de aumento de consumo de eletricidade nos próximos anos resume o atual desafio desse setor no Brasil e no mundo. Muitos países estão enfrentando dificuldades para suprir a demanda crescente de energia de suas populações e, ao mesmo tempo, fornecer recursos energéticos para suprir seu crescimento econômico (ALTOÉ, 2017).

A preocupação com a segurança energética e o impacto ambiental decorrentes da expansão do consumo de eletricidade vem induzindo a diversificação da matriz energética brasileira com o aproveitamento de fontes alternativas de energia renovável (PINTO, 2017). Porém, o uso eficiente da atual produção de eletricidade é também um aspecto a ser aprimorado. Diante desse cenário, segundo o Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, PROCELINFO (2020), a melhoria da eficiência energética dos sistemas é um dos fatores importantes para sairmos dessa crise em que nos encontramos.

Com o tema eficiência energética ganhando força no debate público, a qualidade da energia elétrica tem sido tema de interesse de concessionárias, clientes, fabricantes, órgãos reguladores, universidades e centros de pesquisa (MERTENS JR, 2016). O mercado de eficiência energética se propaga e se estabelece como uma demanda real da sociedade, incentivos governamentais ou multas de concessionárias por uso indevido de energia elétrica, intensifica ainda mais essa ascensão desse setor.

A correção do fator de potência faz parte dos serviços de eficiência energética. Corrigir o fator de potência é fundamental em qualquer instalação industrial. Quedas de tensão, perdas, sobrecargas são algumas das consequências de um fator de potência baixo numa instalação (ANDRADE, 2018). A prestação desse serviço é essencial. Além da multa imposta pela fornecedora de energia, pela não correção do fator de potência, haverá a otimização no uso das instalações elétricas da empresa. (DE OLIVEIRA, 2019). A expansão desse mercado acarretará em mais uma solução para o atendimento da demanda crescente de energia elétrica em conjunto com o crescimento da preocupação ambiental.

O valor do fator de potência deve ser calculado a partir dos valores registrados das potências ativa e reativa ou das respectivas energias (ANEEL, 2018). Adquirir dados precisos

e confiáveis de qualidade de energia da unidade consumidora para correção de fator de potência é fundamental. Desenvolver capacidade de medição dos fenômenos foi o passo inicial de muitos agentes para promover um melhor entendimento de causas, consequências, níveis de emissividade, de sensibilidade e busca de formas de mitigação de problemas na qualidade da energia (MERTENS JR, 2016).

Ferramentas como analisadores de energia ou dispositivos de medição usados pelas concessionárias conhecidos como Telemedição permitiram aos prestadores de serviços de correção de fator de potência mais métodos de obtenção de dados destinados a elaboração de um bom planejamento no dimensionamento dos bancos de capacitores. A Telemedição disponibiliza dados menos detalhados e completos em comparação ao analisador de energia, porém, o uso de suas informações é feito de maneira digital e gratuita.

Este trabalho tem como finalidade analisar o método da Telemedição como principal ferramenta de captação de dados, realizando um estudo de caso em uma unidade consumidora pertencente ao grupo A. As informações elétricas foram adquiridas através do uso da Telemedição para a realização do diagnóstico do comportamento elétrico da unidade, para o dimensionamento e instalação do banco de capacitores na correção do fator de potência, para a análise da efetividade da correção e com isso elabora discussões sobre os resultados do seu uso prático na substituição do uso de ferramentas como o analisador de energia.

1.1. Justificativa

No dimensionamento, montagem e instalação de um banco capacitor com finalidade de correção de fator de potência é importante a obtenção de dados confiáveis que garanta um bom resultado final, em conjunto com um baixo custo na obtenção dos mesmos. De acordo com a PROCEL INFO (2020), as iniciativas de eficiência energética, apesar dos benefícios já comprovados, ainda sofrem dificuldades de conseguir investimentos para viabilizá-los, sobretudo devido à característica de retorno a médio e longo prazos.

O aumento de custo com uso de equipamentos para a obtenção de dados completos e confiáveis, acaba que impossibilitando a acessibilidade nas prestações de serviços referentes a correção do fator de potência, fazendo com que o serviço seja de alto custo, ou nos casos onde os dados não são obtidos de maneira precisa, sejam serviços de baixa qualidade, ou seja, a correção do fator de potência seja incorreta, com o dimensionamento equivocado dos capacitores instalados.

Em 2019, a oferta interna de energia registrou um acréscimo de 1,4% em relação ao ano anterior, com contribuição significativa das fontes renováveis (EPE, 2020). A procura por serviços de eficiência energética como correção do fator de potência tende aumentar a cada ano, ao mesmo passo, que as concessionárias pressionam os clientes a seguirem a legislação vigente. O fator de potência de referência, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras do grupo A, o valor de 0,92 (BRASÍLIA, 2011). Valores de fator de potência abaixo do que é definido em legislação acarreta em elevação de tarifa ou aplicação de multas. O baixo fator de potência eleva o valor do kWh da conta de energia elétrica, portanto é preciso mantê-lo o mais próximo possível de 1 (ANDRADE, 2018).

Quando ocorre erros na coleta de informações do sistema elétrico, o dimensionamento será comprometido e o resultado esperado não será satisfatório, acarretando em um investimento, que somente no final da instalação, demonstra não ter sido bem sucedido. Segundo o Blog CONSELT vinculada a Universidade Federal de Uberlândia (2020), definiu que dentro de um projeto de instalações elétricas de médio a grande porte, a correção do fator de potência irá trazer diversos benefícios, dentre eles a economia e melhoria nas funcionalidades dessas instalações.

Um método que auxilia na obtenção de dados de qualidade de energia, específico para uma unidade consumidora, é a Telemedição. Diversas empresas de instrumentação e controle surgiram com equipamentos e sistemas que possibilitaram o monitoramento energético dos consumidores pertencentes ao Grupo A, com fornecimento em tensão superior ou igual a 2,3kV (ALVES, 2019). O consumidor tem a possibilidade de consultar seus dados energéticos em um banco de dados digital compostos de gráficos e relatórios, conhecido como memória de massa.

O relatório de memória de massa contém as grandezas registradas pelo medidor eletrônico utilizado pela concessionária para medição e faturamento (MARCHI, 2019). Os dados de demanda, de consumo, de fator de potência e de energia reativa, são todos disponibilizados na memória de massa da unidade consumidora, que através do uso da Telemedição o monitoramento desses dados se tornou possível.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como principal objetivo avaliar o método de Telemedição na obtenção de dados energéticos de uma unidade consumidora, usada como ferramenta no dimensionamento de capacitores para correção do fator de potência de uma instalação elétrica, levantando as vantagens e desvantagens da adoção desse método.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar a obtenção de dados através da Telemedição em uma unidade consumidora;
- Realizar o dimensionamento de um banco capacitor para correção do fator de potência com os dados obtidos da Telemedição;
- Avaliar se o método de Telemedição é eficiente para o uso na correção do fator de potência;
- Mostrar as vantagens e desvantagens existentes na obtenção de dados por Telemedição.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

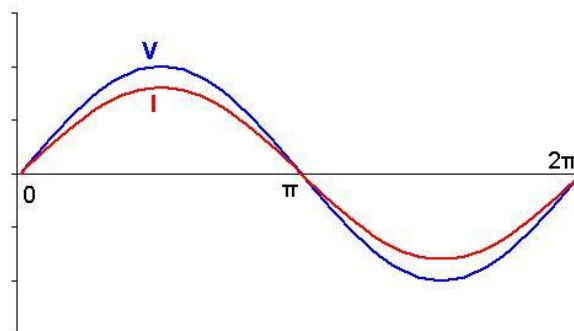
2.1. Cargas

Quando a eletricidade flui por um circuito, existem pontos no circuito chamados de cargas, onde a energia é retirada. Cargas, em essência, são objetos que usam eletricidade. (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2021). Dentre os componentes elétricos existentes, as cargas são aquelas que estão presentes em todo tipo de sistema elétrico, seja apresentando aspectos lineares ou não lineares. As cargas se caracterizam por demandar potência e absorver energia elétrica do sistema (MARCHI, 2019). A rede elétrica tem três tipos de cargas. Elas são classificadas como: resistiva, indutiva e capacitiva. Cada uma delas apresenta características específicas (ALUGAGERA, 2020)

2.1.1. Carga Resistiva

Os materiais em geral possuem comportamento característico de oposição ao fluxo de carga elétrica. Essa oposição se deve às colisões entre elétrons que compõem o material. (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). Dependendo do material essa característica resistiva muda de intensidade. A carga resistiva é considerada a mais comum dentro de um sistema elétrico, uma vez que todo equipamento conta com uma resistência interna em seus circuitos eletrônicos (ALUGAGERA, 2020). Conectar uma carga resistiva ao sistema significa que a corrente e a tensão mudarão de polaridade em fase, ou seja, sincronizadas, gerando um fator de potência unitário, em que a energia flui numa mesma direção através do sistema em cada ciclo (TECNOGERA, 2015). A figura a seguir expressa o comportamento de uma carga resistiva.

Figura 1 – FP unitário, tensão (V) em fase com a corrente (I).



Fonte: Site da DMESG Soluções em TI, Entendendo e corrigindo o fator de potência, (2016).

Segundo Sadiku, Alexander e Musa (2014) a propriedade física de resistência é ditada por quatro fatores, sendo elas expressa no quadro a seguir.

Quadro 1 – Fatores inerentes a resistência elétrica.

Propriedade do material	Cada material irá se opor ao fluxo de corrente diferentemente.
Comprimento	Quanto maior for o comprimento, maior será a probabilidade de colisões e, por isso, maior a resistência.
Área seccional	Quanto maior a área, mais fácil será para os elétrons fluírem, por isso, menor será a resistência.
Temperatura	Tipicamente, para os metais, à medida que a temperatura aumenta, a resistência aumenta.

Fonte: Adaptado do livro Análise de circuitos elétricos com aplicações, SADIKU; ALEXANDER; MUSA (2014).

Cargas resistivas dissipam calor com a passagem de corrente, logo, o calor produzido é o produto da dissipação de potência ativa sobre o mesmo. Exemplos de cargas resistivas são os aquecedores elétricos em geral, lâmpadas incandescentes, dentre outros.

2.1.2. Carga Indutiva

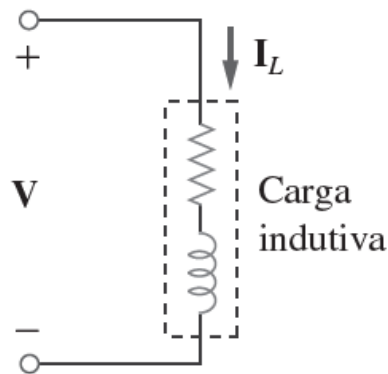
Qualquer condutor de corrente elétrica possui propriedades indutivas e pode ser considerado como um indutor. Mas a fim de aumentar o efeito indutivo, um indutor real é normalmente construído em forma de bobina cilíndrica com muitas espiras de condutor de fio (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). As cargas indutivas, geralmente utilizadas em motores e transformadores, criam campos magnéticos pelas bobinas existentes nos equipamentos que estão ligados a ela, produzindo potência reativa com onda de corrente atrasada em relação à tensão (TECNOGERA, 2015).

Esse tipo de carga apresenta características próprias na sua aplicação prática. Os circuitos indutivos tendem a ser grandes e geralmente dependem de uma bobina ou outro sistema de roteamento para armazenar e canalizar energia e, como consequência, a maioria é encontrada em aparelhos industriais e de serviço pesado. (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2021). Quando comutadas, as cargas indutivas podem causar tensões excessivas. Alguns exemplos de cargas

indutivas incluem transformadores, motores e engrenagem de controle enrolada. (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2021).

A figura 2 descreve a simplificação de uma carga indutiva, representada por uma resistência, inerente a qualquer dispositivo, e uma bobina indutiva, capaz de gerar campo magnético na passagem do I_L (corrente na carga indutor).

Figura 2 – Circuito simples de uma carga indutiva.



Fonte: Livro Análise de circuitos elétricos com aplicações, SADIKU; ALEXANDER; MUSA (2014).

2.1.3. Carga Capacitiva

Um sistema elétrico é capacitivo quando tem a presença de capacitores durante o percurso da corrente elétrica (TECNOGERA, 2020). Uma carga capacitiva provoca a antecipação da corrente em relação a tensão, isso significa que o pico da curva da corrente é formado antes do pico da curva da tensão. O capacitor é um dos componentes eletrônicos mais utilizados devido a sua característica de se opor à variação de tensão, de bloquear a passagem de corrente e armazenar carga elétrica ou energia. (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). Suas características proporcionam diferentes aplicabilidades em circuitos eletrônicos, isso faz com que as cargas eletrônicas de natureza e nível de complexidade distintas tenham capacitores compostos em seu sistema.

As cargas capacitivas, utilizadas em banco de capacitores, lâmpadas fluorescentes e computadores, criam campos elétricos pelos capacitores existentes nestas cargas. (TECNOGERA, 2015). A capacidade de armazenamento energético em seu campo elétrico é denominada como capacitância. Segundo Sadiku, Alexander e Musa (2014), a capacitância é

razão entre a carga sobre uma placa de um capacitor e a diferença de tensão entre as duas placas, medida em farad (F).

De acordo com o manual de segurança e aplicação de Capacitores em Corrente Alternada da fabricante WEG, os capacitores para correção do fator de potência são fabricados em conformidade com a IEC 60831-1/2 e UL 810. Capacitores para motores são destinados a aumentar a eficiência, melhorar o conjugado e auxiliar na partida do motor, com classe de proteção de segurança, de acordo com a IEC 60252-1. Capacitores para iluminação são destinados para correção do fator de potência de reatores eletromagnéticos e tem a função de aumentar a eficiência energética, reduzindo o consumo de energia elétrica. Na eletrônica seu principal uso se dá na estabilização da tensão no circuito.

Um exemplo de carga capacitiva é o flash de uma câmera, que armazena cargas elétricas no capacitor e as dispararam conforme acionado.

2.1.4. Representação Fasorial e Impedância

As senoides são facilmente expressas em termos de fasores, os quais são mais convenientes para trabalhar do que as funções seno e cosseno (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). Um fasor é um número complexo que representa a amplitude e a fase de uma senoide (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). O uso dessa representação simplifica os cálculos e as análises sobre um sistema elétrico devido as mudanças de propriedades utilizadas, passando a ser a magnitude e a fase da senoide, não mais sendo a magnitude, a fase e a frequência. Para isso a relação tensão e corrente é transformada do domínio do tempo para o domínio fasorial. Deve-se ter em mente que a análise fasorial se aplica somente quando a frequência é constante, se aplica à manipulação de dois ou mais sinais senoidais somente se eles tiverem a mesma frequência. (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014).

A relação da tensão e corrente são representadas respectivamente a seguir para cada elemento elétrico passivo (R, L e C).

$$V = RI; \quad V = j\omega LI; \quad V = I/j\omega C$$

A impedância Z de um circuito é a razão entre o fasor tensão V e o fasor corrente I , medida em ohms (Ω). (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014).

$$Z = \frac{V}{I}$$

A impedância representa a oposição exibida pelo circuito ao fluxo de corrente senoidal. Embora a impedância seja a razão de dois fasores, ela não é um fasor, pois não corresponde a uma quantidade com variação senoidal. (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). Sabendo que a impedância é uma grandeza de natureza complexa, sua representação pode ser feita de forma polar e retangular. Sua expressão retangular é descrita a seguir.

$$Z = R + jX$$

$R = \text{Re}(Z)$ é a resistência e $X = \text{Im}(Z)$ é a reatância. A reatância pode ser positiva ou negativa. Diz-se que a impedância é indutiva quando X é positivo e capacitiva quando X é negativo. (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). Sua expressão polar é descrita a seguir.

$$Z = |Z| \angle \theta$$

2.2. Potência ativa

A potência ativa é o tipo de potência que efetivamente produz trabalho. Os equipamentos e as cargas que absorvem este tipo de energia a convertem em serviço útil, dissipando em forma de calor, luz ou cinética. (DE OLIVEIRA, 2019). A carga resistiva melhor representa a potência ativa pois é de sua característica produzir calor ao dissipar energia. Uma carga resistiva (R) absorve potência em todos os momentos, enquanto uma carga reativa (L ou C) absorve zero de potência média. (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014).

A razão entre a energia ativa consumida (kWh) em um intervalo de tempo e este próprio intervalo resulta na demanda ativa média ou potência ativa, expressa em kW. (MARCHI, 2019). O fator de potência é unitário em cargas puramente resistivas, porém, nenhuma carga real é puramente resistiva, isso implica na dissipação não somente da potência ativa, mas também de outras potências que serão descritas a seguir.

2.3. Potência reativa

A potência reativa é a responsável pela geração dos campos elétricos e magnéticos necessários (MENDES, 2019). É consumida normalmente por cargas ou aparelhos construídos com bobinas, como motores de indução, reatores, transformadores, etc. (DE OLIVEIRA, 2019). De acordo com Dos Reis e Kikuchi (2015), a energia reativa circula continuamente entre os diferentes campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho, expressa em quilovolt-ampère-reactivo-hora (kVArh).

Seu efeito reativo pode ser de natureza indutiva ou capacitiva. A maioria das cargas das unidades consumidoras consome energia reativa indutiva, como motores, lâmpadas de descarga, fornos de indução, entre outros (DOS REIS; KIKUCHI, 2015). A potência reativa capacitiva é gerada por motores síncronos super excitados (compensadores síncronos) ou por capacitores (DE OLIVEIRA, 2019).

A parcela de potência reativa é trocada entre a fonte e a carga, e circula no sistema elétrico, sem ser absorvida, apesar de ser comumente denominada potência reativa absorvida pela carga (MARCHI, 2019). Serve como uma medida da capacidade de armazenamento de energia do componente reativo da carga. (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). Sua representação matemática é expressa a seguir, onde o V_{rms} representa a tensão eficaz e o I_{rms} a corrente eficaz. A tensão ou corrente RMS é 0,7 da tensão de pico ou corrente de pico. (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). É o valor de estado CC equivalente que fornece o mesmo efeito.

$$Q = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \text{sen}(\theta_v - \theta_i)$$

A potência reativa está relacionada ao fator de potência de uma carga, o quadro a seguir destaca essa relação entre essas grandezas elétricas.

Quadro 2 – Relação potência reativa com fator de potência.

$Q = 0$	para carga resistiva (fp unitário)
$Q < 0$	para cargas capacitivas (fp adiantado).
$Q > 0$	para cargas indutivas (fp atrasado).

Fonte: Adaptado do livro Análise de circuitos elétricos com aplicações, SADIKU; ALEXANDER; MUSA (2014).

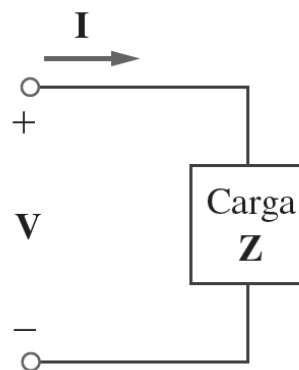
2.4. Potência aparente

A potência ativa e a potência reativa, juntas, constituem a potência aparente, medida em kVA (quilovolt ampère), que é a potência total gerada e transmitida a carga. (DOS REIS; KIKUCHI, 2015). A potência aparente é também descrita como potência complexa. Potência complexa (em VA) é o produto do fasor tensão em RMS e do conjugado complexo do fasor corrente. Como uma grandeza complexa, sua parte real é a potência real P , e sua parte imaginária é a potência reativa Q . (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). A potência aparente é descrita com o símbolo S em termos de valores RMS a seguir.

$$S = V_{rms} \cdot I_{rms}$$

A potência complexa é importante em análise de potência porque ela contém toda a informação relativa à potência absorvida por uma dada carga (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). A seguir é ilustrada uma simplificação didática de uma associação de uma carga que demanda uma potência complexa.

Figura 3 – Fasores de tensão e corrente associados com a carga.



Fonte: Livro Análise de circuitos elétricos com aplicações, SADIKU; ALEXANDER; MUSA (2014).

2.5. Fator de potência

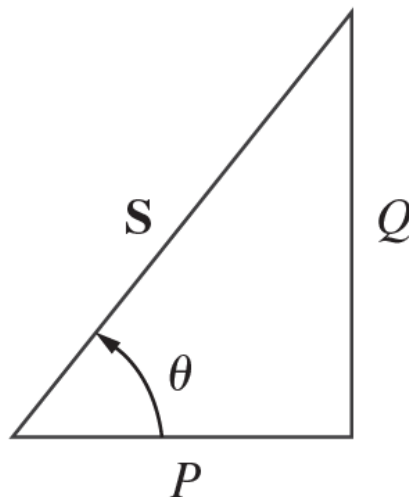
O fator de potência nada mais é que um indicador de eficiência ao qual a energia está sendo utilizada (DE OLIVEIRA, 2019). É definido tecnicamente como a razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas ativa e reativa, consumidas num mesmo período especificado (BRASÍLIA, 2011). O fator de potência é adimensional por ser a razão da potência média e a potência aparente (SADIKU;

ALEXANDER; MUSA, 2014). Expressa da seguinte forma, onde o P é a potência ativa e S a potência aparente.

$$FP = \frac{P}{S}$$

O fator de potência é um dos parâmetros mais estudados na análise de sistemas de potência (FREITAS, 2019). As potências ativa, reativa e aparente podem ser representadas na forma vetorial num triângulo retângulo chamado triângulo de potências (DE OLIVEIRA, 2019).

Figura 4 – Triângulo de potências.



Fonte: Livro Análise de circuitos elétricos com aplicações, SADIKU; ALEXANDER; MUSA (2014).

O triângulo de potência possui quatro itens (potência aparente/complexa, potência real, potência reativa e ângulo do fator de potência) (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). O ângulo do fator de potência é igual ao ângulo da impedância se V é a tensão na carga e I é a corrente através dela (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). O fator de potência é o cosseno da diferença de fase entre tensão e corrente. Ele também é o cosseno do ângulo da impedância da carga (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). Como expresso a seguir.

$$FP = \cos(\theta_v - \theta_i)$$

Conhecer o fator de potência é importante para que haja maior segurança e economia no ambiente (TECNOGERA, 2015). Para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo (ANEEL, 2018).

2.6. Correção do fator de potência

Unidades consumidoras que apresentarem fator de potência fora do intervalo estabelecido pela legislação é incentivada através de multas pela concessionária a buscar corrigi-la. Torna-se relevante a análise da aplicação de sistemas de correção que possibilitem ajustá-lo e mantê-lo acima do limite mínimo permitido pela normalização em vigor (SILVA, 2009). O processo de aumento do fator de potência sem alterar a potência real da carga original é chamado de correção do fator de potência (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). O controle da energia reativa deve ser tal, que o fator de potência da unidade consumidora permaneça sempre dentro da faixa que se estende do fator de potência 0,92 indutivo até o 0,92 capacitivo (DOS REIS; KIKUCHI, 2015).

A cobrança por baixo fator de potência se faz de forma indireta, aplicando-se as tarifas sobre os valores de energia e demandas ativas correspondentes aos valores de energia e demanda reativas excedentes medidos no mesmo intervalo de integração (1 hora). (SILVA, 2009). Note-se que tais consumos reativos são registrados pelos medidores das concessionárias (SILVA, 2009). As unidades consumidoras enquadradas no subgrupo B1 do grupo B não podem ser faturadas pelo excedente de reativos devido ao baixo fator de potência de deslocamento. (ANDRADE, 2018). Segundo a ANEEL as unidades residenciais se enquadram nesse subgrupo.

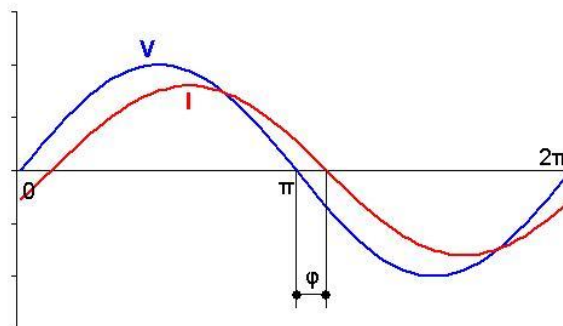
O baixo fator de potência é uma anomalia que quando não tratada, implica diretamente na qualidade de energia elétrica, o baixo valor para este fator é um indicativo de mau aproveitamento da energia elétrica em uma instalação (MENDES, 2019). Existem dois dispositivos que podem ser instalados com o intuito de realizar a correção de fator de potência, a instalação de banco de capacitores e a utilização de motores síncronos.

Os capacitores são utilizados para fornecer energia reativa e corrigir o fator de potência, diminuindo assim as perdas e ajudando a suportar a tensão no sistema (SOUSA, 2019). Os bancos de capacitores utilizados para a correção do fator de potência são utilizados para obter uma

corrente com ângulo de fase adiantado em relação à tensão, para compensar correntes atrasadas, também em relação à tensão, produzidas por uma carga indutiva (SOUSA, 2019).

Fator de potência adiantado significa que a corrente está adiantada em relação à tensão (implicando uma carga capacitativa). Fator de potência atrasado significa que a corrente está atrasada em relação à tensão (implicando uma carga indutiva). (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). A figura 5 demonstra os comportamentos das curvas de tensão e corrente sobre uma carga que demanda energia reativa, ou seja, que apresenta um fator de potência indutivo. É possível notar no eixo do tempo a tensão se elevar primeiro que a corrente.

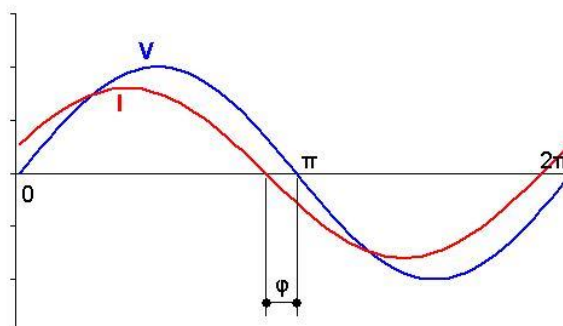
Figura 5 – FP Indutivo, tensão (V) antecipada em relação a corrente (I).



Fonte: Site da DMESG Soluções em TI, Entendendo e corrigindo o fator de potência, (2016).

A figura 6 demonstra o comportamento das curvas de tensão e corrente de uma carga capacitiva. É possível notar a sua característica oposta à da carga indutiva. A curva de corrente começa a subir antes da curva da tensão.

Figura 6 – FP Capacitivo, corrente (I) antecipada em relação a tensão (V).



Fonte: Site da DMESG Soluções em TI, Entendendo e corrigindo o fator de potência, (2016).

De acordo com Feitosa (2011), existem quatro maneiras de corrigir o fator de potência: Correção na entrada de energia de alta tensão (corrige o fator de potência visto da

concessionária, porém com custo elevado); Correção na entrada de energia de baixa tensão (instalada em unidade de cargas diversas, com o uso de banco de capacitores); Correção por grupos de carga. (corrige-se um setor ou um conjunto de máquinas pequenas, junto ao quadro de distribuição que alimenta a carga); Correção localizada (gera potência reativa somente onde é necessário).

Outra saída para a correção do fator de potência são os motores síncronos e o controle da corrente de excitação de campo dos mesmos. Não é muito usual por questão de custo do motor síncrono (MERKLE, 2018).

Empresas fabricantes de capacitores específicos para o uso de correção de fator de potência produzem e disponibilizam manuais para correção do fator de potência, que auxiliam a prestação do serviço.

2.7. Métodos para obtenção de dados

2.7.1. Telemedição

Para as unidades consumidoras do Grupo A, a medição deve ser realizada em média tensão com conjunto de medição polimérico, com medidor e módulo de Telemedição inserido internamente ao conjunto (ENEL, 2019). O uso desses equipamentos de medição, segundo Alves (2019), possibilita as concessionárias e aos clientes do grupo A, a capacidade de monitorar em tempo real os medidores de energia elétrica, localmente e de maneira remota.

Fica a critério da Distribuidora escolher os medidores e demais equipamentos de medição que julgar necessário, bem como sua substituição, quando considerada conveniente ou necessária (ENEL, 2020). A coleta das informações do medidor de qualidade deve ser realizada por Telemedição e o sistema de comunicação do medidor deve ser de responsabilidade financeira do consumidor e aprovado pela Enel Distribuição Ceará (ENEL, 2019). A figura 7 exemplifica um medidor usado pela concessionária Enel que tem a característica de Telemedição.

Figura 7 – Medidor LandisGyr E750.



Fonte: Site da empresa LandisGyr (2021).

Segundo as suas especificações este medidor também tem aplicação em sistemas de média tensão exteriorizado, possibilitando a leitura local dos dados do medidor através do uso de mostrador remoto e telemetria. A Telemedicação pode ser acessada através do site da Coelce (FEITOSA, 2011). Agora administrada pela companhia multinacional Enel. Sua plataforma digital possibilita acompanhar inúmeros dados de comportamento energético da unidade em intervalos de tempo específicos. O sistema de Telemedicação apresenta dados dos meses de forma fechada, ou seja, no mês de abril é apresentado o consumo total do dia primeiro de abril até 30 de abril (FEITOSA, 2011).

O sistema de Gerenciamento Energético identifica situações anômalas ou indesejadas, como falha na entrada do gerador no horário de ponta, ultrapassagens de demanda, de metas de referências de consumo ou mesmo de baixo fator de potência. (ALVES, 2019). Deve funcionar como um tradutor dos dados brutos que fornece insights baseados em análises estatísticas. Seu papel é auxiliar os gerentes das instalações, concessionárias, fornecedores de energia, empresas de serviços de energia e consultores (DIAS, 2019). Os dados obtidos são usados pela concessionária para cobranças de taxas e aplicação de multas, como também pode ser usado para prestação de serviços de eficiência energética como correção de fator de potência, caso o proprietário obtenha o acesso ao sistema. O próprio proprietário pode avaliar as características energéticas da sua unidade, caso tenha capacidade técnica para tal.

2.7.2. Analisador de Energia Elétrica

Analísadores de energia elétrica são ferramentas eletrônicas de alta precisão e alta versatilidade capazes de realizar medições e análises de qualidade de energia de uma instalação elétrica. A qualidade da energia elétrica pode ser definida como a medida de quão bem a energia elétrica pode ser utilizada pelos consumidores. (NEVES; DE MENEZES, 2016). Sua aplicação é diversa pois as funcionalidades existentes no aparelho dispõem ao usuário informações detalhadas de diferentes fenômenos elétricos. O analisador deve ser capaz de analisar desde a frequência fundamental até 40ª ordem harmônica da rede (BORGES, 2020). O quadro 3 descreve as principais características comuns de um analisador.

Quadro 3 – principais característica de um analisador de energia elétrica.

Eficiência do inversor de energia:	Mede simultaneamente a energia de saída CA e a energia de entrada CC para sistemas eletrônicos de energia usando grampo de CC opcional.
Captura de dados PowerWave:	Capta dados rápidos de RMS e exibe meio-ciclo e formas de onda para caracterizar a dinâmica do sistema elétrico.
Calculadora de perda energética:	Medições clássicas de potência ativa e reativa, desequilíbrio e potência harmônica, são quantificados para identificar os custos fiscais de perdas de energia.
Resolução de problemas em tempo real:	Analisa as tendências usando as ferramentas de zoom e cursores.
Visualização de gráficos e geração de relatórios:	Com o software de análise incluído, diante de uma conexão a um computador.

Fonte: Adaptado do TCC de MERKLE (2018).

Todo esse aparato de equipamentos e serviços oferecidos pelo mercado no início do século permitiu que os grandes consumidores pudessem gerenciar a energia elétrica contratada da concessionária. (ALVES, 2019). Há todo um mercado de equipamentos que possuem funcionalidades de monitoramento da qualidade de energia. Normalmente com valores bem elevados, pois devem seguir alguns padrões de fabricação (BORGES, 2020).

Existem vários modelos de diferentes preços e níveis de qualidade, um exemplo de analisador de energia é o medidor Minipa ET-5062 da empresa Minipa com preço em torno de 40 mil reais. As suas funções descritas em seu manual estão listadas a seguir:

- Visualização em tempo real dos valores numéricos de qualquer parâmetro elétrico de sistemas monofásicos, trifásicos 3 fios e 4 fios.

- Análise Harmônica de tensões e correntes até 49ª ordem, Anomalias de tensão, Flicker de tensões de entrada, Desbalanceamento, medições de Inrush e análise de transientes.
- Mostra em tempo real qualquer sinal de entrada e forma de onda, histogramas e gráficos das análises harmônicas e diagramas vetoriais de ângulos mútuos entre tensões e correntes.
- Registro de valores de tensão e corrente TRMS, correspondentes harmônicos, potência ativa, reativa e aparente, fatores de potência e cosseno ϕ , energia ativa, reativa e aparente, anomalias de tensão.
- Salva uma amostra de um instante de valores instantâneos de qualquer parâmetro contido na memória interna do instrumento, compatibilização com PC.

Figura 8 – Medidor Minipa ET-5062



Fonte: Manual de instruções Minipa.

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso tem o objetivo de descrever o uso da Telemedição na obtenção de dados energéticos em uma unidade consumidora específica, sendo assim possível analisar o resultado do método através da sua aplicação real. O conhecimento gerado pelo estudo de caso é diferente do de outros tipos de pesquisa porque é mais concreto, mais contextualizado e mais voltado para a interpretação do leitor (ANDRÉ, 2019). Os dados analisados e usados foram apenas o necessário para o dimensionamento do banco de capacitores e para a verificação do resultado final da instalação. Com isso, possibilitando informações suficientes para a observação das características e para a demonstração da eficácia do método.

3.1. Descrição do empreendimento

Os dados de memória de massa do estudo trata-se de um supermercado de unidade consumidora pertencente ao grupo A, grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV (ANEEL, 2010). Foi realizada a instalação de um banco de capacitor para a correção de fator de potência utilizando o método da Telemedição.

O método foi empregado para a constatação do baixo fator de potência, para o auxílio na obtenção de dados necessário para o dimensionamento do banco de capacitores e para a avaliação do fator de potência corrigido, ou seja, após a instalação do banco. O resultado é desenvolvido diante a análise feita através dos dados energéticos antes da implantação do banco de capacitores e após a instalação do mesmo, possibilitando a formulação de uma discussão do que é perceptível na adoção do método e o quanto o uso da Telemedição auxilia na prestação de serviço de correção do fator de potência de uma unidade consumidora.

3.2. Levantamento dos dados

O Acesso a Telemedição é totalmente digital. Para que seja possível o acesso ao sistema, é preciso que haja a solicitação a concessionária prestadora do serviço o usuário e a senha de acesso. O sistema de gerenciamento energético da Enel, como é nomeado, tem seu acesso livre de encargos. Com o código do usuário e a senha em mãos, o acesso é feito facilmente por um navegador de internet no site gerenciamentoenergeticoce.enel.com.

Figura 9 - Página de acesso ao gerenciamento energético.


Bem vindo ao novo sistema de Gerenciamento Energético GA
 Por favor preencha seus dados no formulário abaixo:
 Entre para ver o sistema em ação

Usuário

Senha


 Recarregar
 Digite o texto da caixa acima:


Acessar

Todos direitos reservados a ENEL

Fonte: Gerenciamento energético da Enel (2021).

Após acessar o site, as boas vindas são dadas na página inicial, nesse momento foi necessário selecionar o tipo de grupo de medição e subgrupo de medição que desejava-se analisar. Nesse ponto é possível visualizar informações do cliente, como nome, ponto de medição e alguns valores de demanda.

Figura 10 – Página de boas-vindas.


[Ajuda](#)
[Sair](#)

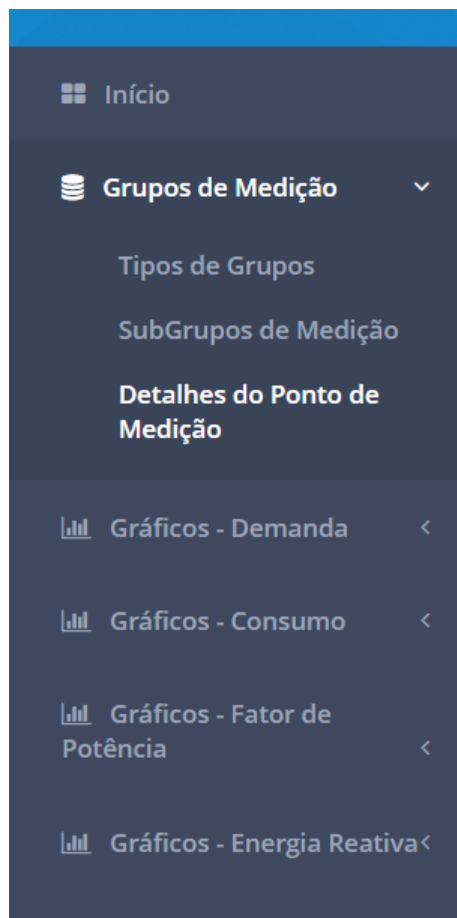
Bem Vindo ao Sistema de Gerenciamento Energético
 Navegue pelo menu para obter as funcionalidades do sistema.

Todos direitos reservados - Enel© 2015
Versão: 1.0.0.0

Fonte: Gerenciamento energético da Enel (2021).

Após esse procedimento, já é possível ter acesso a detalhes técnicos do ponto de medição, como o fabricante e o modelo do medidor do ponto em questão, é possível ter o acesso de todos os dados de qualidade de energia, dispostos nas abas na lateral da página, detalhados em demanda, consumo, fator de potência e energia reativa, organizados em gráficos e planilhas para o período de tempo desejado.

Figura 11 – Abas da lateral da página.



Fonte: Gerenciamento energético da Enel (2021).

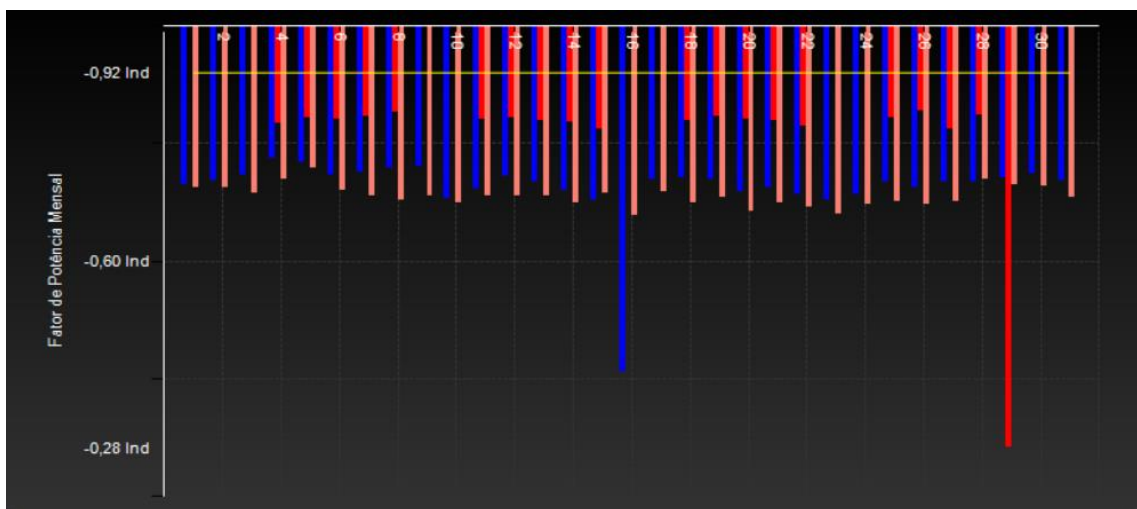
3.2.1. Análise do fator de potência

Inicialmente foi feito a análise do fator de potência para diagnosticar a situação que se encontrava a unidade consumidora. O fator de potência foi obtido na aba de gráficos – fator de potência da Telemedição da Enel, com ela foi possível extrair o gráfico mensal do fenômeno. Durante todo o mês, o fator de potência foi a baixo do limite mínimo exigido de 0,92 indutivo,

apresentando durante esse intervalo mensal o valor mínimo de 0,28 indutivo e máxima de 0,87 indutivo.

Na figura 12 o eixo horizontal representa a escala do tempo, em dias, e o eixo vertical o fator de potência, a linha amarela (linha traçada sobre as barras partindo de -0,92 ind) indica o fator de potência de 0,92 indutivo, níveis acima implica em valores aceitáveis, que torna a unidade consumidora livre de multas, níveis de fator de potência abaixo implica em situação oposta, ou seja, a unidade consumidora passa a receber multa pela concessionária por excesso de energia reativa. O conjunto das três barras representa o consumo total em um dia. A barra de cor azul (a barra a esquerda) representa o nível de fator de potência no período fora de ponta, a barra na cor vermelha (a barra do centro) representa o fator de potência em ponta, já a barra de cor laranja claro (a barra a direita) representa o fator de potência registrado durante o horário capacitivo.

Figura 12 – Fator de potência mensal antes da correção.



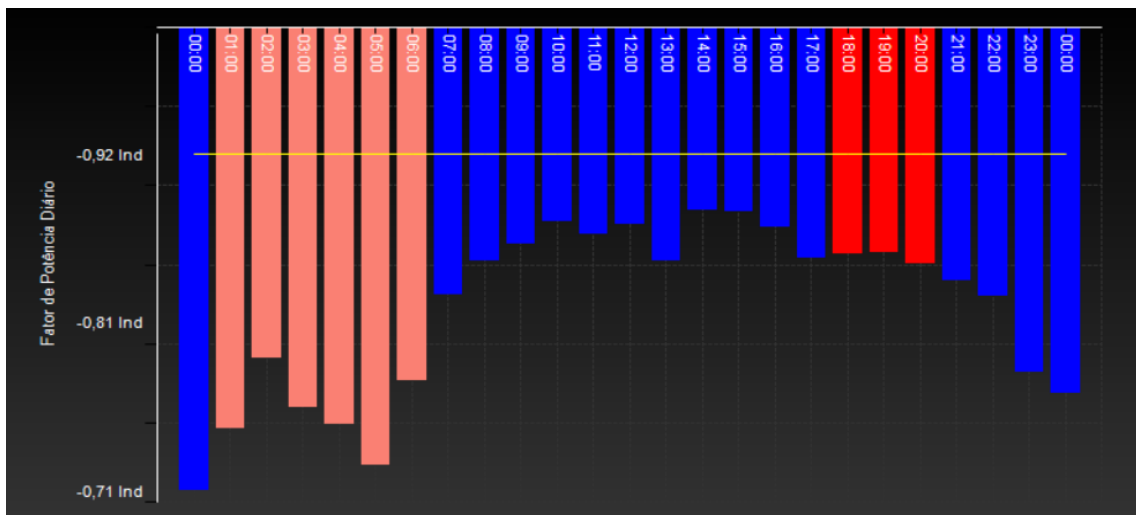
Fonte: Gerenciamento energético da Enel (2021).

Segundo Starosta (2019), o período chamado de capacitivo se refere geralmente de 0h as 6h onde há inversão da regra de fator de potência indutivo para capacitivo evitando que os consumidores injetem potência reativa nas redes das distribuidoras em períodos de baixa carga. O horário de ponta é definido como um período de 3 horas consecutivas, determinado pela distribuidora de acordo com a curva de carga do seu sistema elétrico, sendo este o horário no qual o sistema apresenta maior carregamento. (MARCHI, 2019). O horário fora ponta é o período complementar ao horário de ponta (MARCHI, 2019).

A tarifa de cobrança de excedentes de energia reativa é aplicada aos consumidores do grupo A e tem seu modelo desenvolvido a partir do valor do fator de potência registrado a cada hora do dia nos diversos períodos (ponta, fora de ponta indutivo e capacitivo) durante os dias úteis e finais de semana (STAROSTA, 2019).

A melhor visualização das divisões de cores de barras é feita em um único dia específico, pois cada hora do dia é representado por uma barra em seu nível de fator de potência, cuja coloração varia de acordo com suas definições de horário, a figura a seguir demonstra a divisão das barras e suas cores respectivas.

Figura 13 – Fator de potência diário antes da correção.



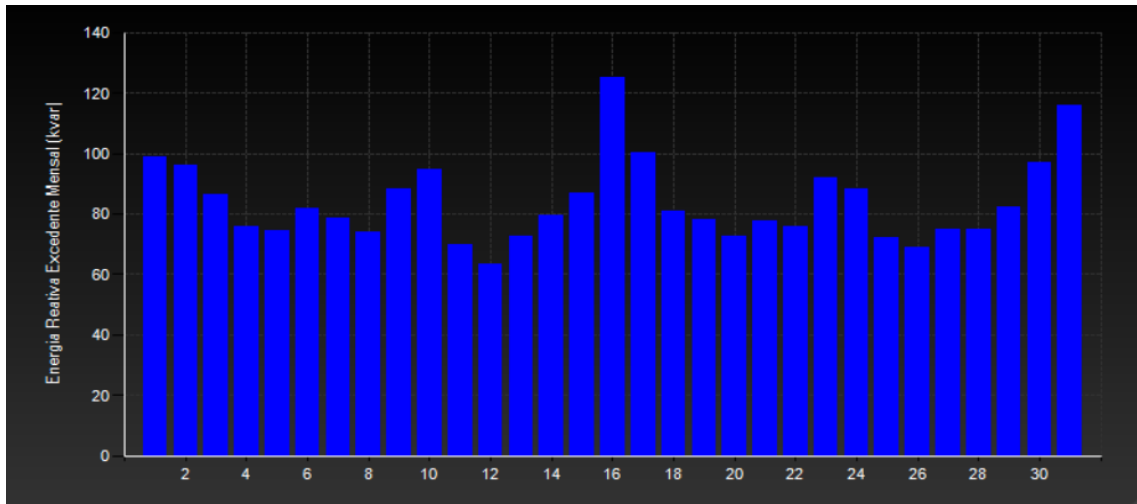
Fonte: Gerenciamento energético da Enel (2021).

3.3. Dimensionamento do banco de capacitores

O baixo valor do fator de potência, implicando na necessidade de correção do fator de potência com o uso de banco de capacitores. Estes bancos suprem a energia reativa demandada pelas cargas, fazendo com que esta energia não seja mais fornecida e cobrada pela concessionária de energia elétrica. (MARCHI, 2019). Para o dimensionamento do banco de capacitores foi preciso analisar o comportamento do gráfico de energia reativa excedente mensal, disposto no gerenciamento energético da Enel, o sistema de Telemedicação da concessionária. Na aba em questão o relatório informou a existência de uma energia reativa excedente de 2.598,96 KVAR no mês anterior a correção do fator de potência. Na figura 14 é

possível constatar o dia de maior excedente registrado do mês, no caso o dia 16 foi o dia que registrou mais de 120 KVAR.

Figura 14 – Energia reativa excedente após a correção do fator de potência.



Fonte: Gerenciamento energético da Enel (2021).

O procedimento seguinte consistiu em verificar no gráfico de demanda ativa diária os valores de potência ativa demandada nos dias da semana do dia 16, fixando um horário específico, em seguida verificou-se os valores de fator de potência nos dias da semana do dia 16 também no horário fixado anteriormente. A potência reativa que o banco de capacitores que fará a correção de fator de potência necessita ter é calculada através das expressões a seguir:

$$\phi_1 = \cos^{-1}(FP \text{ verificado})$$

$$\phi_2 = \cos^{-1}(FP \text{ desejado})$$

$$Q_c = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

O fator de potência desejado deve ser superior ao valor de 0,92, portanto para que haja uma margem que garanta sua correção, foi escolhido o valor de 0,95 como valor meta de correção. Na tabela 1 está registrada os valores verificados na Telemedicação, juntamente com o resultado do cálculo de potência reativa necessária que o banco de capacitores precisou ter para efetuar a correção adequadamente.

Tabela 1 – Dimensionamento de potência reativa do banco de capacitores.

Dias	Horários	Carga P (KW)	FP verificado (Ø1)	FP desejado (Ø2)	Potência reativa (Qc)
12	11:00	50,4	0,870 ind	0,95	11,997 KVAr
13	11:00	53,424	0,866 ind	0,95	13,288 KVAr
14	11:00	60,144	0,853 ind	0,95	17,031 KVAr
15	11:00	55,104	0,846 ind	0,95	16,617 KVAr
16	11:00	55,272	0,830 ind	0,95	18,976 KVAr

Fonte: Autor (2021).

Analisando os resultados de potência reativa para cada dia, optou-se em utilizar o maior valor de potência reativa de 18,976 KVAr. Como um banco de capacitores é sensível a aumento de tensão é recomendado utilizar uma tensão nominal reforçada, ou seja, acima da tensão nominal da rede (380V) (FEITOSA, 2011). Para isso a expressão a seguir é utilizada para encontrar a potência final do banco de capacitores.

$$Q_c(440V) = Q_c(380V) \left(\frac{440}{380} \right)^2$$

$$Q_c(440V) = 25,441 \text{ KVAr}$$

Considerando uma margem que garanta uma correção para maiores oscilações de fator de potência, considerou-se uma potência de 30 KVAr para o banco de capacitores, na qual foi instalado em paralelo a entrada de energia de baixa tensão, portanto, considerando toda a unidade consumidora uma única carga. A instalação de capacitores em paralelo com a carga é a solução mais empregada na correção do fator de potência de instalações industriais, comerciais e dos sistemas de distribuição e de potência (MENDES, 2019). O banco de capacitores quando usado de maneira correta mantém o valor do fator de potência dentro dos limites estabelecidos pela concessionária (MERKLE, 2018).

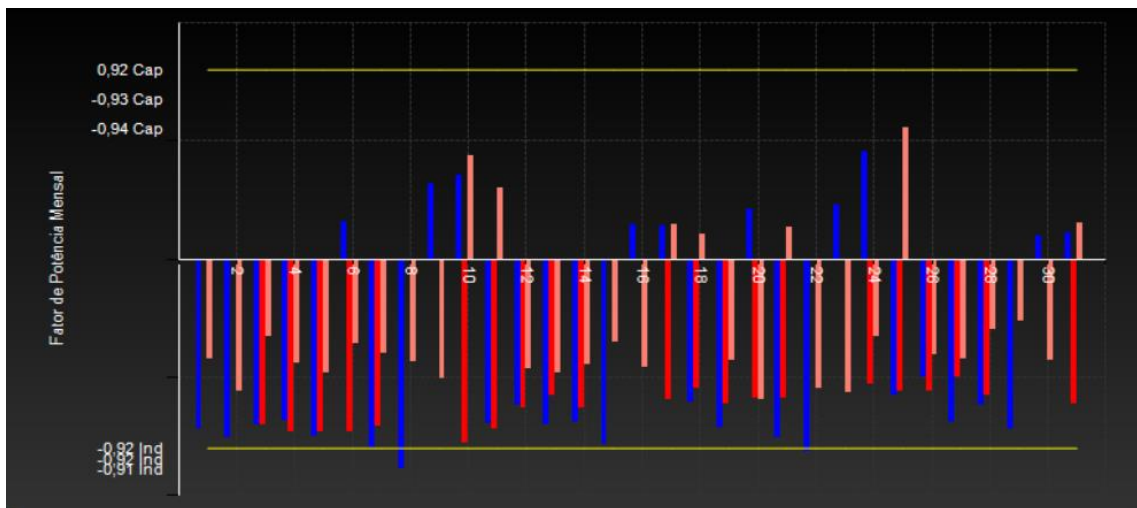
3.4. Resultados e discussões

Após a instalação do banco de capacitores feita na unidade consumidora, de acordo com o que foi planejado no dimensionamento, verificou-se no sistema de gerenciamento energético,

ou seja, no sistema de Telemedição, o comportamento dos parâmetros energéticos da unidade. O seu acesso foi feito do mesmo modo da primeira vez, com o código de usuário e senha que anteriormente já havia sido disponibilizado, acarretando em nenhum gasto com uso da Telemedição.

Na figura 15 é possível verificar o mês posterior a instalação do banco de capacitores, é notória a diferença dos valores de fator de potência apresentados, exibindo somente em dois dias valores fora do exigido pela concessionária. O pior fator de potência registrado foi de 0,87 indutivo, e o melhor fator de potência registrado foi de 0,99 capacitivo.

Figura 15 – Fator de potência mensal após a correção.

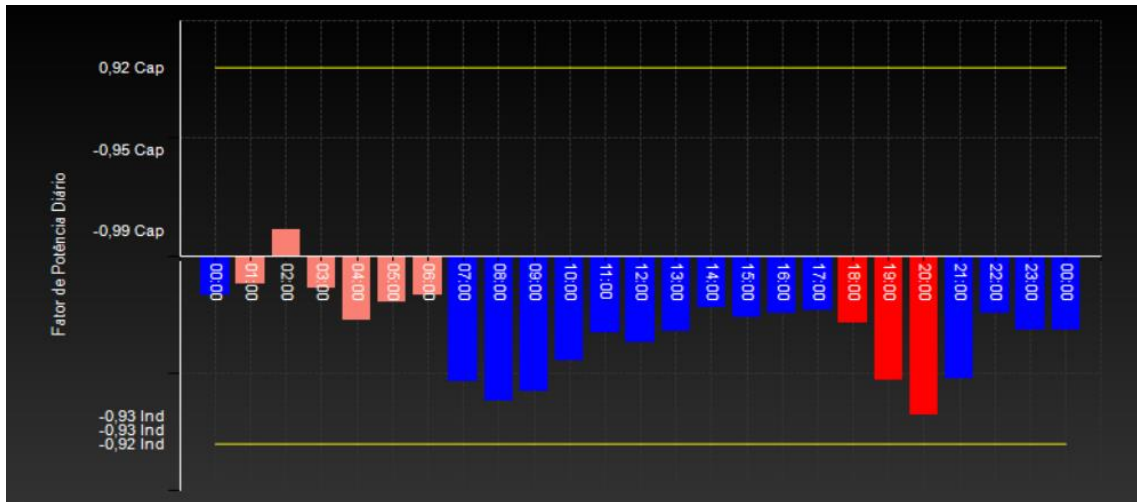


Fonte: Gerenciamento energético da Enel (2021).

Quando o banco de capacitores fornece mais energia reativa que a carga está demandando as barras no gráfico ficam acima da linha central, que representa o fator de potência unitário. As linhas amarelas delimitam os valores aceitáveis pela concessionária, valores indutivos abaixo da linha amarela implica em uma energia reativa indutiva excedente, valores capacitivos acima da linha amarela implica em energia reativa capacitiva excedente.

Analisando o fator de potência em um dia específico após a sua correção, é possível observar a sua oscilação a cada hora. As definições das cores das barras se mantêm as mesmas. O comportamento oscilatório das barras limitados entre as linhas amarelas determina que a correção do fator de potência foi bem sucedido. A figura a seguir demonstra o fator de potência diária após a correção.

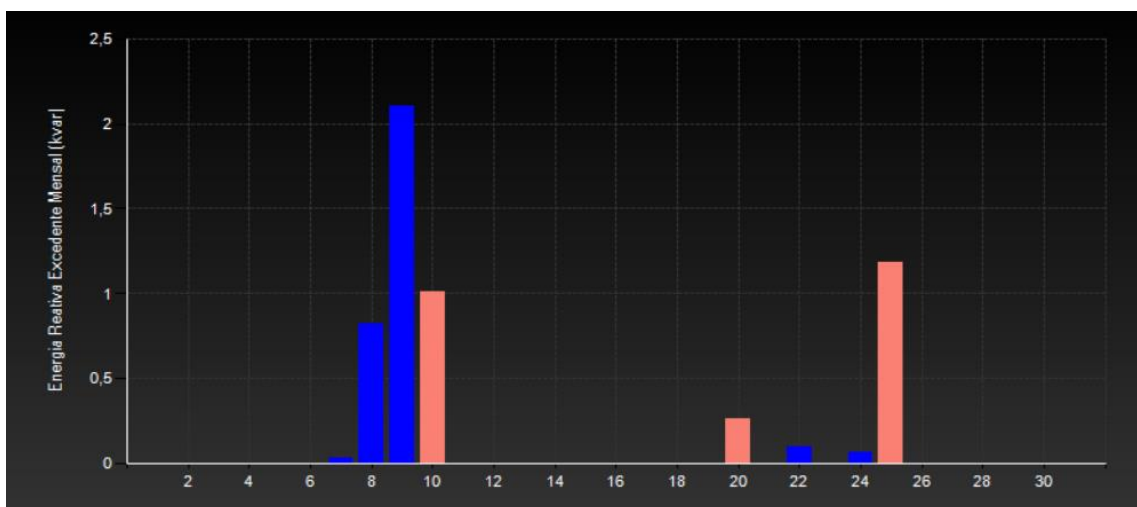
Figura 16 – Fator de potência diário após a correção.



Fonte: Gerenciamento energético da Enel (2021).

A figura 17 demonstra a redução de energia reativa excedente no mês seguinte a correção do fator de potência. A energia reativa excedente total do mês foi de 5,57 KVAR, isso implica em uma redução de 2.593,39 KVAR. Quando há o propósito de correção e acompanhamento de FP, se tem como foco principal a extinção da multa ou a minimização do valor desta (SILVA, 2009). O uso da Telemedicação como método para obtenção de dados para o uso de serviços de correção de fator de potência proporcionou a conclusão desse propósito. Essa medida trará benefícios ao cliente, que terá uma maior economia com a conta de energia, e à concessionária, que não transportará reativos por longos caminhos (TAVEIRA, 2019).

Figura 17 – Energia reativa excedente antes da correção do fator de potência.



Fonte: Gerenciamento energético da Enel (2021).

O estudo de caso de correção de fator de potência com o uso da Telemedição nos dá parâmetros suficientes para elencar as vantagens e desvantagem na utilização desse método para esse fim. O quadro a seguir elucida melhor os pontos observados.

Quadro 4 – principais vantagens e desvantagens do método de Telemedição.

Principais vantagens da Telemedição
Plataforma digital de acesso totalmente gratuito e com 24 horas de disponibilidade;
As informações são as mesmas utilizadas pela concessionária para cobranças e aplicações de multas, garantindo alta precisão e confiabilidade nos dados exibidos no sistema;
Custo zero para prestadores de serviços de correção de fator de potência, incentivando iniciativas de mercado no setor de eficiência energética.
Principais desvantagens da Telemedição
Os parâmetros energéticos são apresentados de maneira simples em gráficos e relatórios, qualquer informação elaborada necessita de manuseio próprio do usuário;
Requer conhecimento técnico em correção de fator de potência para o uso adequado das informações para o dimensionamento correto do banco de capacitores;
Exige domínio básico de informática para a navegação na plataforma.

Fonte: Autor (2021).

4. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido teve como finalidade avaliar o uso do método de obtenção de dados elétricos de uma unidade consumidora chamada Telemedição. Para que houvesse um estudo viável que melhor caracterizasse o método, foi desenvolvido um estudo de caso utilizando o gerenciamento energético da Enel na prestação de serviço de eficiência energética. No caso, foi utilizado para a correção de fator de potência os dados adquiridos com o uso do método da Telemedição que através dela teve aplicação no diagnóstico da unidade consumidora, no dimensionamento de um banco de capacitores para correção do fator de potência e na verificação da efetiva correção do fator de potência em uma unidade consumidora do grupo A.

O desenvolvimento de dispositivos de obtenção de dados energéticos de uma unidade consumidora, não foram implantadas pelas concessionárias com a motivação de substituir equipamentos e ferramentas como analisadores de energia, porém, o uso desse método possibilitou aos prestadores de serviços de eficiência energética expandir sua oferta do serviço de correção de fator de potência, devido à redução de custo na prestação desse serviço. Devido aos preços elevados da maioria dos analisadores de qualidade de energia disponíveis e consequentemente sua baixa disponibilidade (BORGES, 2020).

O uso da Telemedição para obtenção de dados para o dimensionamento de bancos de capacitores para correção de fator de potência se demonstrou viável financeiramente e capaz de fornecer todos os dados necessários. A comparação do uso da Telemedição com a obtenção de dados de um analisador de energia foi capaz de destacar as vantagens e desvantagens no uso de cada método e assim foi possível alcançar o objetivo geral e os objetivos específicos propostos no trabalho. É imprescindível que tais dispositivos de mensuração e correção do fator de potência apresentem exatidão e precisão na coleta dos dados de análise, de modo a permitirem o ajuste apropriado (FREITAS, 2019). As vantagens da Telemedição se destacam em relações as suas desvantagens nessa aplicação, o acesso remoto e totalmente gratuito de informações nas quais a própria concessionária utiliza para tarifação e eventuais multas, consolida o método como confiável e vantajoso para a finalidade proposta no trabalho. Porém, as desvantagens implicam na necessidade, quase que obrigatória, de conhecimento técnico suficiente para que se consiga analisar as informações dispostas na Telemedição.

É salutar a ressalva que o estudo se limita a um serviço de eficiência energética específico, não sendo possível concluir se a Telemedição, somente, é capaz de substituir

ferramentas como analisadores de energia em outras aplicações que não seja para o dimensionamento de banco capacitores de correção de fator de potência. Os dados disponíveis pelo método de Telemedição não entregam diagnósticos prontos, é necessário saber analisar as informações energéticas ali presentes para então fazer um bom uso dos mesmos. Logo, seria necessário um estudo de viabilidade do método para outros serviços de eficiência energética para a constatação de sua eficácia.

Por fim, o que se pode ressaltar é que, esse método veio para ajudar aos prestadores de serviços de eficiência energética, sendo mais uma ferramenta para auxiliar nas soluções de problemas que envolvem a demanda crescente de energia elétrica, conciliada ao apelo ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional De Energia Elétrica - ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional–PRODIST: Módulo 8–Qualidade da Energia Elétrica.** 2018.

Agência Nacional De Energia Elétrica - ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010.** Diário Oficial de 15 de set. 2010, seção 1, p. 115.

ALTOÉ, Leandra et al. **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética.** Estudos Avançados, v. 31, n. 89, p. 285-297, 2017.

O que é carga resistiva, indutiva e capacitiva. ALUGAGERA, 2020. Disponível em <<https://alugagera.com.br/noticias/carga-resistiva-indutiva-capacitiva>>. Acesso em: 20/06/2021.

ALVES, Douglas da Silveira. **Analizador de energia utilizando lógica programável.** 2018.

ALVES, Emanuel Filipe Galdino. **Gerenciamento ótimo da energia para consumidores residenciais e comerciais na tarifa branca.** 2019.

ANDRADE, Matheus César Dornelas. **Correção de fator de potência.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 09, Vol. 06, pp. 75-83. setembro de 2018.

ANDRÉ, M. **O que é um estudo de caso qualitativo em educação?.** Revista da FAEEBA - Educação e Contemporaneidade, v. 22, n. 40, p. 95-103, 16 out. 2019.

BORGES, Ricardo Vieira. **Analizador de qualidade de energia elétrica.** 2020.

BRASÍLIA. **Resolução normativa ANEEL. nº 414/2010 de 09 de setembro de 2010.** Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acessado em 10/06/2021.

Saiba o que é correção de fator de potência e sua importância. CONSELT, 2020. Disponível em <<https://cutt.ly/knFEfuX>>. Acesso em: 13/06/2021.

DE OLIVEIRA, Edemilson et al. **Correção De Fator De Potência Na Empresa Sinal Reciclagem De Resíduos.** Revista TechnoEng-ISSN 2178-3586, v. 1, n. 1, 2019.

DIAS, Ricardo. **Gerenciamento de Energia – Como fazer?**. Cubi Energia, 2019. Disponível em <<https://www.cubienergia.com/gerenciamento-energia/>>. Acesso em: 01/07/2021

ENEL. **Fornecimento de Energia Elétrica a Prédios de Múltiplas Unidades Consumidoras**. Especificação Técnica no. 126, v. 02, 2019.

ENEL. **Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição até 34,5 kV**. Especificação Técnica no. 942, v. 01, 2020.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2020**. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>. Acesso em: 14/06/2021.

FEITOSA, Marcos Viana. **Eficiência Energética Da Superintendência Federal Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento**. 2011.

FILHO, João Mamed. **Instalações Elétrica Industriais**. 9. ed., LTC, 2017.

FREITAS, Antônio AA et al. **Aplicação De Um Método Estatístico Para A Correção Do Fator De Potência**. 2019.

MARCHI, Diego et al. **Projeto e estudo de viabilidade técnica e financeira da correção do fator de potência em indústria têxtil utilizando bancos de capacitores**. 2019.

MENDES, Fábio Da Silva et al. **Implementação de um sistema automático de banco de capacitores para correção de fator de potência para máquinas de corte de bobinas de aço**. Revista TechnoEng-ISSN 2178-3586, v. 1, n. 1, 2019.

MERKLE, Anne. **Análise Da Qualidade De Energia**. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST. 2018.

MERTENS JR, E. A. et al. **Indicadores de Qualidade da Energia Elétrica e sua Correlação com Falhas no Sistema de Distribuição**. 2016.

NEVES, Pedro Rogério Pereira; DE MENEZES, Nágila Ribeiro. **Projeto e Implementação de um Protótipo de Medidor E Analisador De Energia Elétrica Com Controle De Demanda**. REVISTA UNINGÁ REVIEW, v. 28, n. 3, 2016.

PINTO, Lucía Iracema Chipponelli; MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno. **O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais**. Revista Ambiente & Água, v. 12, n. 6, p. 1082-1100, 2017.

Eficiência energética para a retomada do crescimento econômico. PROCELINFO, 2020. Disponível em <<https://cutt.ly/AnMJiPh>>. Acesso em: 13/06/2021.

Carga Indutiva. PORTAL SÃO FRANCISCO, 2021. Disponível em <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/fisica/carga-indutiva>>. Acesso em: 26/07/2021.

DOS REIS, Júlio C.S.; KIKUCHI, George T. **Banco de capacitores para correção de fator de potência em indústria**. TCC, Faculdade de arquitetura, engenharia e urbanismo. Universidade do Vale do Paraíba, 2015.

SADIKU, Matthew NO; ALEXANDER, Charles K.; MUSA, Sarhan. **Análise de circuitos elétricos com aplicações**. AMGH Editora, 2014.

SILVA, Marcos Cesar Isoni. **Correção de fator de potência de cargas industriais com dinâmica rápida**. Dissertação (Mestrado), UFMG. 2009.

SOUSA, Lorena Maria Oliveira de. **Análise da qualidade de energia de um banco de capacitores de uma indústria em Sobral-Ceará**. 2019.

STAROSTA, José. **Aspectos do fator de potência em regime de carga baixa**. O setor elétrico, 2019. Disponível em <<https://www.osestoreletrico.com.br/aspectos-do-fator-de-potencia-em-regime-de-carga-baixa/>>. Acesso em: 10/07/2021.

TAVEIRA, Isabela Maciel. **A influência da geração fotovoltaica no fator de potência de unidades prosumidoras: uma avaliação técnica e financeira**. 2019.

O Que É Uma Carga Resistiva, Indutiva e Capacitiva?. Blog TECNOGERA, 2015. Disponível em <<https://url.gratis/vs27C5>>. Acesso em: 20/07/2021.

O Que É Uma Carga Resistiva, Indutiva E Capacitiva?. Blog TECNOGERA, 2020. Disponível em <<https://url.gratis/0suboo>>. Acesso em: 25/07/2021.

Energia E Crise Energética. UNISEPE, 2015. Disponível em
<https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/28crise_energetica.pdf>. Acesso em: 20/06/2021.