

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

SAMUEL SARMENTO MENDONÇA

Estudo do Impacto da Operação de Bancos de Capacitores na Qualidade de Energia
de Uma Instalação Elétrica Industrial

Ilha Solteira - SP
2023

SAMUEL SARMENTO MENDONÇA

Estudo do Impacto da Operação de Bancos de Capacitores na Qualidade de Energia
de Uma Instalação Elétrica Industrial

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp
como parte dos requisitos para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Elétrica.

Prof. Dr: Fábio Bertequini Leão

Ilha Solteira - SP
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

M539e Mendonça, Samuel Sarmiento.
Estudo do impacto da operação de bancos de capacitores na qualidade de energia de uma instalação elétrica industrial / Samuel Sarmiento Mendonça. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
54 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Fábio Bertequini Leão

Inclui bibliografia

1. Fator De Potência. 2. Banco capacitor. 3. Transitório de tensão.

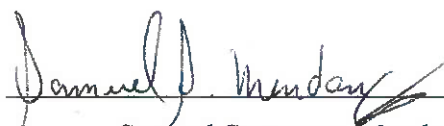
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos dezesseis dias do mês de janeiro do ano de dois mil e vinte e três, o discente *Samuel Sarmento Mendonça*, matriculado sob o nº 162054891, tendo como banca examinadora seu orientador, o *Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão*, o *Engenheiro Eletricista Luiz Eduardo Priminini* e o *Mestrando Luis Felipe Bianco Monteiro de Carvalho*, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "Estudo do Impacto da Operação de Bancos de Capacitores na Qualidade de Energia de uma Instalação Elétrica Industrial" obtendo a nota 9 (NOVE) e conceito APROVADO.



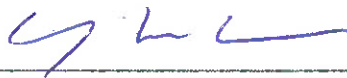
Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão

- orientador -



Samuel Sarmento Mendonça

- discente -



Eng. Eletricista Luiz Eduardo Priminini

- Membro da Banca -



Mestrando Luis Felipe B. Monteiro de Carvalho

- Membro da Banca -

Dedico este trabalho a minha mãe, que sempre se esforçou para que esse sonho fosse possível, seus ensinamentos levarei pelo resto da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Maralice de Moraes Sarmiento, que sempre acreditou nesse sonho de fazer engenharia elétrica, sem ela não teria sido possível chegar até aqui. Outra pessoa importante para tudo isso é a minha avó Jurandy da Silva Sarmiento, todo o carinho de avó sempre foi muito bem-vindo.

Agradeço também ao Neilson Prates Leão, todo suporte e incentivo para o desenvolvimento desse trabalho, foi fundamental todos os ensinamentos passados durante o estágio na Sylvamo.

Ao professor Dr. Fábio Bertequini por toda paciência em sempre acreditar no potencial desse trabalho, sendo peça fundamental na reta final da minha graduação.

E por fim a UNESP, que me proporcionou toda a infraestrutura para a minha formação e aprendizado.

"O inimigo mais perigoso que você poderá encontrar
será sempre você mesmo."(Friedrich Nietzsche)

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise detalhada da correção do fator de potência de um parque fabril de produção de papel, por meio de simulações feitas no Simulink-Matlab. Para realizar este estudo foram levantados valores reais da indústria, como potência ativa, potência aparente e potência reativa das principais cargas. Essas cargas foram modeladas em um programa computacional, com o objetivo de simular a ligação de um banco de capacitor que se encontra desligado dentro da indústria, analisando seus efeitos causados após sua energização, como a correção do fator de potência, análise do transitório de tensão, sobretensão e sobrecorrente. Foram feitas quatro simulações, sendo a primeira, para validar o circuito das cargas sem o banco de capacitor, isso foi feito para validar os valores coletados com os valores simulados. A segunda simulação foi a ligação do banco de capacitores, foi observado que seu principal objetivo foi cumprido corrigindo o fator de potência. A terceira simulação, foi o desligamento de algumas cargas, com o banco ligado, foi observado que o sistema ficou capacitivo. A quarta simulação foi o desligamento total das cargas, mostrando como ficaria o circuito caso o banco não fosse desligado. Com os dados gerados das simulações, foi possível notar que o banco de capacitor cumpri sua principal função, de corrigir o fator de potência, porém caso aconteça o desligamento de algumas cargas, o sistema elétrico fica capacitivo, o que pode ser negativo para operação da fábrica, portanto para que isso não ocorra, deve ser feito um redimensionamento no banco, para que o mesmo corrija o fator de potência, e quando algumas cargas forem desligada, o sistema não fique capacitivo.

Palavras-chave: Fator de potência; Banco capacitor; Transitório de Tensão.

ABSTRACT

These loads were reproduced using the software with the objective of simulating the connection of a capacitor bank that is, in the first moment, disconnected from the industry, analyzing the effects caused after its energization, such as power factor correction, analysis of the voltage transient, overvoltage and overcurrent. Four simulations were conducted, the first one to validate the load circuit without the capacitor bank. This was made to validate the collected values with the simulated values. The second simulation was the connection of the capacitor bank. It was observed that its main objective was fulfilled correcting the power factor. The third simulation was the disconnection of some loads, with the bank turned on. It was observed that the system became capacitive. The fourth simulation was the complete disconnection of the loads, showing how the circuit would be if the bank was not disconnected as well. With the data generated from the simulations, it was possible to notice that the capacitor bank fulfills its main function, correcting the power factor, however, if some loads are disconnected, the electrical system becomes capacitive, which can be harmful for the factory operation. To avoid this scenario the bank must be resized so that it still corrects the power factor, and when some loads are disconnected, the system does not become capacitive.

Keywords: Power factor; Capacitor Bank; Voltage Transient.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Triângulo de potências	17
Figura 2 — Diagrama unifilar simplificado da instalação industrial	19
Quadro 1 — Medições dos capacitores instalados	20
Figura 3 — Medidor de Qualidade de Energia	21
Tabela 1 — Valores das medições das grandezas elétricas	22
Figura 4 — Cubículos de proteção e medição dos circuitos	22
Tabela 2 — Valores trifásicos dos circuitos	23
Figura 5 — Representação das cargas de cada circuito	24
Figura 6 — Bloco para inserção dos valores das cargas	24
Tabela 3 — Valores de cada fase dos circuitos usados nas simulações	25
Figura 7 — Interior do bloco de medições	26
Figura 8 — Bloco de medições	26
Figura 9 — Circuito para Simulação	27
Figura 10 — Forma de Onda Tensão e Corrente Simulação 1	28
Figura 11 — Tensão RMS e Corrente RMS Simulação 1	29
Figura 12 — Medidas Elétricas Simulação 1	30
Figura 13 — DHT Corrente Simulação 1	30
Figura 14 — Parte da forma de Onda Analisada Corrente Simulação 1	31
Figura 15 — DHT de Tensão Simulação 1	31
Figura 16 — Parte da forma de Onda Analisada Tensão Simulação 1	32
Figura 17 — Forma de Onda Tensão e Corrente Simulação 2	33
Figura 18 — Tensão RMS e Corrente RMS Simulação 2	34
Figura 19 — Forma de Onda Tensão e Corrente no Capacitor Simulação 2	35
Figura 20 — Medidas Elétricas Simulação 2	36
Figura 21 — DHT Corrente Simulação 2	36
Figura 22 — Parte da forma de Onda Analisada Corrente Simulação 2	37
Figura 23 — DHT de Tensão Simulação 2	37
Figura 24 — Parte da forma de Onda Analisada Tensão Simulação 2	38
Figura 25 — Forma de Onda Tensão e Corrente Simulação 3	39
Figura 26 — Tensão RMS e Corrente RMS Simulação 3	40
Figura 27 — Forma de Onda Tensão e Corrente no Capacitor Simulação 3	41
Figura 28 — Medidas Elétricas Simulação 3	42
Figura 29 — DHT Corrente Simulação 3	42
Figura 30 — Parte da forma de Onda Analisada Corrente Simulação 3	43
Figura 31 — DHT de Tensão Simulação 3	43
Figura 32 — Parte da forma de Onda Analisada Tensão Simulação 3	44
Figura 33 — Forma de Onda Tensão e Corrente Simulação 4	45

Figura 34 — Tensão RMS e Corrente RMS Simulação 4	46
Figura 35 — Forma de Onda Tensão e Corrente no Capacitor Simulação 4	47
Figura 36 — Medidas Elétricas Simulação 4	48
Figura 37 — DHT Corrente Simulação 4	48
Figura 38 — Parte da forma de Onda Analisada Corrente Simulação 4	49
Figura 39 — DHT de Tensão Simulação 4	49
Figura 40 — Parte da forma de Onda Analisada Tensão Simulação 4	50

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 — Fator de potência	16
Equação 2 — Relação trigonométrica	17
Equação 3 — Potência ativa depois da correção do fator de potência	17
Equação 4 — Potência reativa depois da correção do fator de potência	17
Equação 5 — Capacitância após a correção do fator de potência	18

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL:	Agência Nacional de Energia Elétrica
Ampère (A):	Unidade de medida no Sistema Internacional para Corrente Elétrica
Farad (F):	Unidade de medida no Sistema Internacional para capacitância
Henry (H):	Unidade de medida no Sistema Internacional para indutância
Hertz (Hz):	Unidade de medida no Sistema Internacional para frequência
Ohm (Ω):	Unidade de medida no Sistema Internacional para impedância (resistência, reatância indutiva e reatância capacitiva)
Volt (V):	Unidade de medida no Sistema Internacional para Tensão Elétrica
FP:	Fator de potência
DHT Corrente:	Distorção Harmônica Total de Corrente
DHT Tensão:	Distorção Harmônica Total de Tensão
Volt Ampère (VA):	Unidade de medida no Sistema Internacional para Potência Aparente
Watts (W)	Unidade de medida no Sistema Internacional para Energia Ativa
Volt Ampère Reativo (VAr)	Unidade de medida no Sistema Internacional para Energia Reativa
RMS	Root Mean Square

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CORREÇÃO DO FP ATRAVÉS DE BANCOS DE CAPACITORES	12
1.2	OBJETIVOS	13
2	CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA EM SISTEMAS INDUSTRIAIS	15
2.1	CONSEQUÊNCIAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA	16
2.2	CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	16
2.3	BANCO DE CAPACITORES CHAVEADOS	18
2.4	BANCO DE CAPACITORES FIXOS	18
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
3.1	MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.2	LIGAÇÃO DO BANCO DE CAPACITORES	20
3.3	MEDIÇÕES ION 7650	21
3.4	VALORES DAS CARGAS USADAS NAS SIMULAÇÕES	22
3.5	SIMULAÇÃO MATLAB SIMULINK	23
3.5.1	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES REALIZADAS NO MATLAB SIMULINK	27
3.5.1.1	SITUAÇÃO 1-SISTEMA ELÉTRICO SEM O BANCO DE CAPACITOR ...	27
3.5.1.2	SITUAÇÃO 2- SISTEMA ELÉTRICO COM A INSERÇÃO DO BANCO DE CAPACITOR	32
3.5.1.3	SITUAÇÃO 3- SISTEMA ELÉTRICO COM DESLIGAMENTO PARCIAL DAS CARGAS	38
3.5.1.4	SITUAÇÃO 4-SISTEMA ELÉTRICO COM DESLIGAMENTO TOTAL DAS CARGAS	44
4	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

Em sistemas elétricos, a potência elétrica demandada por uma carga linear é calculada através do produto entre a tensão (diferença de potencial) e a corrente elétrica que percorre a carga. Essa potência, chamada de potência aparente, pode ser separada em dois tipos: Ativa e Reativa. A potência ativa ou potência média é constante e é a parcela relacionada ao trabalho realizado pela carga, ou seja, a transformação da energia em calor, luz ou movimento. Adota-se que sua unidade é em W(Watts). A potência reativa é a parcela pulsante/oscilante, relacionada à troca de energia entre os elementos indutivos e capacitivos do sistema elétrico. Adota-se que a unidade de potência reativa é VAR (Volt Ampere Reativo).

O Fator de Potência (FP) pode ser definido como a porcentagem de potência aparente que é convertida em potência ativa (trabalho) da carga. Isto é, o aproveitamento da potência total em ativa ou trabalho que está sendo demandada pela carga. Portanto o fator de potência é calculado através do cosseno do ângulo de defasamento entre a tensão e corrente da carga. Caso a tensão esteja adiantada em relação a corrente, o fator de potência torna-se indutivo, portanto, a carga possui característica indutiva. Por outro lado, se a corrente está adiantada em relação à tensão o fator de potência é capacitivo e a carga possui característica capacitiva.

Em sistemas industriais a maior parcela das cargas é composta de motores de indução sendo a demanda de potência reativa elevada. Este fato aumenta a corrente elevando as perdas e contribuindo para a queda de tensão no sistema de fornecimento. Para evitar o transporte de energia reativa nos sistemas de fornecimento, é necessária uma compensação reativa ou correção do fator de potência industrial que é a troca de potência reativa localmente na indústria. A compensação local pode ser realizada utilizando geradores, motores síncronos superexcitados ou bancos de capacitores em derivação instalados na indústria [1].

Conforme a Resolução Nº 1000 da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica [2], é estabelecido que os consumidores industriais devem manter o fator de potência em um nível adequado (acima de 0,92), sendo a indústria cobrada pelo excedente reativo quando este fator de potência não for atingido.

1.1 CORREÇÃO DO FP ATRAVÉS DE BANCOS DE CAPACITORES

A correção do FP em sistemas industriais empregando banco de capacitores em derivação é o método mais empregado para o controle do FP devido principalmente à sua simplicidade e custo. Os bancos podem ser do tipo fixos ou chaveados (automáticos) sendo que o projeto e escolha do tipo de acionamento é

altamente dependente da curva de carga da instalação industrial. Bancos fixos são mais indicados em casos em que a curva de carga industrial possui comportamento pouco variável durante o ciclo de operação, enquanto os bancos chaveados são indicados em casos de variação acentuada do consumo de reativos durante o ciclo de carga da indústria.

Além de corrigir o fator de potência das instalações industriais, os capacitores propiciam muitos benefícios aos sistemas elétricos no que diz respeito à regulação de tensão, principalmente nos sistemas de transmissão e distribuição, à liberação da capacidade de transformação dos transformadores e de geração de geradores, além de outras melhorias [3].

A vida útil dos capacitores em condições adequadas de operação é de aproximadamente 15 anos. No entanto quando operados sob condições de tensões elevadas e/ou sistemas onde há grande quantidade de cargas não lineares geradoras de frequências harmônicas de diversas ordens podem ser danificados encurtando drasticamente sua vida útil [3].

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é analisar o impacto na qualidade da energia em uma instalação industrial real, principalmente relacionado a fenômenos de sobretensão e sobrecorrente, considerando a inserção de um banco de capacitores na média tensão da indústria.

Analisar a correção do fator de potência em regime transitório de uma instalação elétrica industrial, justifica-se, pois, ao fazer a sua ligação no sistema elétrico o mesmo pode causar variações como sobretensão ou sobrecorrente.

Assim, é possível notar a importância do estudo, pois essa operação impacta diretamente no processo de produção da indústria, podendo causar desligamentos indevidos de todo o sistema elétrico, gerando diretamente um impacto devido a perda de produção.

O presente estudo consiste em pesquisa aplicada de caráter exploratório e descritivo, que visa analisar o impacto da correção do fator de potência no sistema elétrico industrial.

Nesse sentido, os resultados serão apresentados de forma qualitativa e quantitativa, a partir da coleta de informações, para validar as simulações realizadas.

A planificação da pesquisa inclui, em primeiro lugar, o levantamento dos dados secundários, medições realizadas em campo, para posterior contato com as fontes primárias, resultados das simulações, a fim de promover a coleta de dados em campo. Serão aplicados os seguintes instrumentos de pesquisa: Análise dos

dados coletados por um medidor de qualidade de energia e os dados gerados com a simulação do sistema elétrico com a correção do fator de potência.

2 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA EM SISTEMAS INDUSTRIAIS

Como mencionado anteriormente os bancos de capacitores podem trazer benefícios ao sistema elétrico, entretanto, em algumas condições, principalmente em situações de chaveamentos dos bancos, os capacitores podem provocar no sistema elétrico fenômenos de sobrecorrente e/ou sobretensão que podem causar danos tanto nas próprias células capacitivas do banco, como em outros equipamentos ligados ao sistema elétrico [4].

Nas operações de chaveamento dos bancos de capacitores os transitórios eletromagnéticos devidos as sobretensões e sobrecorrentes podem causar o desligamento indevido de cargas sensíveis (inversores de frequência e equipamentos eletrônicos), a queima de reatores ou do próprio banco de capacitores, além de causar danos irreversíveis a outros equipamentos do sistema.

Na referência [5] os autores realizaram um estudo de transitórios eletromagnéticos no sistema elétrico industrial de um terminal portuário. No trabalho são realizadas doze simulações considerando três alternativas de solução para a redução das perturbações de tensão e corrente, envolvendo reatores e resistores em série e bancos de capacitores chaveados.

Adicionalmente aos fenômenos transitórios, outro problema que deve ser considerado na correção do fator de potência empregando banco de capacitores é o fenômeno de ressonância. Quando os bancos de capacitores são conectados no sistema, a indutância do transformador somada a do capacitor pode resultar em um circuito ressonante que pode ser excitado por uma corrente harmônica gerada por cargas não lineares. Estas constituem-se principalmente por cargas acionadas por inversores de frequência largamente empregados em acionamentos de motores de indução.

Este circuito ressonante tem uma frequência de ressonância, e se a corrente harmônica desta frequência (ou próxima) estiver presente no sistema industrial, isto levará o circuito a uma condição de ressonância onde uma elevada corrente harmônica fluirá pelos ramos do circuito, causando sobretensão no capacitor e em todo o sistema elétrico que está conectado em paralelo [4]. Para evitar esse tipo de fenômeno é empregada a filtragem utilizando um filtro dessintonizado que é exclusivo para a correção do FP. A ideia é evitar o risco da condição de ressonância por meio do deslocamento da frequência de ressonância a valores menores onde correntes harmônicas não estão presentes.

Isso é alcançado através da modificação do circuito LC básico composto pelo transformador e banco de capacitores, introduzindo um filtro (reator) em série com o banco de capacitor [4]. A frequência de sintonia é normalmente referida de forma

indireta ao fator de dessintonia (FDS) e expresso em porcentagem. O FDS é projetado tal que o conjunto capacitor/reator torna-se indutivo para frequências abaixo da primeira harmônica identificada no sistema [6].

2.1 CONSEQUÊNCIAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

Quando se encontra um fator de potência abaixo de 0,92, pode se ter algumas anomalias no sistema elétrico, como queda nos níveis de tensão, aumento da corrente, podendo causar aquecimento nos condutores, sobretudo em pontos mais distantes da instalação, dependendo do nível pode-se ativar o sistema de proteção, interrompendo o fornecimento de energia para a fábrica [9].

2.2 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Como os motores de indução consomem muita potência reativa da rede, os bancos de capacitores são frequentemente combinados para correção do fator de potência. Esta aplicação geralmente é realizada em instalações trifásicas, que também requerem a instalação de bancos de capacitores trifásicos.

Vários tipos de indústrias têm diferentes comportamentos de carga durante o dia devido às atividades do dia-a-dia. Portanto, o fator de potência dessas indústrias varia ao longo do tempo. Dada a necessidade de cada um desses perfis, dois tipos de conexões de banco de capacitores podem ser utilizados na correção: bancos fixos e bancos chaveados, sendo que a escolha de qual banco deve ser utilizado na instalação é definida pelo comportamento da carga considerada dentro do intervalo de tempo.

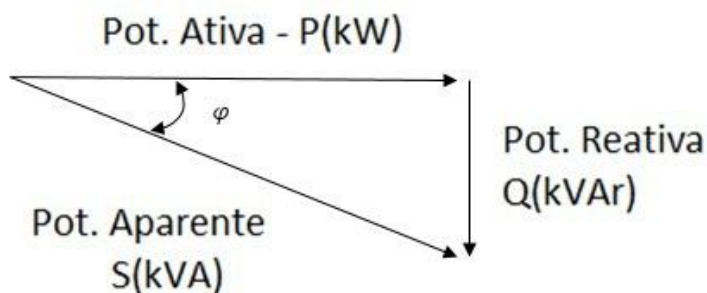
O fator de potência pode ser calculado conforme a equação (1):

$$fp = \frac{P}{S} \quad (1)$$

- fp:Fator de potência da carga (adimensional);
- P:Potência ativa (em KW);
- S: Potência aparente (em KVA)

De acordo com a figura (1) a seguir, tem-se o triângulo de potências que relaciona as potências apresentadas na equação (1).

Figura 1 — Triângulo de potências



Fonte: O autor (2022).

Pode-se fazer a seguinte associação matemática conforme a equação (2)

$$\cos\phi = fp = \frac{P}{S} \quad (2)$$

Para poder corrigir o fator de potência é necessário o conhecimento da tensão e da frequência de operação do banco de capacitores. Desta forma mantendo-se a tensão na carga constante, tem-se o procedimento como segue:

1. Determinar ou medir a potência complexa / aparente da carga antes da correção.
2. Conhecido o fator de potência desejado, fazendo a potência ativa depois da correção igual a potência ativa antes da correção, equação (3), determinar a potência reativa depois da correção, conforme a equação (4).

$$PD = PA \quad (3)$$

- PD= Potência ativa depois da correção
- PA=Potência ativa antes da correção

$$QD = \frac{PD}{\cos\phi} * \text{sen}\phi \quad (4)$$

QD=Potência reativa depois da correção do fator de potência.

Determinar a valor do capacitor ou banco de capacitores para a correção do FP desejado conforme equação (5).

$$c = \frac{QA - QD}{w * |v|^2} \quad (5)$$

2.3 BANCO DE CAPACITORES CHAVEADOS

Método mais comum implementado na indústria, pois sua aplicação se deve a estabelecimentos que contém uma variação de carga, em determinados períodos do dia o seu tipo de consumo altera, sendo necessário mais banco de capacitores para corrigir o seu fator de potência, e em certos horários o seu consumo de energia diminuí sendo necessário desligar esses bancos de capacitores de forma automática.

2.4 BANCO DE CAPACITORES FIXOS

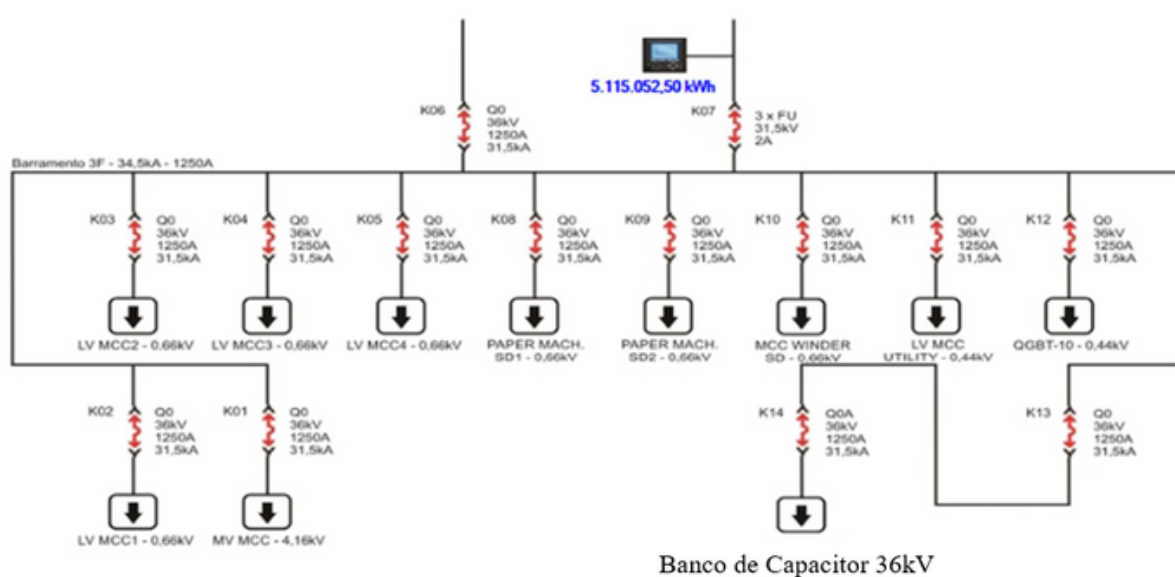
A utilização de banco de capacitores fixos acontece quando a carga da indústria se mantém constante durante seu pleno funcionamento, ou seja, não se tem uma variação de consumo de energia, nesse método os capacitores não passam por manobra e permanecem fixos durante todo o ciclo de carga da instalação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto do trabalho de graduação foi desenvolvido a partir de dados reais de uma indústria de papel, que compra energia de outra indústria também do ramo de celulose. Na Figura 2 é ilustrado o diagrama unifilar da indústria com destaque para o banco de capacitores que atualmente está desconectado do sistema.

Figura 2 — Diagrama unifilar simplificado da instalação industrial



Banco de Capacitor 36kV

Fonte: O autor (2023).

Para o desenvolvimento foram coletados dados utilizando o analisador de qualidade de energia ION7650 da Schneider [7], ilustrado na Figura 2. Dentre os principais dados analisados estão os dados das cargas, impedâncias dos circuitos e transformadores, tensão, corrente, potências, e dados referentes às harmônicas, como taxas de distorção individual e total tanto de tensão quanto de corrente. As informações coletadas são basicamente referentes a três condições da indústria: condição em regime de operação normal e típica do parque fabril, e às últimas duas paradas gerais da fábrica, que ocorreram em dezembro de 2020 e março de 2022, situação em que ocorreu o desligamento total do parque fabril por um período de tempo, e depois aconteceu o religamento de forma gradativa do sistema elétrico. Foram estudadas as principais condições em regime permanente e também em regime transitório, considerando situações de desligamento e religamento de blocos de cargas juntamente com a conexão e desconexão do banco de capacitores. Em relação ao estudo de harmônicas, é a verificação se o nível das harmônicas estão

dentro dos limites aceitáveis.

Vale destacar que a indústria em análise recebe energia de outra indústria, e, portanto, atualmente a indústria em análise não paga multa por excedentes de reativos devido ao baixo fator de potência visto que o banco de capacitores não está em operação. Entretanto, a indústria vem apresentando algumas queimas em seus componentes eletrônicos importantes para o seu processo de fabricação durante as desconexões e conexões de cargas no processo de parada e energização.

A partir das informações levantadas foi desenvolvido o modelo do sistema elétrico da indústria para simular no Matlab Simulink e realizar as simulações de contingências descritas anteriormente.

3.2 LIGAÇÃO DO BANCO DE CAPACITORES

O projeto de banco de capacitores a ser analisado, são capacitores monofásicos providos de fusíveis e resistores de descarga internos, possui as seguintes especificações, tensão nominal fase-fase: 39,5 KV, conexão estrela não aterrada (Y-Y), frequência nominal 60 Hz, potência nominal reativa em 39,5 KV, 4,2 MVar.

Quadro 1 — Medições dos capacitores instalados

FABRICANTE	Nº SÉRIE	TIPO	UN	CAPACITÂNCIA PLACA (µF)	CAPACITÂNCIA MEDIDO (µF)
IAELC	3985002	TD - 3067	7,602 KV	11,041	11,200
IAELC	3985005	TD - 3067	7,602 KV	10,991	11,000
IAELC	3985015	TD - 3067	7,602 KV	11,002	11,000
IAELC	3985007	TD - 3067	7,602 KV	11,040	11,000
IAELC	3985017	TD - 3067	7,602 KV	11,040	11,200
IAELC	3985011	TD - 3067	7,602 KV	11,041	11,000
IAELC	3985004	TD - 3067	7,602 KV	11,045	11,500
IAELC	3985005	TD - 3067	7,602 KV	11,041	11,200
IAELC	3985008	TD - 3067	7,602 KV	10,720	11,000
IAELC	3985003	TD - 3067	7,602 KV	10,963	11,000
IAELC	3985009	TD - 3067	7,602 KV	11,041	11,000
IAELC	3985006	TD - 3067	7,602 KV	11,041	10,900
IAELC	3985010	TD - 3067	7,602 KV	10,963	10,900
IAELC	3985013	TD - 3067	7,602 KV	11,041	11,000
IAELC	3985016	TD - 3067	7,602 KV	11,041	11,200
IAELC	3985012	TD - 3067	7,602 KV	11,041	11,000
IAELC	3985018	TD - 3067	7,602 KV	11,041	11,200
IAELC	3985014	TD - 3068	7,602 KV	11,041	11,200
ISOLAÇÃO MEGGER:		A= 10000 MΩ	B= 10000 MΩ	C= 15000 MΩ	5 KV

Fonte: O autor (2022).

3.3 MEDIÇÕES ION 7650

Para a análise e simulação deste trabalho, foram levantadas as medições das grandezas elétricas quando aconteceram as paradas programadas ou gerais da fábrica, pois nesses eventos acontecem o desligamento parcial ou completo de toda a planta industrial por um período, e a reenergização do sistema elétrico. Esses dados foram usados para validação da simulação, fazendo a comparação das medições reais com as medições representadas pela simulação.

O dispositivo de qualidade de energia ION-7650 consegue fazer as seguintes medições, distorção harmônica, frequência, afundamento de tensão, detecção de ondas, controle de demanda, fator de potência, potência aparente total, fator de potência total, potência aparente por fase, potência ativa total, potência ativa por fase, potência reativa total, potência reativa por fase.

O dispositivo é instalado no cubículo de entrada da fábrica, possuindo um display aonde é possível visualizar os valores de medições, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 — Medidor de Qualidade de Energia



Fonte: O autor (2023).

Esse aparelho é capaz de apresentar todas as grandezas em tempo real, sendo possível analisar o sistema em regime permanente e transitório.

Na tabela 1, encontra-se os valores coletados do medidor ION 7650 para

validação do circuito montado para realizar as simulações propostas.

Tabela 1 — Valores das medições das grandezas elétricas

Corrente A	Tensão (F-F) KV	Tensão (F-N) KV	Potência Ativa MW	Potência Reativa MVar	Potência Aparente MVA	FP
237,34	34,66	20,03	12,55	6,73	14,24	0,88
235,08	34,58	20,04	12,44	6,66	14,11	0,88
234,26	34,67	20,03	12,40	6,21	14,06	0,88
237,04	34,57	20,04	12,51	6,71	14,20	0,88
237,27	34,60	20,04	12,54	6,73	14,23	0,88

Fonte: O autor (2023).

3.4 VALORES DAS CARGAS USADAS NAS SIMULAÇÕES

Os valores das cargas utilizadas para a simulação foram coletados em campo, dos medidores instalados em cada cubículo, na Figura 4 pode-se ver os cubículos de média tensão de cada circuito.

Figura 4 — Cubículos de proteção e medição dos circuitos



Fonte: O autor (2023).

Na Tabela 2, encontram-se os valores das potências trifásicas dos circuitos.

Tabela 2 — Valores trifásicos dos circuitos

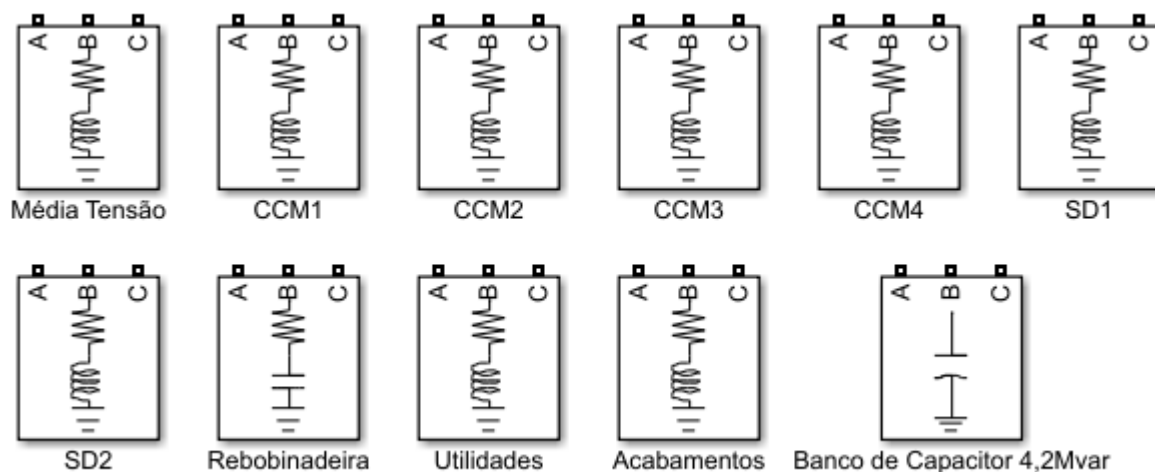
Circuitos	Tensão (F-F) KV	Tensão (F-N) KV	Potência Aparente Trifásica MVA	Potência Ativa Trifásica MW	Potência Reativa Trifásica MVar	FP
Média Tensão	34,5	19,91	4,09	3,2	2,35	0,77
CCM1	34,5	19,91	1,62	1,2	0,97	0,76
CCM2	34,5	19,91	0,92	0,71	0,60	0,78
CCM3	34,5	19,91	1,57	1,28	1,02	0,80
CCM4	34,5	19,91	1,36	1,22	0,93	0,78
PAPER SD1	34,5	19,91	2,15	2,13	0,01	0,99
PAPER SD2	34,5	19,91	1,51	1,45	0,01	0,99
REBOBINADEIRA	34,5	19,91	0,16	0,15	-0,1	0,99
UTILIDADES	34,5	19,91	0,43	0,36	0,24	0,83
ACABAMENTOS	34,5	19,91	0,78	0,65	0,35	0,83

Fonte: O autor (2023).

3.5 SIMULAÇÃO MATLAB SIMULINK

Foi montado um diagrama trifilar, para simular todo o sistema elétrico do parque fabril estudado, sendo as cargas dos circuitos representadas por blocos, para fazer as representações, foram implementados três modelos de circuitos, o primeiro sendo resistor e indutor ligados em série, o segundo um resistor e capacitor ligados em série, e o terceiro um capacitor representando o banco instalado, de acordo com a Figura 5.

Figura 5 — Representação das cargas de cada circuito



Fonte: O autor (2023).

Para modelar as cargas na simulação apresentada no Matlab é necessário introduzir dados como tensões, frequências, potências ativas e reativas por fase, conforme a Figura 6.

Figura 6 — Bloco para inserção dos valores das cargas

Block Parameters: Média Tensão

Three-Phase Series RLC Load (mask) (link)
Implements a three-phase series RLC load.

Parameters Load Flow

Configuration Y (grounded)

Nominal phase-to-neutral voltages [Va Vb Vc] (Vrms)

Nominal frequency fn (Hz):

Specify PQ powers for each phase

Active powers [Pa Pb Pc] (W):

Inductive reactive powers [QLa QLb QLc] (positive var):

Capacitive reactive powers [QCa QCb QCc] (negative var):

Measurements Branch currents

OK Cancel Help Apply

Fonte: O autor (2023).

Os valores inseridos nos blocos dos circuitos, encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 — Valores de cada fase dos circuitos usados nas simulações

Circuitos	Potência Ativa MW Fase A	Potência Ativa MW Fase B	Potência Ativa MW Fase C	Potência Reativa MVar Fase A	Potência Reativa MVar Fase B	Potência Reativa MVar Fase C
Média Tensão	1,07	1,06	1,07	0,78	0,77	0,80
CCM1	0,39	0,41	0,40	0,32	0,32	0,33
CCM2	0,23	0,24	0,24	0,20	0,20	0,20
CCM3	0,42	0,43	0,43	0,34	0,35	0,33
CCM4	0,41	0,41	0,40	0,32	0,31	0,30
PAPER SD1	0,71	0,70	0,72	0,01	0,00	0,00
PAPAER SD2	0,49	0,48	0,48	0,00	0,00	0,01
REBOBINADEIRA	0,05	0,05	0,05	-0,04	-0,03	-0,03
UTILIDADES	0,12	0,12	0,12	0,09	0,08	0,07
ACABAMENTOS	0,21	0,22	0,22	0,12	0,11	0,12

Fonte: O autor (2023).

Para realizar as medições das grandezas elétricas, foi criado um bloco de Medidas Elétricas, representando o analisador de qualidade de energia.

A forma de onda trifásica senoidal da tensão e corrente, V_{abc} e I_{abc} são as entradas de sinais do bloco criado. Para realizar as medições da potência ativa e reativa, foi utilizado um bloco pronto do matlab-simulink denominado Power (3ph, Instantaneous), sendo sua entrada as formas de onda da tensão e corrente, sendo sua saída a potência ativa e potência reativa.

Para calcular a potência aparente foi necessário obter o valor RMS das formas de ondas da tensão e corrente, passar por um bloco de multiplicação e por fim aplicar um ganho de 3 vezes o seu valor, para apresentar o valor da potência aparente trifásica. Para realizar a medição da tensão fase neutro, e da corrente do sistema em RMS, usou-se um filtro do matlab que transforma a onda em valor eficaz.

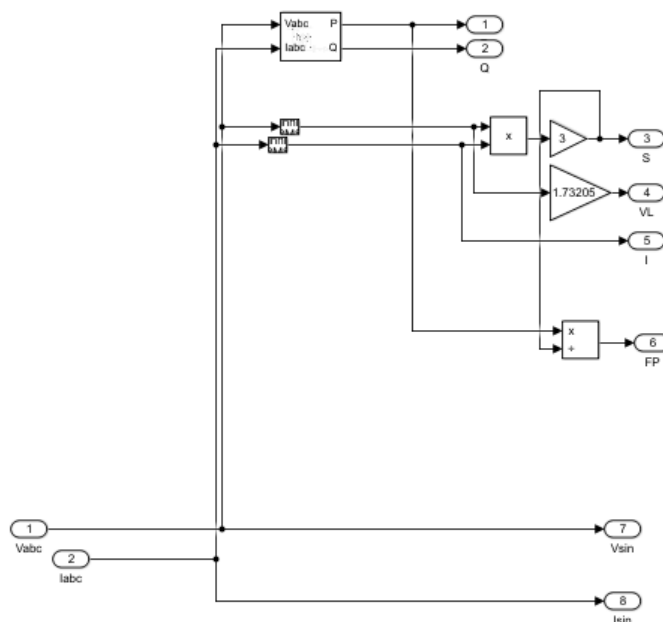
Para obter-se o valor da tensão de linha, pegou-se o valor eficaz da tensão fase neutro, aplicou-se um ganho de 1,7305, correspondente a raiz 3.

Por fim para calcular o fator de potência, a saída da potência ativa, juntamente com a saída da potência aparente, passou por um bloco de divisão, de acordo com a equação (2).

O valor de V_{sin} foi utilizado para analisar a forma de onda senoidal da tensão trifásica, o valor de I_{sin} foi utilizado para analisar a forma de onda da corrente. Na

Figura 7, encontra-se o interior do bloco de medições criados.

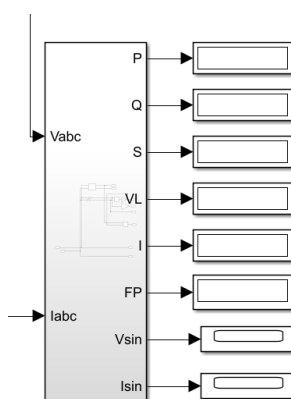
Figura 7 — Interior do bloco de medições



Fonte: O autor (2023).

O resultado final do bloco criado para realizar essas medições pode-se ver na Figura 7.

Figura 8 — Bloco de medições

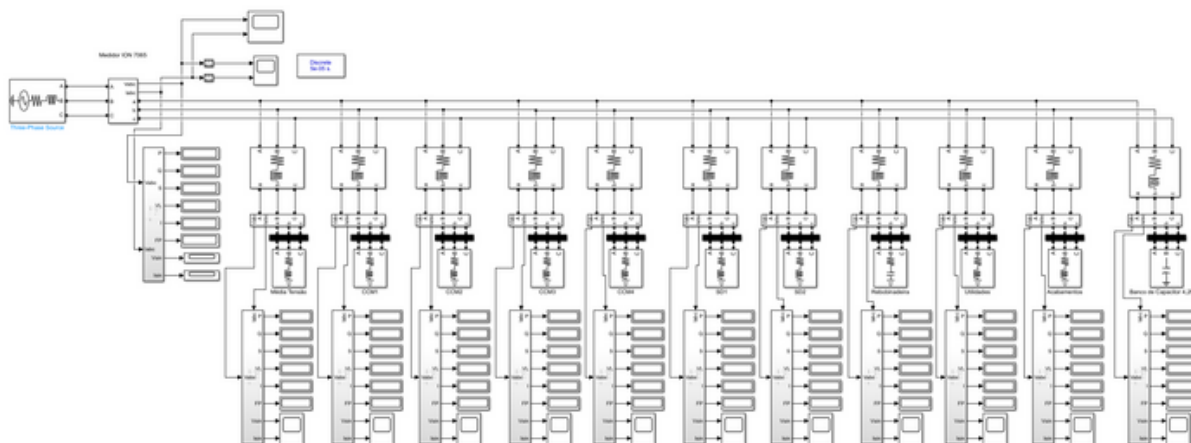


Fonte: O autor (2023).

Foi montado um diagrama trifilar, para simular todo o sistema elétrico do

parque fabril, sendo os circuitos usados Média Tensão, CCM1, CCM2, CCM3, CCM4, SD1,SD2, Rebobinadeira, Utilidades, Acabamentos, Banco de Capacitor 4,2 MVar, representados na Figura 9.

Figura 9 — Circuito para Simulação



Fonte: O autor (2023).

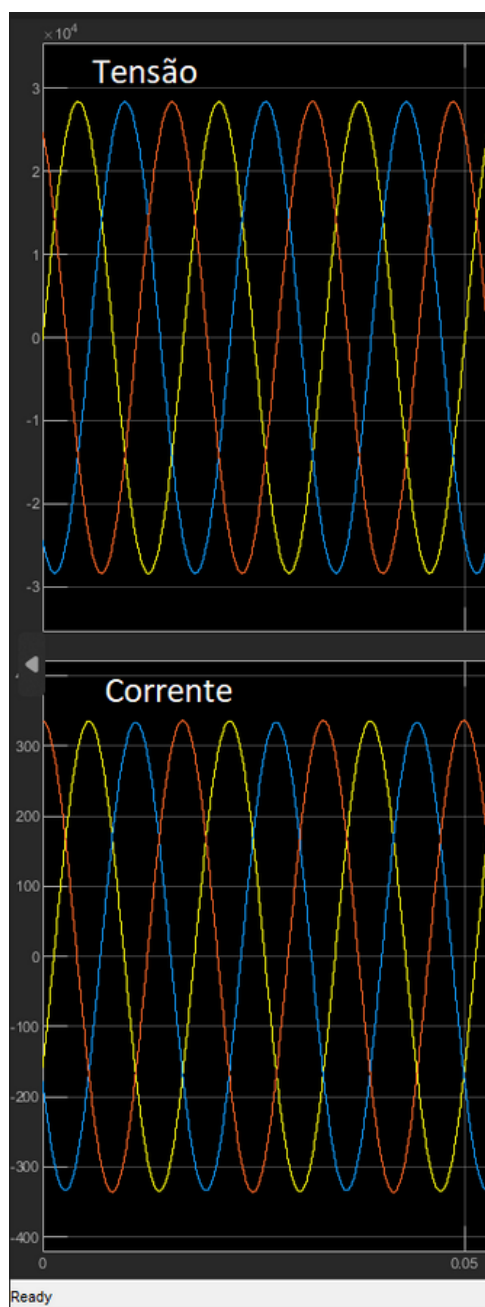
3.5.1 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES REALIZADAS NO MATLAB SIMULINK

3.5.1.1 SITUAÇÃO 1-SISTEMA ELÉTRICO SEM O BANCO DE CAPACITOR

No primeiro caso de simulação foi analisado todo o sistema elétrico de potência levando em consideração apenas as cargas ligadas, sem a inserção do banco de capacitor. Foram analisadas sobretensões, sobrecorrente, DHT de Tensão, DHT de Corrente e Fator de Potência. O valor da corrente de curto circuito, usado para se analisar a DHT de Corrente foi de 31,5 KA.

Nas formas de onda apresentadas na Figura 10, não é observada qualquer variação considerável da tensão ou da corrente, de acordo com IEEE [8], não tendo nenhum nível de distorção harmônica total.

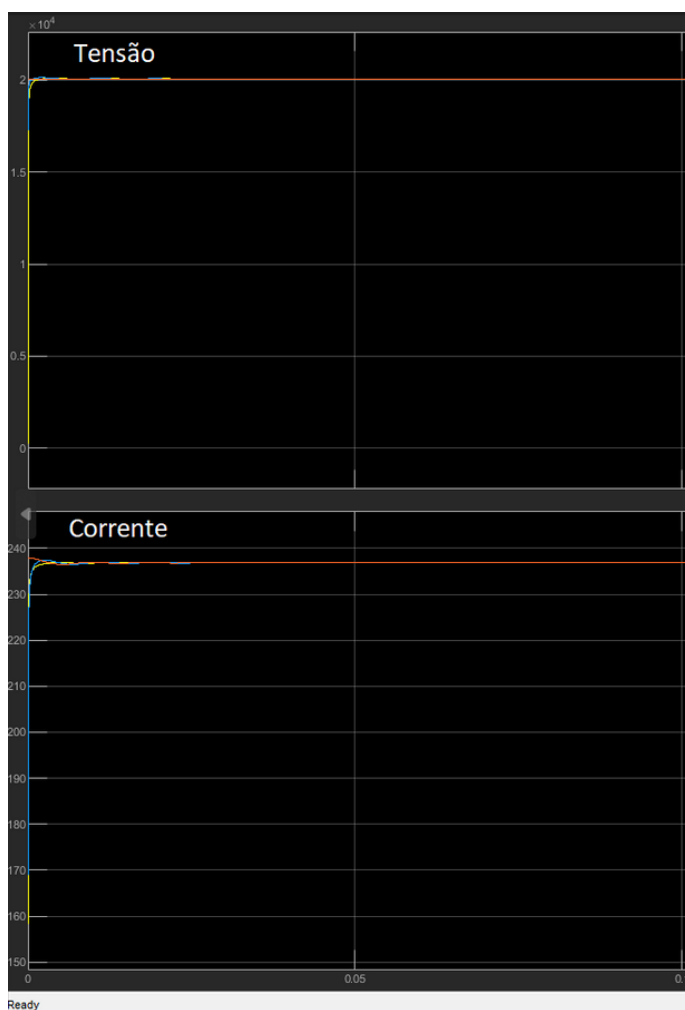
Figura 10 — Forma de Onda Tensão e Corrente Simulação 1



Fonte: O autor (2023).

Na imagem a seguir tem-se os valores RMS da tensão. Fase-neutro e da corrente, nota-se que não temos nenhuma sobrecorrente ou sobretensão, conforme a Figura 11.

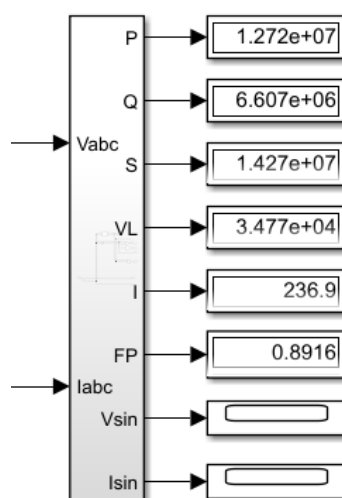
Figura 11 — Tensão RMS e Corrente RMS Simulação 1



Fonte: O autor (2023).

Os valores obtidos da simulação foram Potência Ativa 12,72 MW, Potência Reativa 6,60 MVar, potência aparente 14,27 MVA, Tensão de Linha 34,77 KV, Corrente 236,9 A e Fator de Potência 0,89. Sendo praticamente os mesmos valores apresentados pelo medidor instalado, com isso pode-se notar a necessidade da correção do fator de potência pois o mesmo se encontra abaixo do valor de 0,92. Conforme a Resoução Normativa ANEEL N°1000.

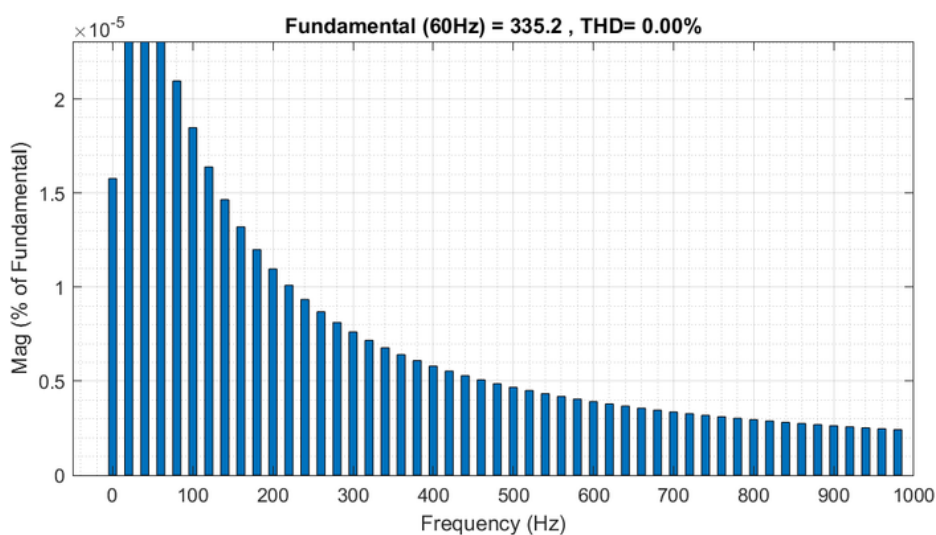
Figura 12 — Medidas Elétricas Simulação 1



Fonte: O autor (2022).

Os valores para DHT de Corrente se encontram na Figura 13, como a carga encontra-se em regime permanente, não se teve nenhum nível de harmônica de corrente.

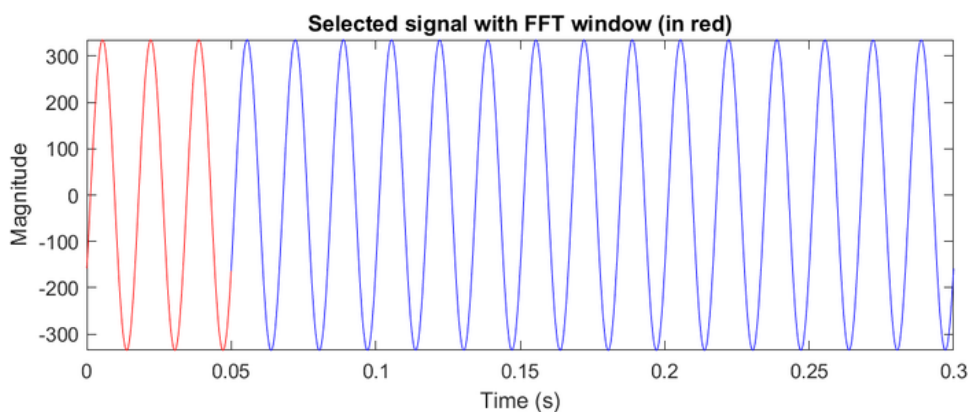
Figura 13 — DHT Corrente Simulação 1



Fonte: O autor (2022).

Na Figura 14 destacado em vermelho o período de tempo da parte da forma de onda que foi analisada. Trata-se de uma janela de tempo de análise referente a três ciclos da forma de onda, de modo a considerar o transitório desde o início do chaveamento até o regime permanente da carga.

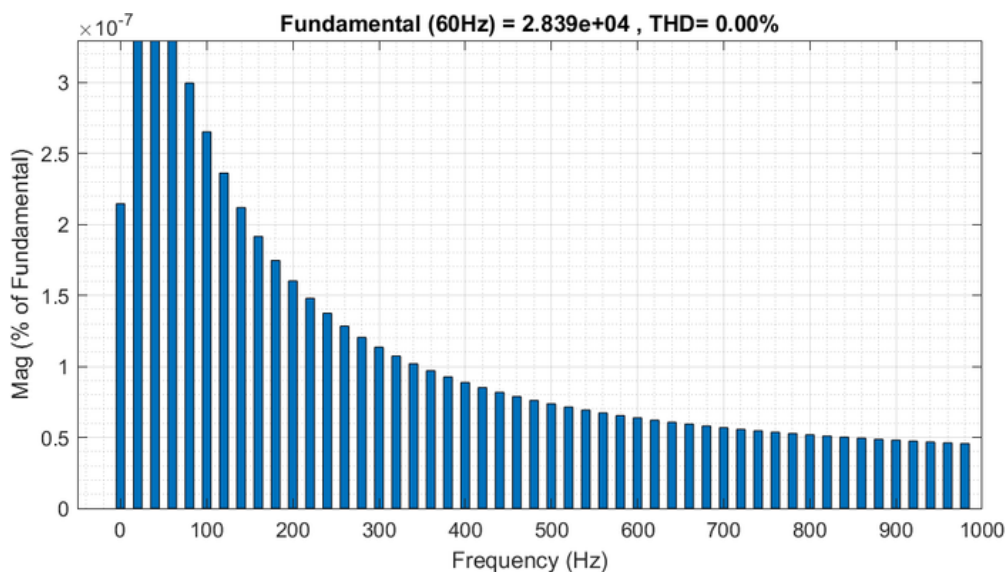
Figura 14 — Parte da forma de Onda Analisada Corrente Simulação 1



Fonte: O autor (2022).

Na Figura 15 é apresentada a DHT de Tensão obtida. Pode-se notar que como a carga encontra-se em regime permanente não houve nenhum transitório no período de simulação, logo o seu valor encontra-se em 0%.

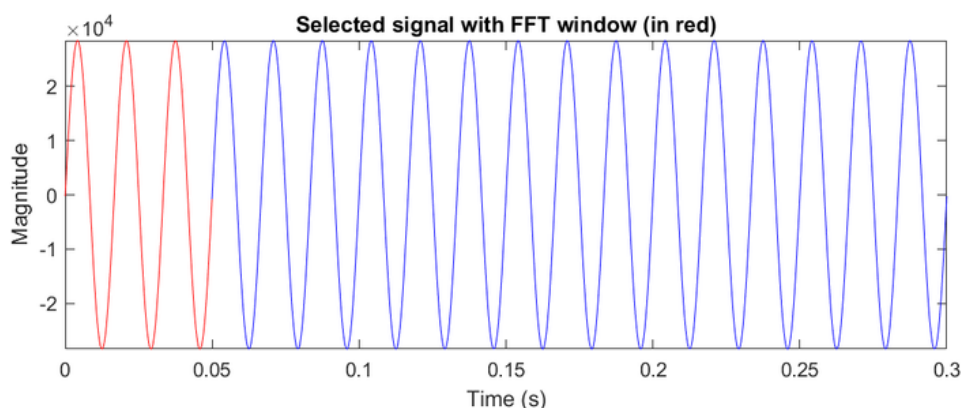
Figura 15 — DHT de Tensão Simulação 1



Fonte: O autor (2022).

Para analisar a forma de onda da Tensão, para se obter o DHT de Tensão, foi escolhido os três primeiros ciclos, buscando pegar todo o período de variação até o momento da carga entrar em regime permanente.

Figura 16 — Parte da forma de Onda Analisada Tensão Simulação 1



Fonte: O autor (2022).

3.5.1.2 SITUAÇÃO 2- SISTEMA ELÉTRICO COM A INSERÇÃO DO BANCO DE CAPACITOR

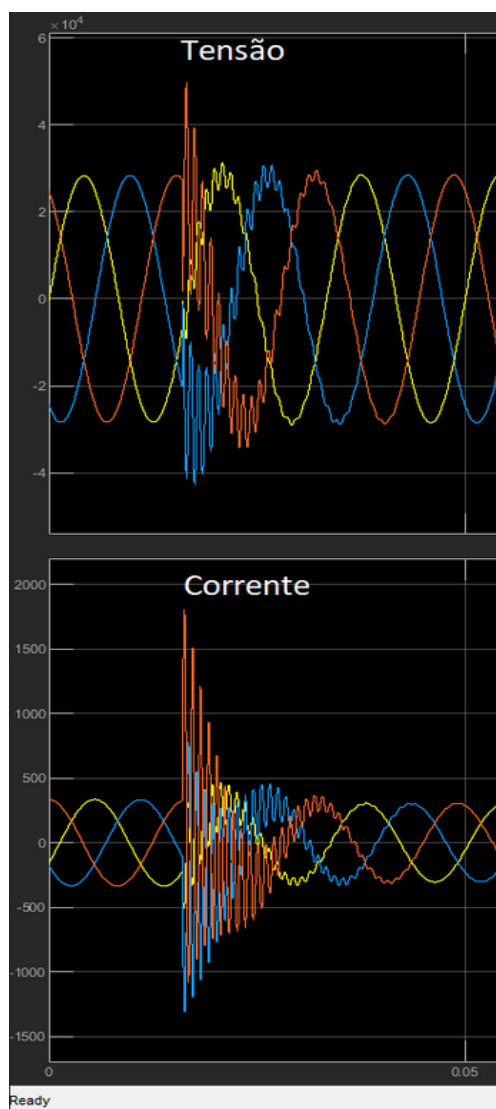
Na segunda simulação realizada foi inserido o banco de capacitor no instante de tempo de 0,016s. Foram analisadas sobretensões, sobrecorrente, DHT de Corrente, DHT de Tensão e o fator de potência.

Podemos notar que no instante de tempo 0,016s houve uma perturbação no sinal de tensão e corrente, aconteceu um transitório quando o banco de capacitor foi energizado. Nota-se que houve uma sobrecorrente e sobretensão nas formas de ondas, depois houve uma estabilização no sistema elétrico, mostrando que a carga entrou em regime permanente de operação. Conforme as formas de ondas apresentadas na Figura 17.

O valor da sobretensão chega 175% do valor nominal, esse valor encontra-se bem acima dos recomendados por fabricantes dos inversores de frequência e equipamentos [5], sendo a tensão máxima permitida menor que 130% da tensão nominal, esse nível de tensão pode prejudicar o funcionamento dos mesmos, na pior situação levando a queima do mesmo.

A sobrecorrente chega a 537% do valor nominal e dependendo da sensibilidade da proteção do sistema, disjuntores ou relés de proteções podem ser acionados fazendo que determinados circuitos fiquem sem alimentação.

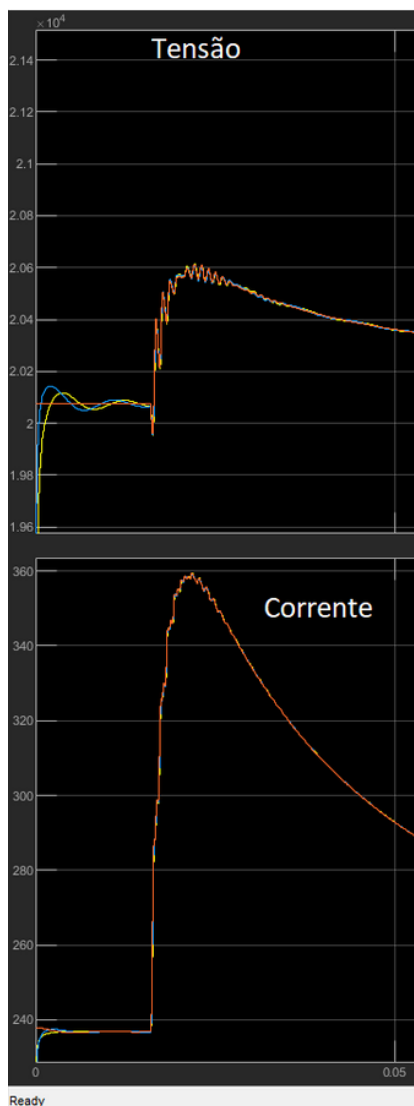
Figura 17 — Forma de Onda Tensão e Corrente Simulação 2



Fonte: O autor (2023).

Na Figura 18 temos os valores RMS da tensão, fase-neutro e da corrente, podemos observar uma sobretensão atingindo o valor de 20,6KV. Nota-se uma sobrecorrente ultrapassando o valor de 350A, sendo o valor de 240A apresentado na simulação 1, quando o circuito estava em regime permanente.

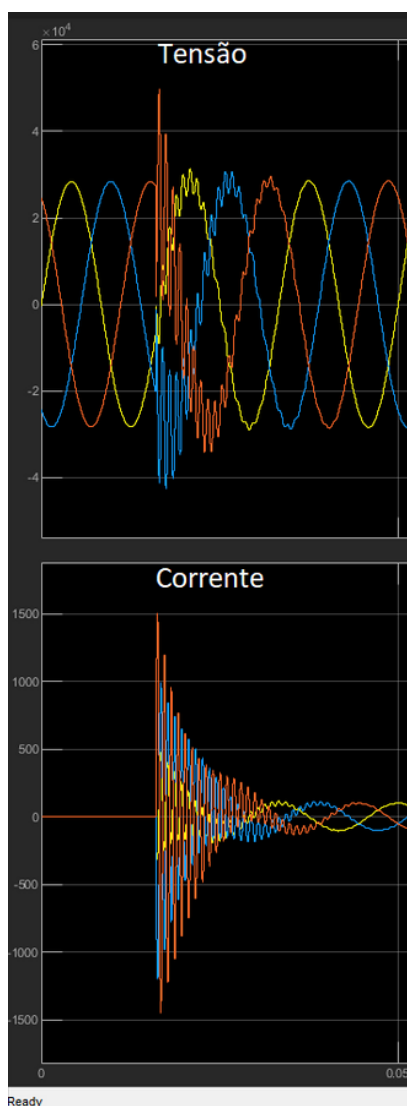
Figura 18 — Tensão RMS e Corrente RMS Simulação 2



Fonte: O autor (2023).

Foi analisado as formas de ondas de tensão e corrente no banco de capacitor, antes do tempo de 0,016s o mesmo não se encontrava energizado, depois desse tempo podemos ver o momento que isso aconteceu, a corrente entra em um período transitório, tempo de energização do banco de capacitor, depois passa a operar em regime permanente.

Figura 19 — Forma de Onda Tensão e Corrente no Capacitor Simulação 2

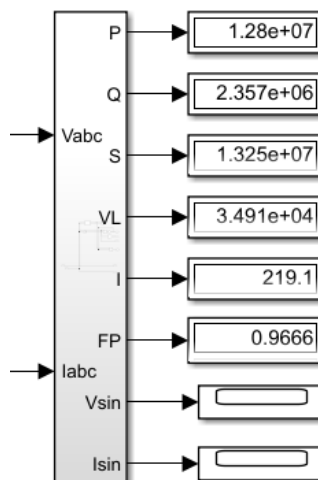


Fonte: O autor (2023).

Os valores obtidos da simulação foram Potência Ativa 12,8 MW, praticamente sendo a mesma da simulação 1. Potência Reativa teve seu valor alterado para 2,35MVAR, valor anterior 6,6MVAR. Potência Aparente 13,25 MVA, valor anterior 14,27 MVA. Tensão de Linha 34,91 KV, Corrente de fase 219,1 A. Sendo bem diferente da simulação 1, cujo o valor foi de 236A, mostrando que houve uma diminuição da corrente consumida pelas cargas, o fator de potência foi de 0,96.

Com isso foi possível visualizar que o fator de potência foi corrigido para 0,96. Acima do valor estabelecido mínimo que é 0,92.

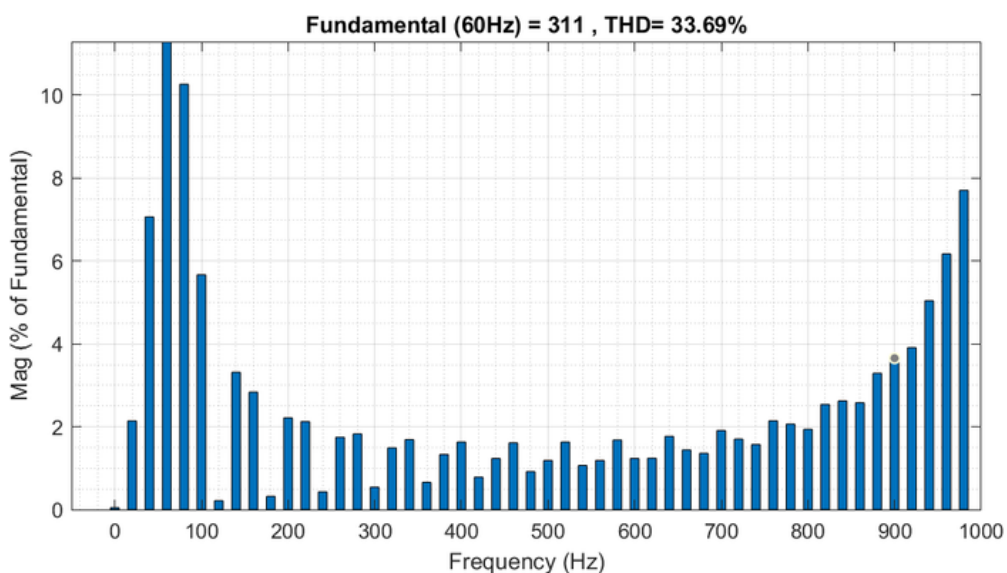
Figura 20 — Medidas Elétricas Simulação 2



Fonte: O autor (2022).

Nota-se que nas Figura 21 e Figura 22 aconteceu um transitório na energização do banco de capacitor, o DHT obtido da corrente encontra-se 33.69%.

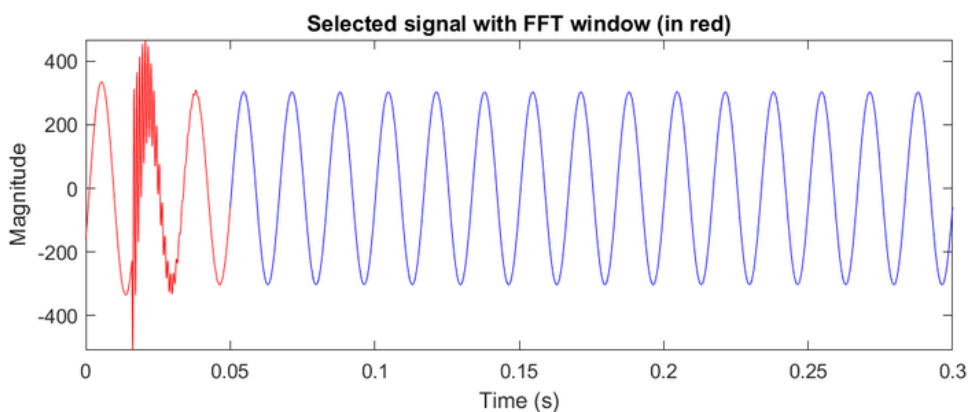
Figura 21 — DHT Corrente Simulação 2



Fonte: O autor (2022).

Foram usados 3 ciclos de ondas para realizar uma análise completo da forma de onda da corrente, para pegar um instante antes, durante e depois do transitório da corrente.

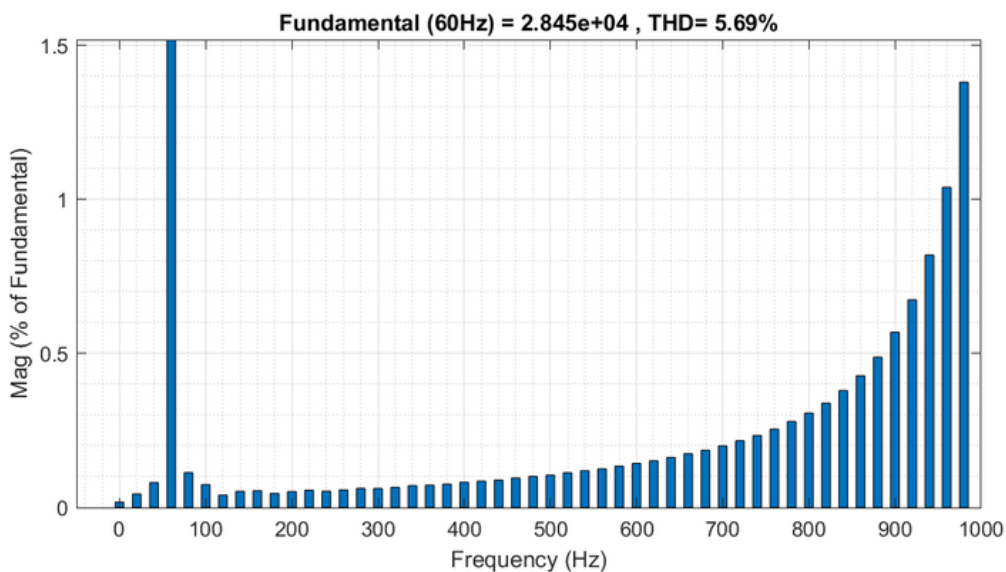
Figura 22 — Parte da forma de Onda Analisada Corrente Simulação 2



Fonte: O autor (2022).

Durante o transitório de tensão, foi obtido o valor da DHT é 5.69%, que está um pouco acima do valor estabelecido [8].

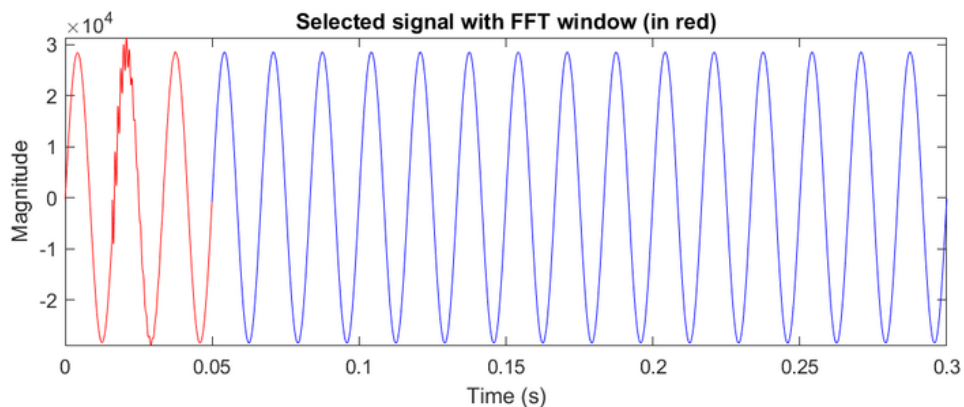
Figura 23 — DHT de Tensão Simulação 2



Fonte: O autor (2022).

Para analisar a forma de onda da tensão, foram utilizados três ciclos, para pegar o transitório completo, antes da energização do banco de capacitor, durante e após esse transitório acontecer.

Figura 24 — Parte da forma de Onda Analisada Tensão Simulação 2



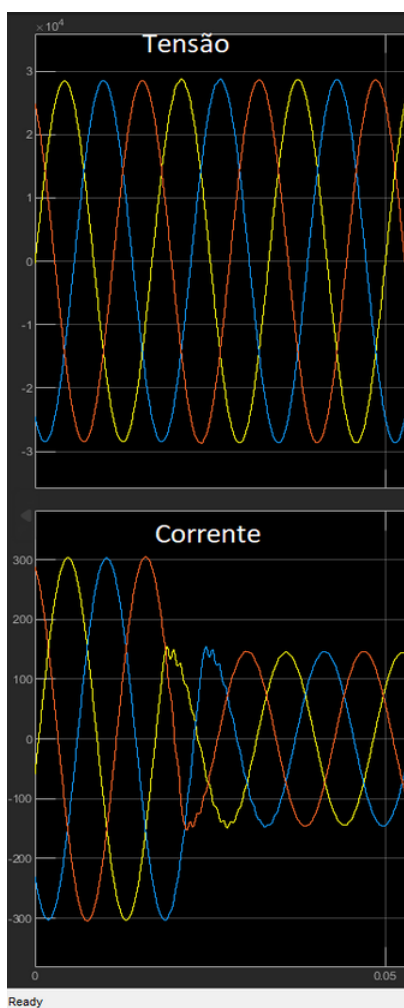
Fonte: O autor (2022).

3.5.1.3 SITUAÇÃO 3- SISTEMA ELÉTRICO COM DESLIGAMENTO PARCIAL DAS CARGAS

Para a terceira parte do estudo foram desligadas algumas das cargas, Média Tensão, CCM1, CCM2, CCM3 E CCM4, com o objetivo de estudar que o banco de capacitor causa no sistema, tendo uma parte das cargas desernegizadas.

Podemos notar que no instante de tempo 0.016s acontece o desligamento parcial, temos um transitório na corrente.

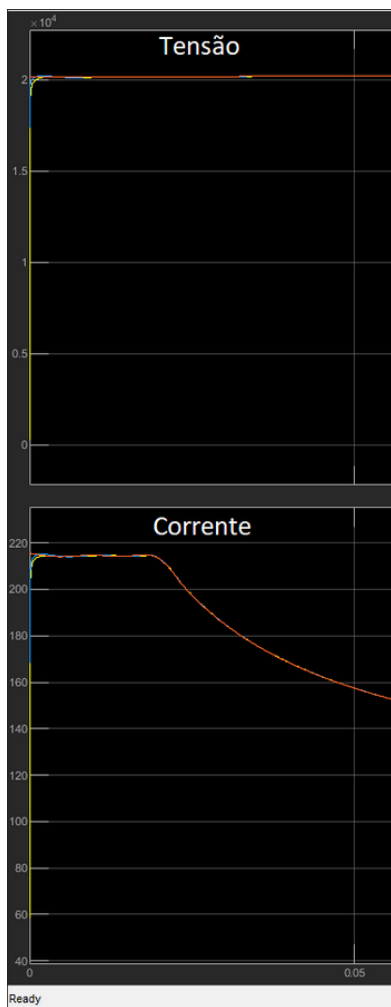
Figura 25 — Forma de Onda Tensão e Corrente Simulação 3



Fonte: O autor (2023).

Olhando os valores RMS da Tensão e da corrente podemos que a tensão não teve variações nos seus valores, porém a corrente teve um decaimento, mostrando ser condizente com o desligamentos parcial das cargas.

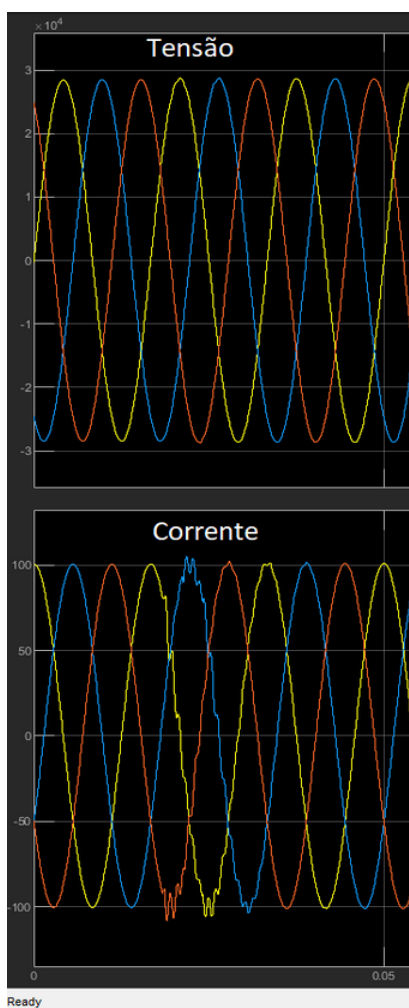
Figura 26 — Tensão RMS e Corrente RMS Simulação 3



Fonte: O autor (2023).

Foram analisadas as tensões e correntes no banco de capacitores antes e depois da energização para verificar o momento de transitório.

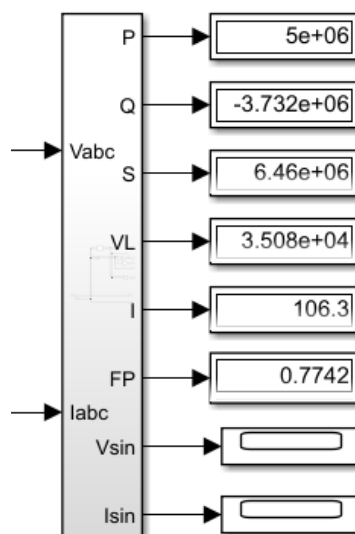
Figura 27 — Forma de Onda Tensão e Corrente no Capacitor Simulação 3



Fonte: O autor (2023).

Os valores obtidos da simulação foram potência ativa 5 MW, potência anterior 12,8 MW. Potência reativa teve seu valor alterado para -3,73MVAR, valor da simulação anterior 2,35MVAR, demonstra-se que o sistema passou de indutivo para capacitivo. Potência Aparente 6,46 MVA, valor anterior 13,25 MVA. Tensão de linha 35,08 KV. Corrente 106,3 A, valor da simulação anterior 219 A e fator de potência 0,77. Nota-se com o desligamento de algumas cargas, o sistema torna-se reativo capacitivo.

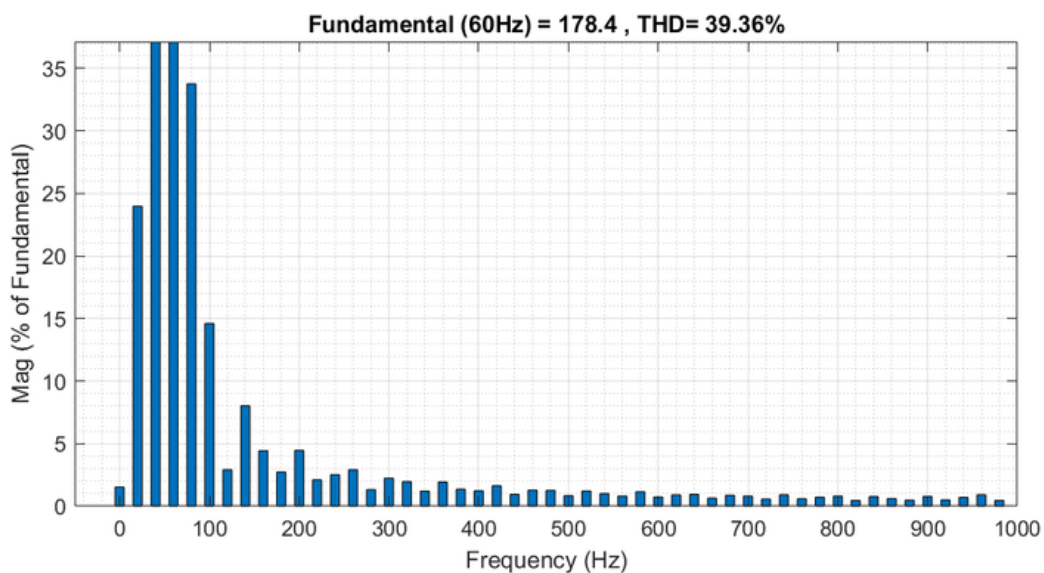
Figura 28 — Medidas Elétricas Simulação 3



Fonte: O autor (2022).

Tem-se um transitório na corrente no valor de 39,36%, devido ao desligamento parcial da carga.

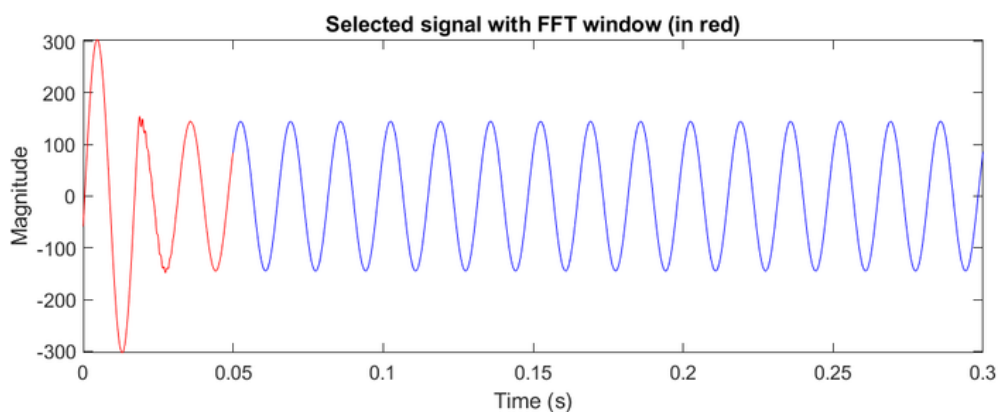
Figura 29 — DHT Corrente Simulação 3



Fonte: O autor (2022).

Forma de onda analisada da corrente para calcular o DHT da corrente, usou-se três ciclos da forma de onda de acordo com a Figura 30.

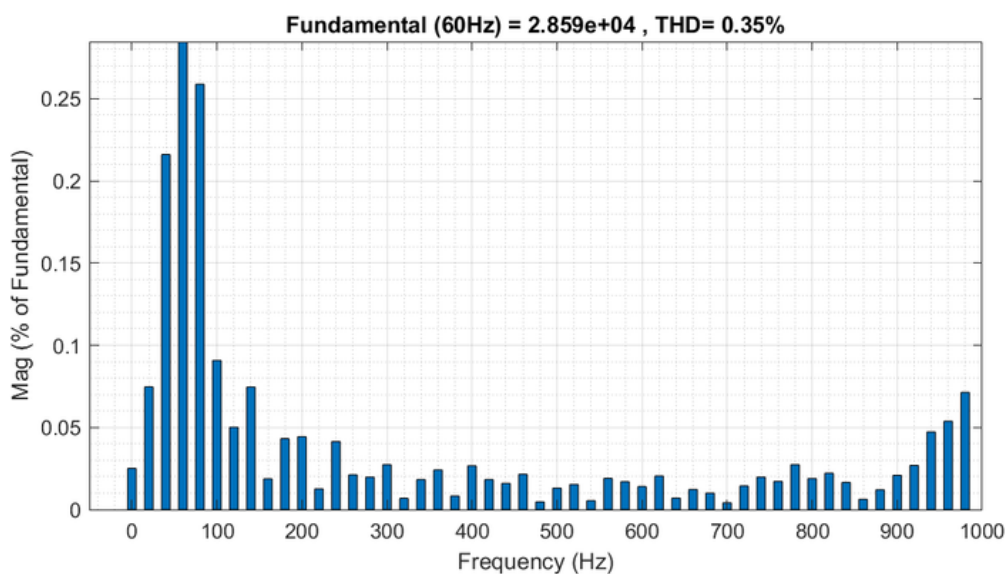
Figura 30 — Parte da forma de Onda Analisada Corrente Simulação 3



Fonte: O autor (2022).

A tensão não teve tanta variação, a sua THD de Tensão está abaixo do valor do IEEE que é 5% [8], usado como referência para esse nível de tensão, dados presentes na Figura 31.

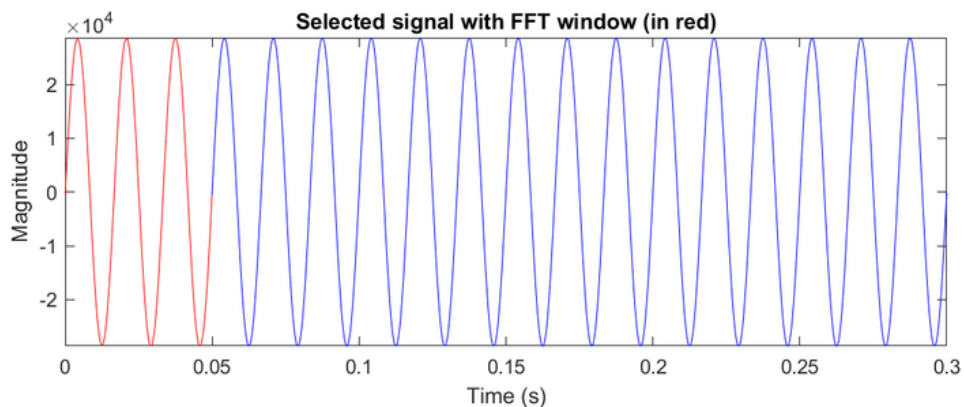
Figura 31 — DHT de Tensão Simulação 3



Fonte: O autor (2022).

Na Figura 32 é ilustrada em vermelho o período de tempo referente a três ciclos consecutivos para realizar a análise do transitório completo.

Figura 32 — Parte da forma de Onda Analisada Tensão Simulação 3

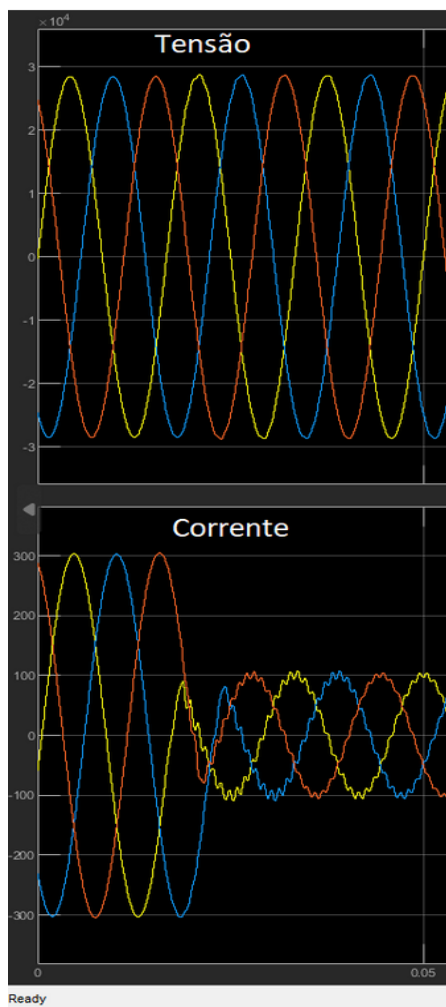


Fonte: O autor (2022).

3.5.1.4 SITUAÇÃO 4-SISTEMA ELÉTRICO COM DESLIGAMENTO TOTAL DAS CARGAS

A última simulação realizada foi o desligamento total de todas as cargas deixando apenas o banco de capacitores ligado, portanto houve o desligamento dos circuitos de MÉDIA TENSÃO, CCM1, CCM2, CCM3, CCM4, SD1, SD2, REBOBINADEIRA, UTILIDADES E ACABAMENTOS.

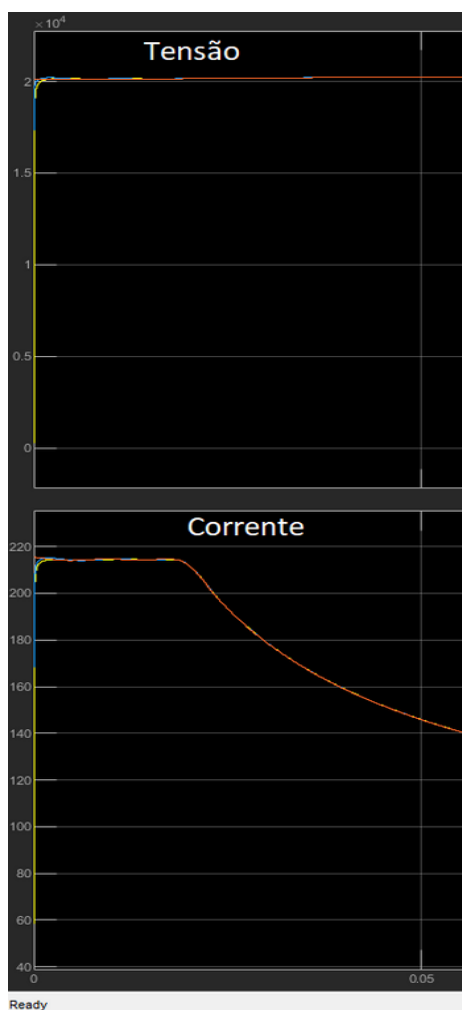
Figura 33 — Forma de Onda Tensão e Corrente Simulação 4



Fonte: O autor (2023).

A partir da Figura 34 nota-se que há um decaimento da corrente devido ao desligamento das cargas, a tensão mantém-se constante.

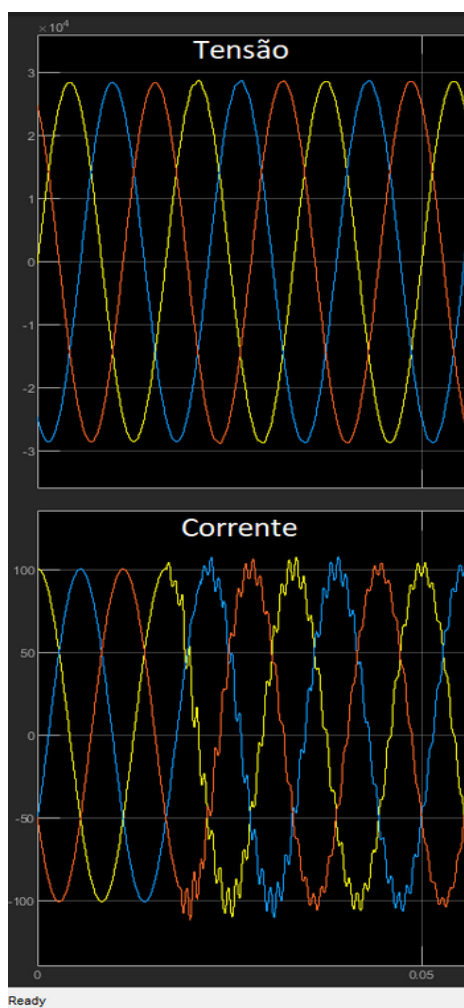
Figura 34 — Tensão RMS e Corrente RMS Simulação 4



Fonte: O autor (2023).

Conforme a Figura 35, não houve qualquer transitório detectado na tensão. No caso da corrente, há um transitório presente, que é decorrente do desligamento total das cargas.

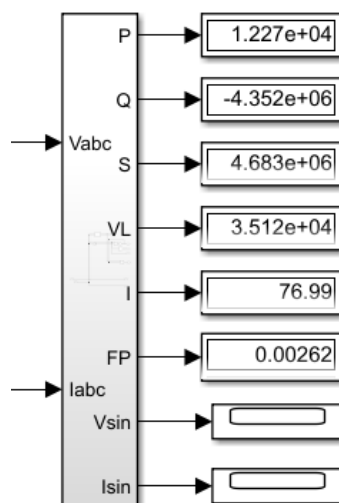
Figura 35 — Forma de Onda Tensão e Corrente no Capacitor Simulação 4



Fonte: O autor (2023).

Os valores obtidos da simulação 4 foram potência ativa 12,2 kW, potência ativa totalmente diferente das outras simulações, potência reativa teve seu valor alterado para -4,35MVar, mostrando que a carga é totalmente capacitiva, potência aparente 4,68 MVA, Tensão de Linha 35,12 KV, Corrente 76,99 A e fator de potência 0,002, sendo muito baixo, devido a potência aparente ser bem maior que a potência ativa.

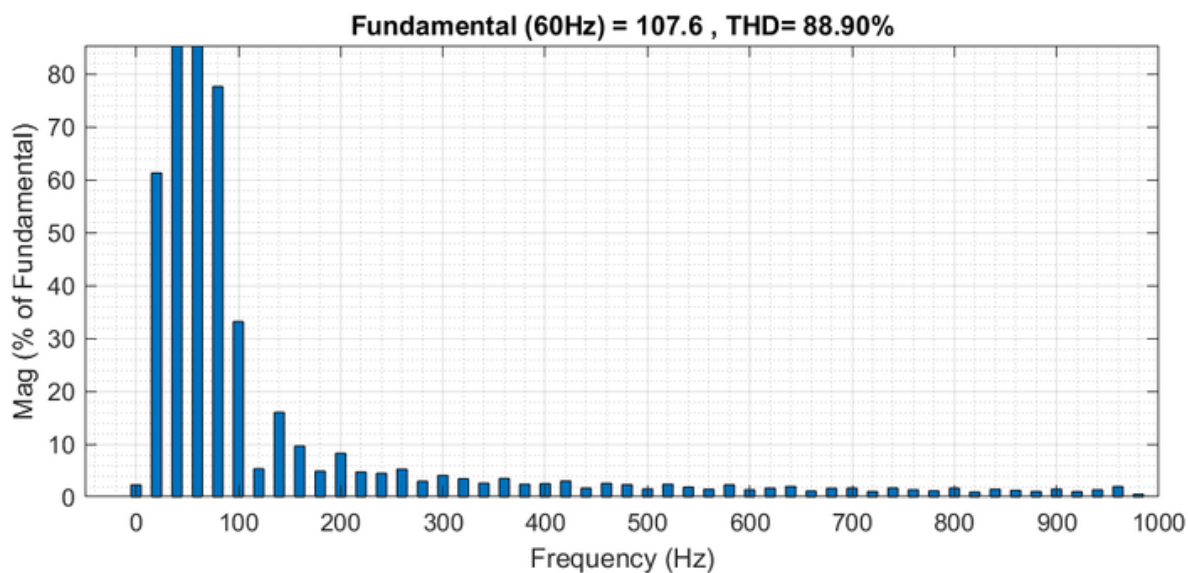
Figura 36 — Medidas Elétricas Simulação 4



Fonte: O autor (2022).

Conforme a Figura 37, nota-se um DHT de corrente no valor de 88,90%, devido ao desligamento total das cargas, ficando apenas o banco de capacitores ligado.

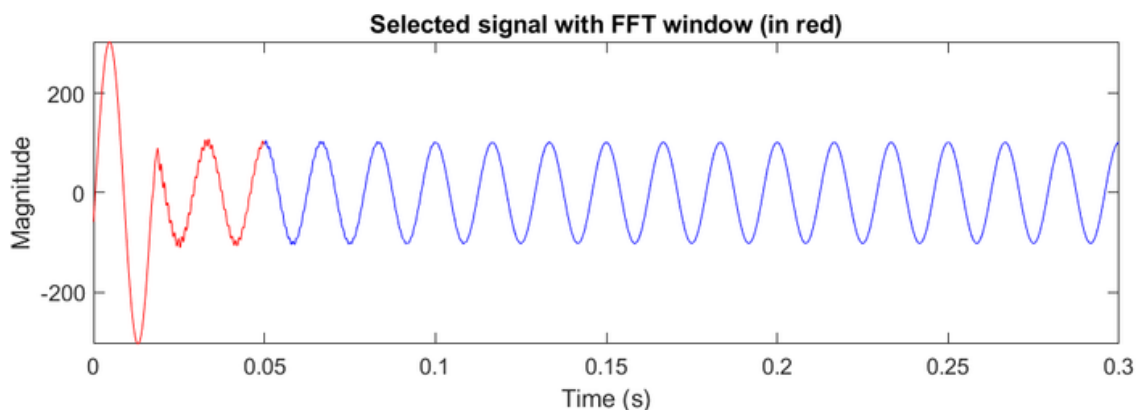
Figura 37 — DHT Corrente Simulação 4



Fonte: O autor (2022).

Para analisar o período de transitório analisou-se 3 ciclos da forma de onda da corrente, para pegar todo o período de transitório, antes, durante e depois, conforme ilustrado na Figura 38.

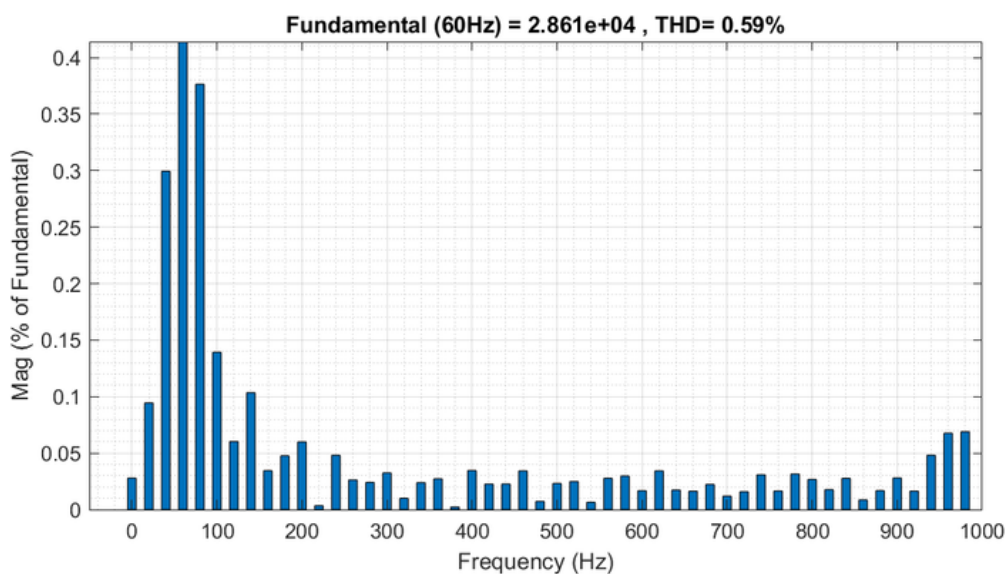
Figura 38 — Parte da forma de Onda Analisada Corrente Simulação 4



Fonte: O autor (2022).

Conforme a Figura 39, a tensão apresentou pequena DHT no valor de 0,59%, sendo esse valor abaixo do valor do IEEE que é 5%, usado como referência para uma boa qualidade de energia.

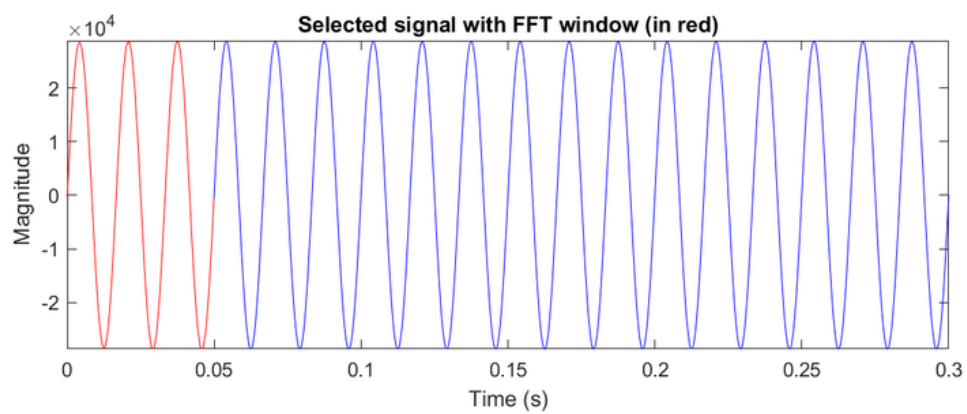
Figura 39 — DHT de Tensão Simulação 4



Fonte: O autor (2022).

Para analisar o transitório de tensão, analisou-se os três ciclos da forma de onda da tensão, para pegar todo o período de variação conforme Figura 40.

Figura 40 — Parte da forma de Onda Analisada Tensão Simulação 4



Fonte: O autor (2022).

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho visa analisar o impacto da correção do fator de potência no sistema elétrico industrial, onde foi apontada a coleta de dados, para posterior validar as simulações realizadas.

Conclui-se que a análise de dados coletados por medidor de qualidade de energia e dados gerados com simulação de sistema elétrico, foi possível notar que ao ligar o banco de capacitor o fator de potência foi corrigido para 0,96 cumprindo seu papel de fazer a correção da potência reativa, porém ao fazer o desligamento parcial de algumas cargas, o comportamento da carga que era indutivo passou a ser capacitivo, ou seja, o banco instalado fornece muita potência reativa capacitiva para o sistema, sendo necessário o seu desligamento, para que não se torne capacitivo.

O transitório de tensão analisado ao fazer a energização do banco de capacitor, está dentro da faixa estipulada pelo IEEE, como boa qualidade de energia, porém o transitório de corrente observado encontra-se muito elevado, chamando a atenção para cargas sensíveis como sensores, dispositivos eletrônicos, podendo ocasionar a queima destes equipamentos.

Sobretensões de 175% do valor nominal foram encontradas, isso chama a atenção para seu nível de intensidade, dependendo da seletividade do sistema elétrico pode atuar disjuntores ou relés de proteções contra sobretensões, no pior caso levar a queima de equipamentos. Sobrecorrentes de 537% do valor nominal, foram encontradas ao fazer a energização do banco de capacitor, podendo prejudicar cargas sensíveis, como inversores de frequência

Como trabalhos futuro poderá ser feito uma análise da possibilidade de acontecer uma ressonância entre o banco de capacitores e a carga e/ou a rede. Nota-se a necessidade de um estudo de um filtro de dessintonia para mitigar o efeito do chaveamento do banco de capacitores no sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**: de acordo com a norma brasileira NBR 5419:2015. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- [2] ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL N°1000**. 2021. 170 p.
- [3] MAMEDE FILHO, J. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- [4] BAGGINI, A. **Handbook of Power Quality**. England: John Wiley & Sons LTD, 2008.
- [5] MIRANDA, G.C; PRIMO, H.F. **Estudo de mitigação de transitórios de chaveamento de capacitores**. Revista Eletricidade Moderna, 2017, p. 24-33.
- [6] WEG, CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hda/ha0/WEG-capacitores-para-correcao-do-fator-de-potencia-50009818-pt.pdf>, p. 52.. Acesso em: 26 jan. 2023.
- [7] SCHNEIDER, Eletric. **Medidor ION7650**: Folha de Dados do Produto. 2022, p. 1-3.
- [8] IEEE Power and Energy Society, IEEE Std 519-2014. Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. **IEEE**. 29 p, 2014.
- [9] MARTINHO, Edson. **Distúrbio da Energia Elétrica**. ÉRICA, 2009. 144 p.