

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

DAVID HARLEY DE SOUSA LEITE

**ANÁLISE DAS TAXAS DE DISTORÇÕES DE HARMÔNICAS E SUAS
CORREÇÕES: UM ESTUDO DE CASO REALIZADO EM UMA INSTITUIÇÃO
DE ENSINO DO SERTÃO PARAIBANO**

Cajazeiras-PB
2025

DAVID HARLEY DE SOUSA LEITE

**ANÁLISE DAS TAXAS DE DISTORÇÕES DE HARMÔNICAS E SUAS
CORREÇÕES: UM ESTUDO DE CASO REALIZADO EM UMA INSTITUIÇÃO
DE ENSINO DO SERTÃO PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. José Tavares de Luna Neto.

Cajazeiras-PB
2025

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

L533a Leite, David Harley de Sousa.

Análise das taxas de distorções de harmônicas e suas correções :
um estudo de caso realizado em uma instituição de ensino do sertão
paraibano / David Harley de Sousa Leite. – Cajazeiras, 2025.

14f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da
Paraíba, Cajazeiras, 2025.

Orientador: Prof. José Tavares de Luna Neto.

1. Eletricidade. 2. Eficiência energética. 3. Distorção harmônica
total. 4. Instalações elétricas. I. Instituto Federal da Paraíba. II. Título.

IFPB/CZ

CDU: 621.3(043.2)

DAVID HARLEY DE SOUSA LEITE

**ANÁLISE DAS TAXAS DE DISTORÇÕES DE HARMÔNICAS E SUAS
CORREÇÕES: UM ESTUDO DE CASO REALIZADO EM UMA INSTITUIÇÃO
DE ENSINO DO SERTÃO PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso, sob forma de artigo, submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 06 de Março de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



JOSE TAVARES DE LUNA NETO
Data: 20/03/2025 15:41:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Tavares de Luna Neto – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Documento assinado digitalmente



SUELIO FERNANDES CAROLINO
Data: 20/03/2025 15:18:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Suelio Fernandes Carolino – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

Documento assinado digitalmente



JOSE WIRON BARBOSA PROCOPIO
Data: 20/03/2025 15:32:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Wiron Barbosa Procópio – IFCE-*Campus* Cedro
Examinador 2

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Artigo apresentado à coordenação do curso como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

ANÁLISE DAS TAXAS DE DISTORÇÕES DE HARMÔNICAS E SUAS CORREÇÕES: UM ESTUDO DE CASO REALIZADO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO DO SERTÃO PARAIBANO

DAVID HARLEY DE SOUSA LEITE

david.harley@academico.ifpb.edu.br

JOSÉ TAVARES DE LUNA NETO

Jose.luna@ifpb.edu.br

RESUMO

Com o passar dos anos e com o desenvolvimento tecnológico, o uso de energia elétrica passou a ser cada vez mais requisitado nas residências, comércios e indústrias. Sendo assim, há uma crescente demanda pela utilização de energias renováveis como também outras medidas que otimizem a geração de energia entre outras fontes de energia já existentes. O presente estudo busca compreender os efeitos das taxas de distorções harmônicas, dimensionar um filtro capacitivo para atenuar a harmônica de 3ª ordem. Os dados foram coletados na subestação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, *campus* Cajazeiras. Os resultados obtidos mostraram-se promissores para uma futura simulação a fim de validar a sua eficiência e posteriormente desenvolvê-lo para implementar na prática.

Palavras-Chave: Eficiência Energética; Taxa de Distorção Harmônica; Filtro Capacitivo; Dimensionamento.

ABSTRACT

Over the years, with technological advancements, the use of electric energy has become increasingly demanded in households, businesses, and industries. As a result, there is a growing demand for the use of renewable energy sources and methods to optimize the existing generation. This study aims to understand the effects of harmonic distortion rates, design a capacitive filter to attenuate the 3rd-order harmonic. Data were collected at the substation of the Federal Institute of Education, Science, and Technology, Cajazeiras campus. The results obtained proved promising for a future simulation to validate its efficiency and subsequently develop it for practical implementation.

Keywords: Energy Efficiency; Harmonic Distortion Rates; Capacitive Filter; Design.

1 INTRODUÇÃO

Com o constante avanço tecnológico, a energia elétrica se tornou indispensável, pois houve uma crescente demanda pela utilização de aparelhos elétricos e eletrônicos, como afirma Bakke (2016). A sociedade, no geral, depende do fornecimento de energia elétrica para atender às necessidades básicas, como transporte, alimentação e segurança. Atualmente, o Brasil passa

por uma crise energética, que segundo Tolmasquim (2000), entre 1990 e 2000 registrou-se um aumento na produção do recurso em 35%, enquanto a demanda cresceu cerca de 50%. Essa situação foi se perpetuando até que em 2021, segundo o Boletim Mensal de Energia, do Ministério de Minas de Energia (2021), a tarifa média de eletricidade residencial no país, teve alta de 11,4% no ano, enquanto a comercial houve um aumento de 12,3% e a industrial de 11,3%, levando-se a pensar em alternativas renováveis para a produção da energia elétrica.

Além disso, em um sistema de distribuição elétrica existem fatores que prejudicam a eficiência energética, e que podem causar a redução da vida útil dos equipamentos, um exemplo disso são as harmônicas, como mencionam Paulilo e Teixeira (2013). Os autores supracitados ainda afirmam que, essas distorções resultam em perdas de energia, já que se propagam pela rede, causando redução na eficiência dos sistemas e danos a diversos equipamentos conectados, não somente aos equipamentos locais, mas também, aos equipamentos que estão conectados ao circuito de distribuição total. Outrossim, são os problemas causados por essas perturbações, como sobrecorrente, sobretensão, aumento das vibrações e a perda precoce da durabilidade dos componentes eletrônicos. Tais efeitos afetam diretamente equipamentos como motores, transformadores e alternadores.

Ademais, no Brasil, existem legislações como a Lei nº 10.295 de 2001, intitulada Lei da Eficiência Energética, responsável por regularizar níveis mínimos de eficiência em edificações e também equipamentos de uso geral, além de utilizar de maneira eficaz os recursos energéticos e zelar pela preservação do meio ambiente. Portanto, o cenário atual reflete uma busca incessante por alternativas que não apenas atendam à crescente demanda de energia, mas também minimizem impactos ambientais. A introdução de tecnologias eletrônicas e elétricas eficientes apresenta-se como uma abordagem estratégica para enfrentar esses desafios. Os circuitos RLC (resistor, capacitor e indutor), com sua capacidade de corrigir fatores de potência, filtrar harmônicas indesejadas e estabilizar tensões, surgem como ferramentas promissoras para contribuir significativamente para a sustentabilidade energética.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo determinar os níveis de distorção harmônica presentes na subestação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), *campus* Cajazeiras por meio do analisador de rede da própria instituição, para que seja possível dimensionar um filtro passivo do tipo RLC visando a redução da taxa de distorção harmônica, além do dimensionamento de um capacitor.

Nos próximos tópicos, serão abordadas as etapas do processo de pesquisa, começando pelo levantamento bibliográfico presente no referencial teórico, seguido da descrição do processo metodológico do trabalho, que detalha como será feito o dimensionamento do filtro, e, por fim, a apresentação dos resultados e das considerações finais deste projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a elaboração da pesquisa, foi realizado um levantamento bibliográfico no que tange o desenvolvimento de um filtro para otimização da eficiência energética e trabalhos que já foram desenvolvidos por outros autores. Esse tipo de pesquisa correlaciona o tema a ser abordado, com uma série de estudos já realizados na área através de nomes como Carvalho (2022), Kassic (2008), D'Apresentação (2023), entre outros.

2.1 HARMÔNICAS

Tensões ou correntes harmônicas podem ser definidas como variações na onda senoidal da tensão e corrente. De acordo com Carvalho (2022), esses componentes indesejáveis são múltiplos inteiros da frequência fundamental do sinal de alimentação, também conhecida como

frequência de linha. Em um sistema elétrico ideal, as tensões devem ser perfeitamente estabilizadas.

Conforme D'Apresentação (2023), as harmônicas surgem quando se conectam as cargas referidas anteriormente à rede elétrica. A não linearidade dessas cargas é caracterizada quando a corrente não é proporcional à tensão aplicada. Além das distorções na corrente, a rede pode ainda apresentar distorções na sua tensão, que são originadas pela corrente distorcida fluindo através da impedância da rede elétrica.

2.1.1 Distorção Harmônica Total (THD)

As distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental (ANEEL, 2021). Sendo um meio de ter um indicador no sistema, a distorção é o resultado da corrente harmônica circulando através da impedância do sistema elétrico, onde para cada frequência possui uma queda de tensão específica. A forma de se quantificar a THD é especificada na Equação 01.

$$THD = \frac{V_{2ef} + V_{3ef} + V_{4ef} + \dots + V_{nef}}{V_{1ef}} \quad (01)$$

2.1 EFEITOS DAS HARMÔNICAS EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

A presença de harmônicas nos sistemas de alimentação de baixa tensão é inevitável, tendo em vista a presença de dispositivos não lineares, como inversores de frequência, fontes de alimentação e lâmpadas fluorescentes, que distorcem a onda senoidal da corrente ou da tensão, causando avarias em equipamentos elétricos.

2.1.1 Banco de Capacitores

De acordo com Santos (2017), em sistemas de energia com altos índices de harmônicas de tensão ou corrente, as limitações operacionais são frequentemente ultrapassadas, levando a falhas no banco de capacitores. Como a reatância capacitiva é inversamente proporcional a frequência, as correntes não filtradas no sistema tendem a fluir para o banco de capacitores. Esses bancos, ao atuarem como um ponto de escoamento para essas correntes, acabam sobrecarregados.

2.1.2 Transformadores

De acordo com Kassic (2008), as harmônicas são responsáveis pelo aumento do aquecimento do transformador. As distorções na corrente causam um elevado desgaste em peças compostas por cobre e/ou ferro, além de perdas no fluxo de dispersão. Outro efeito a ser citado é a circulação de harmônicas triplas nos enrolamentos conectados em delta, podendo ocasionar sobrecarga no componente.

2.1.3 Geradores e Motores

Segundo Kassic (2008), as harmônicas afetam o torque das máquinas, gerando ruídos audíveis, podendo ocorrer batimentos e até mesmo a excitação de ressonâncias mecânicas das máquinas devido a criação de oscilações. Sendo que a presença desses batimentos ou pulsões podem afetar a qualidade dos produtos de um processo industrial sensível.

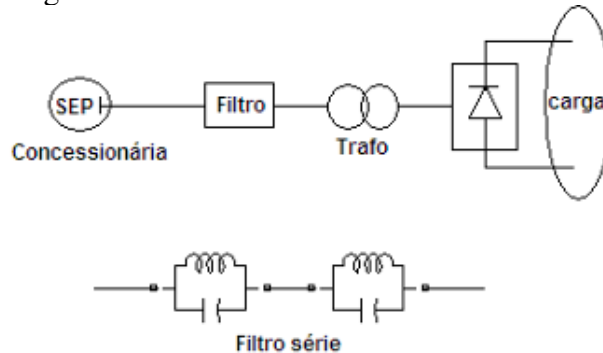
2.2 FILTRO CAPACITIVO

As taxas de distorções harmônicas causam desafios imensuráveis no dia-a-dia, uma vez que a variação de onda da frequência fundamental é alterada de acordo com a sua ordem. Quanto maior for a taxa percentual, maior serão os problemas encontrados, principalmente relacionados à qualidade de energia e a vida útil dos equipamentos. Por tanto, torna-se necessário o uso de medidas corretivas ou preventivas, para reduzir as harmônicas presentes nos barramentos e linhas do sistema elétrico.

Para diminuir os efeitos das harmônicas, é importante a utilização dos filtros harmônicos e que mantém a qualidade da energia elétrica e realizar as devidas manutenções nos equipamentos elétricos. Um dimensionamento de filtro bem realizado é fundamental para reduzir os impactos negativos das harmônicas em todo sistema elétrico.

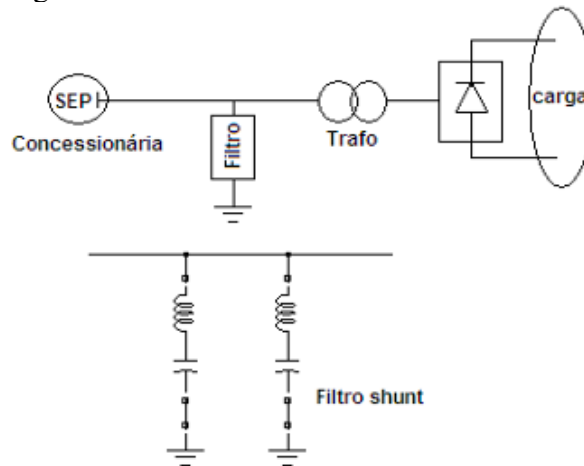
De acordo com Teixeira (2009), existem dois tipos de filtro em relação ao modo de conexão com o sistema. O filtro ativo em série é ligado à rede de forma a impedir a circulação de uma determinada harmônica entre a carga e o circuito elétrico, conforme pode ser observado na Figura 01. Este filtro pode ser formado por uma indutância e capacitância em paralelo e representa uma grande impedância para a frequência que se deseja evitar. Já o filtro *shunt* é composto basicamente de capacitor, indutor e resistor, formando um circuito RLC, que é conectado em paralelo ao sistema, como mostrado na Figura 02.

Figura 01 - Conexão e circuito do filtro série.



Fonte: Teixeira (2009).

Figura 02 - Conexão e circuito do filtro *shunt*.



Fonte: Teixeira (2009).

Em seu trabalho, Kassic (2008) menciona que os filtros *shunt* criam caminhos de baixa impedância, impedindo que as harmônicas de corrente invadam o sistema através do transformador. Quando o dimensionamento é feito de maneira correta, os filtros auxiliam os capacitores na correção do fator de deslocamento referentes às componentes fundamentais de tensão e corrente, gerando no final, um fator de potência verdadeiro próximo ao valor máximo de 1.

De acordo com Virgens *et al.* (2023), para determinar o desempenho dos filtros é necessário especificar um parâmetro adimensional Q , que indica a perda de energia em relação a que foi armazenada pelo sistema. Trata-se de um valor de referência para o ajuste da atuação do filtro, tornando o sistema mais eficaz. Segundo Kassic (2008), o fator de qualidade do filtro *shunt* usualmente fica entre valores de 20 a 50, quanto mais perto de 20 maior será a banda passante e se tornará menos suscetíveis à perda de sintonia, porém, possuirá perdas de energia mais elevadas.

Em geral, o filtro *shunt* é dimensionado para suportar somente a corrente harmônica para a qual está sintonizado, somada à corrente fundamental menor que a do circuito principal. Portanto, ele é mais barato que um filtro ativo em série da mesma eficácia. Na prática, é o filtro mais utilizado pela sua menor complexidade e menor custo, e o seu dimensionamento será abordado no tópico 4.3.

Para a presente pesquisa, utilizou-se diversas equações para dimensionar o filtro, estas foram extraídas integralmente de Kassic (2008) e podem ser visualizadas abaixo. Onde a Equação 02 refere-se à resistência série equivalente (R_h) do filtro para a harmônica de ordem h . Após determinar o valor de R_h , utilizando a Equação 03, pode-se determinar o valor do indutor L_h e posteriormente, utilizando a Equação 04, o valor do capacitor C_h .

$$R_h = \frac{K_h I_L}{(I_h^2 - K_h^2 I_L^2)} \left[R_s K_h I_L \pm \sqrt{[(R_s I_h)^2 + (h\omega L_s)^2 (I_h^2 - K_h^2 I_L^2)]} \right] \quad (02)$$

$$L_h = \frac{R_h Q}{h\omega} \quad (03)$$

$$C_h = \frac{L}{h^2 \omega^2 L_h} \quad (04)$$

Onde:

- R_h : resistência série equivalente do filtro para harmônica n ;
- K_h : valor máximo permitido para a harmônica;
- I_L : valor eficaz da componente fundamental do alimentador;
- I_h : valor eficaz da componente harmônica de ordem h da corrente do alimentador;
- h : ordem da harmônica;
- R_s : resistência série equivalente do alimentador;
- L_s : indutância série equivalente do alimentador;
- ω : frequência angular fundamental da tensão do alimentador;
- Q : fator de qualidade do filtro.

3 MÉTODO DA PESQUISA

Para o desenvolvimento do estudo, inicialmente realizou-se uma pesquisa bibliográfica abrangente em periódicos indexados, livros e artigos científicos de referência na área de

harmônicas e filtros capacitivos. O objetivo dessa etapa foi construir uma base teórica sólida, compreendendo os métodos, as formulações matemáticas e as normas aplicáveis necessárias para embasar o desenvolvimento da pesquisa.

Posteriormente, determinou-se o local de estudo, que foi a subestação do Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia da Paraíba, *campus* Cajazeiras. A escolha do ambiente foi um fator crucial para determinar as características do sistema elétrico e o real funcionamento da subestação. Para obter as taxas de distorções harmônicas, utilizou-se o analisador de rede da marca Fluke, modelo 430-II, que foi inserido nos dois barramentos, nas três fases (nomeadas de A, B e C), durante um período de 48 horas. Destaca-se que a instalação do analisador foi realizada entre os dias 19 e 21 de dezembro, em que o instituto estava em na última semana de aula antes do recesso, portanto, mesmo que ainda tinham aulas, o maior uso de equipamentos elétricos e eletrônicos era da parte administrativa. Após a coleta, todos os dados foram extraídos para subsidiar o dimensionamento dos componentes do filtro.

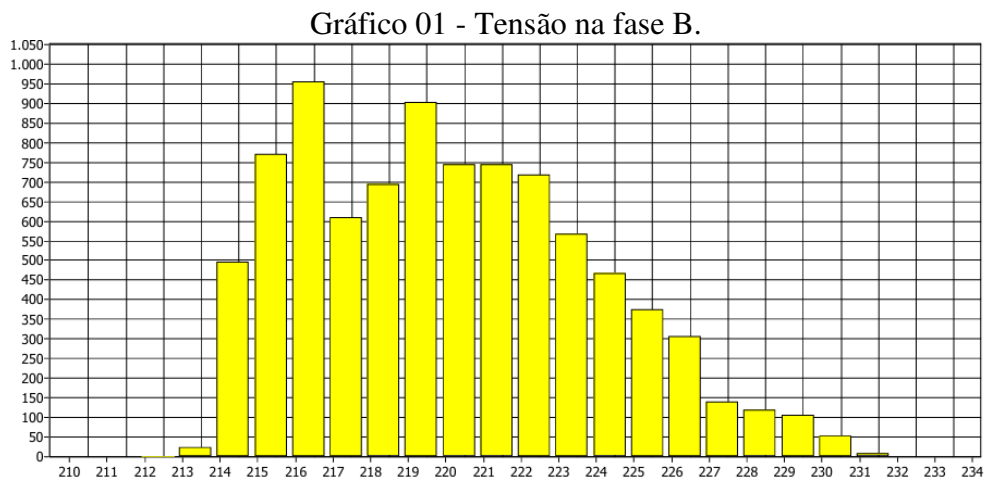
Em seguida, as formulações selecionadas por meio de pesquisas acerca do tema e das referências normativas, foram utilizadas para o cálculo do resistor, capacitor e indutor do filtro *shunt*, para a fase B, já que a mesma apresentou o índice de distorção a ser corrigido. Essa abordagem garantiu que os componentes fossem adequados às condições reais de operação do sistema elétrico analisado. Todos os resultados obtidos através dos dimensionamentos foram discutidos à luz da literatura especializada, demonstrando assim, a eficácia dos métodos empregados.

4 RESULTADOS

Mediante o processo relatado na metodologia, foram realizadas as etapas necessárias para o dimensionamento do filtro capacitivo. Desde o levantamento de dados até os cálculos extraídos de Kassic (2008), de maneira a cumprir com o objetivo de atenuar as harmônicas de terceira ordem.

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

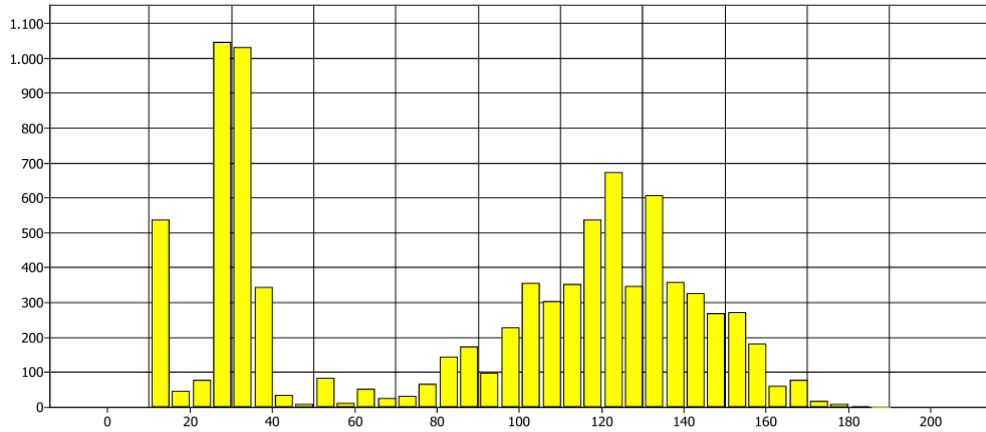
Inicialmente, após a implementação do analisador de rede na subestação do *campus*, os dados coletados pelo aparelho foram extraídos, para posteriormente dimensionar o filtro capacitivo. O Gráfico 01 mostra a variação de tensão (eixo x) registrada na fase B em função do número de eventos (eixo y), os valores mais expressivos estão entre 216 V a 223 V. No entanto, devido ao baixo consumo de energia no período da coleta dos dados, foi adotado o valor máximo de 231,14 V.



Fonte: Autoria própria (2025).

Em seguida, tem-se o Gráfico 02, que expressa os valores de corrente (eixo x) na fase B em função do número de acontecimentos (eixo y). Outro dado que também foi coletado, é referente ao valor de pico registrado, sendo ele igual a 185,20 A.

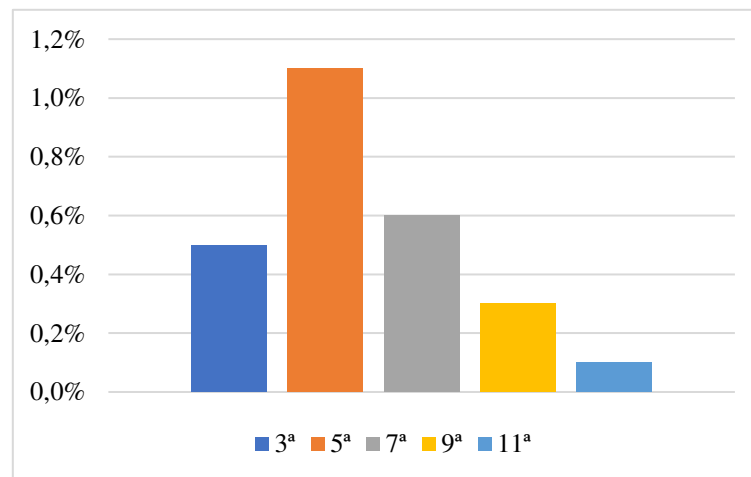
Gráfico 02 - Corrente na fase B.



Fonte: Autoria Própria (2025).

Posteriormente, tem-se o Gráfico 03 que expressa as taxas de distorções harmônicas de tensão registradas durante o levantamento. Pode-se observar o percentual de distorção para a 3ª, 5ª, 7ª, 9ª e 11ª harmônica, respectivamente. Porém, de acordo com a Tabela 01, as distorções de tensão harmônicas estão dentro do valor exigido pela IEEE 519 (ANSI, 2022), estando abaixo de 3%. Além da Tabela 02, que mostra o limite de distorção de acordo com o Anexo VIII da Resolução Normativa nº 956 (ANEEL, 2021), onde mostra que os valores da 5ª, 7ª, e 11ª estão abaixo do limite de 6% e os valores da 3ª e 9ª harmônica abaixo do limite de 6,5%.

Gráfico 03 - Taxa de distorção de tensão harmônica na fase B.



Fonte: Autoria Própria (2025).

Tabela 01: Limites de distorção harmônica para sistemas de baixa tensão.

THD	Aplicações especiais	Sistemas comuns	Sistemas dedicados
	3%	5%	10%

Fonte: Adaptada da IEEE 519 (ANSI, 2022).

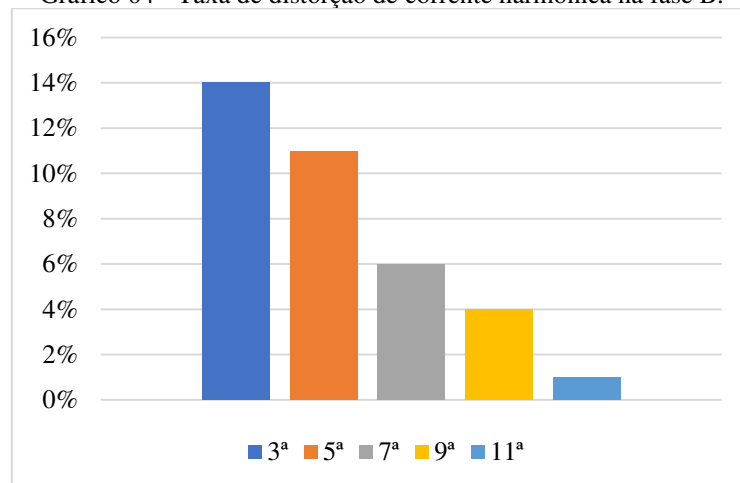
Tabela 02: Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental)

Indicador	$V_n \leq 2,3 \text{ kV}$	$2,3 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
DTT95%	10,0%	8,0%	5,0%
DTT _p 95%	2,5%	2,0%	1,0%
DTT _i 95%	7,5%	6,0%	4,0%
DTT ₃ 95%	6,5%	5,0%	3,0%

Fonte: Adaptado do Anexo VIII da resolução normativa nº 956 PRODIST (ANEEL, 2021).

Por fim, tem-se as taxas de distorções de correntes harmônicas registradas durante o levantamento. Através do Gráfico 04, também para a fase B, pode-se observar o percentual de distorção para a 3^a, 5^a, 7^a, 9^a e 11^a harmônica, respectivamente.

Gráfico 04 - Taxa de distorção de corrente harmônica na fase B.



Fonte: Autoria Própria (2025).

4.2 DIMENSIONAMENTO DO FILTRO

Primeiramente, deve-se calcular o valor de curto-circuito da rede. Através dos Gráficos 01 e 02, constatou-se que os valores de corrente (I_p) e tensão (V_p) fundamental são respectivamente de 185,2 A e 231,14V. Através das Equações 10 e 11, encontra-se a tensão eficaz da linha na frequência fundamental (V_{sef}) e corrente máxima solicitada pela carga na frequência fundamental (I_L).

$$V_{sef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{231,14}{\sqrt{2}} = 163,44 \text{ V} \quad (10)$$

$$I_L = \frac{I_p}{\sqrt{2}} = \frac{185,2}{\sqrt{2}} = 130,96 \text{ A} \quad (11)$$

Com esses valores torna-se possível calcular a corrente de curto-circuito no sistema (Z_s), determinada pela Equação 12. Seguido da razão entre as correntes, encontrada através da Equação 13.

$$Z_s = \sqrt{0,00485^2 + (376,99 * 0,127)^2} = 18,05 \quad (12)$$

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = \frac{163,44}{18,05} = 69,15 \quad (13)$$

A Tabela 03, apresenta os limites de distorção harmônica de corrente para sistemas de baixa tensão. A relação obtida entre a corrente de curto-circuito máxima (I_{sc}) e a corrente máxima solicitada pela carga (I_L), foi de 69,15, estando entre o limite de 50 a 100. Dessa maneira, para o sistema, o valor limite para taxa de distorção harmônica é de 12%, e através do Gráfico 04, para a 3ª harmônica o valor registrado foi de 14%, necessitando assim, do dimensionamento do filtro para a correção desse excedente. No entanto, para a 5ª, 7ª, 9ª e 11ª harmônica, não se faz necessário correção pois a taxa está de acordo com os limites estabelecidos.

Tabela 03: Limites de distorção harmônica de corrente para sistemas de baixa tensão (120 V a 69 kV eficaz).

ISL/IL	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	THD
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Fonte: Adaptada da IEEE 519 (ANSI, 2022).

O valor da corrente de pico para a 3ª harmônica pode ser encontrado através da Equação 14, multiplicando a corrente fundamental pela taxa de distorção harmônica. Em seguida, através da Equação 15, encontra-se o valor eficaz da componente harmônica da corrente.

$$I_{ph} = I_p * THD_h = 185,2 * 0,14 = 25,93 \text{ A} \quad (14)$$

$$I_h = \frac{I_{ph}}{\sqrt{2}} = \frac{25,93}{\sqrt{2}} = 18,33 \text{ A} \quad (15)$$

Com a determinação desses dados, considerando um valor de k igual a 12 de acordo com a Tabela 02, a qualidade do filtro Q igual a 50 com o intuito de haver menos perdas de

energia, e a ordem da harmônica h igual a 3, através da substituição dos valores na Equação 02, encontra-se o valor do resistor do filtro igual a $0,86 \Omega$.

De maneira análoga, fazendo as devidas substituições, encontram-se os valores para o indutor e capacitor, através das Equações 16 e 17, respectivamente.

$$L_h = \frac{0,86 * 50}{3 * 376,99} = 37,95 \quad (16)$$

$$C_h = \frac{1}{3 * 376,99 * 0,86 * 50} = 20,60 \quad (17)$$

No trabalho de Santos (2017), foi constatado que, para a 3ª harmônica, houve uma redução de aproximadamente 98% após a implementação do filtro capacitivo no sistema elétrico. Levando em consideração que a taxa de distorção inicial era de quase 80% e posteriormente se enquadrou nos limites estabelecidos pela norma. Contrastando com os dados obtidos nesse estudo, pode-se concluir que com a implementação do filtro na rede, haveria redução significativa e se enquadraria nos limites especificados.

5 CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que, ao final do estudo, com base nas revisões teóricas realizadas, bem como na abordagem das equações e normas utilizadas na análise foi possível atingir o objetivo inicial. A pesquisa consistiu em realizar uma análise da subestação de energia para detectar problemas em relação às distorções harmônicas, buscando entender o impacto causado pelas cargas não lineares.

Consequentemente, foi observado que a distorção de corrente na terceira harmônica da fase B do transformador extrapolou o limite indicado pela norma IEEE 519 (ANSI, 2022). Para reduzir essa taxa, foi projetado um filtro com base nos dados de medição coletados pelo analisador de rede.

Essa pesquisa foi essencial para demonstrar como estratégias de controle e adequação podem melhorar o desempenho de sistemas elétricos. Aliás, a abordagem utilizada também oferece contribuições para a área de sustentabilidade, servindo como referência para futuros trabalhos, onde pode ser realizada a modelagem do sistema elétrico via *software* para simular seu comportamento e validar a eficácia do filtro, além de desenvolver o projeto e realizar a implantação do filtro no local de estudo, levando em consideração fatores como o custo de implementação e o tempo de retorno do valor gasto através economia na conta de luz. Porém, outra abordagem para eficiência energética pode ser realizada, através do dimensionamento de um banco de capacitores para correção de fator de potência da subestação. Dessa maneira, o estudo em questão não amplia somente o conhecimento técnico sobre o tema, mas também oferece contribuições para a área de sustentabilidade e eficiência no setor elétrico.

REFERÊNCIAS


- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Anexo VIII da Resolução Normativa n° 956**. [S.l.], dez. 2021. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_prodist_modulo_8_v13.pdf. Acesso em 2 jan. 2025.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - ANSI. **IEEE 519: Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems**. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, apr. 2022.
- BAKKE, Gretchen. **The Grid: The Fraying Wires Between Americans and Our Energy Future**. 1. Ed. Londres: Bloomsbury Publishing, 2016.
- BRASIL. Lei n° 10.295, de 18 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 138, p. 1-80, 11 out. 2001. Disponível em : [Lei n 10.295-2001.pdf](#) — Ministério de Minas e Energia [Lei n 10.295-2001.pdf](#) — Ministério de Minas e Energia. Acesso em 12 jan. 2025.
- CARVALHO, John Kennedy Soares. **Análise e comparação sobre diferentes formas de controle de filtros ativos trifásicos em diferentes situações do sistema elétrico**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Itumbiara, 2022. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/1682/1/tcc_John%20Kennedy%20Soares%20Carvalho.pdf. Acesso em 6 jan. 2025.
- D'APRESENTAÇÃO, Dancy Gonçalves. **Filtro ativo de potência aplicado à rede elétrica a quatro condutores**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica) - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.21/17489>. Acesso em 12 jan. 2025.
- GRADY, W. Mack; GILLESKIE, Robert J. Harmonics and how they relate to power factor. **EPRI Power Quality Issues & Opportunities Conference**, San Diego, nov. 1993. Disponível em: <https://studylib.net/doc/7951074/harmonics-and-how-they-relate-to-power-factor>. Acesso em 15 jan. 2025.
- KASSICK, Enio Valmor. **Harmônicas em Sistemas Industriais de Baixa Tensão**. Florianópolis: INEP, 2008.
- MME, Ministério de Minas e Energia -. **BOLETIM MENSAL DE ENERGIA**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/1BoletimMensaldeEnergiaAgosto2021Portugus.pdf>. Acesso em 05 jan. 2025.
- PEREIRA JÚNIOR, Vitor; MARTON, Ítalo Leonardo. Eficiência energética: correção de fator de potência por meio da utilização de banco de capacitores. **Revista UNINGÁ Review**, Astorga, v. 2, n. 3, p. 113-116, out. - dez. 2016. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/1887/1485>. Acesso em 20 jan. 2025.
- PAULILO, Gilson; TEIXEIRA, Mateus Duarte. Capítulo II: Harmônicos–conceitos. **O Setor Elétrico**, [S.l.], p. 34-42, 2013. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Ed85_fasciculo_qualidade_cap2.pdf. Acesso em 15 jan. 2025.
- PINYOL, Ramon. Harmonics: causes, effects and minimization. **Salicru White Paper**, [S.l.], 2015. Disponível em: [https://www.salicru.com/files/pagina/72/278/jn004a01_whitepaper-armonics_\(1\).pdf](https://www.salicru.com/files/pagina/72/278/jn004a01_whitepaper-armonics_(1).pdf). Acesso em 15 jan. 2025.
- POMILIO, José Antenor. Pré-reguladores de fator de potência. **FEE**, Campinas, 2014. Disponível em: <https://www.drb-assessoria.com.br/ep/Pre-reguladores%20de%20Fator%20de%20Potencia.pdf>. Acesso em 5 jan. 2025.

SANTOS, Caroline Crestani dos. **Filtros passivos para atenuação de distorções harmônicas em subestações de energia em plantas comerciais.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Londrina, 2017. Disponível em:
<https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/16385/1/CAROLINE%20CRESTANI%20DOS%20SANTOS.pdf>. Acesso em 16 jan. 2025.

TEIXEIRA, Douglas Ângelo. **Análise das distorções harmônicas** - estudo de caso em um sistema industrial. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-8CJHGU>. Acesso em 5 jan. 2025.

TOLMASQUIM, Maurício. As Origens da Crise Energética Brasileira. **Ambiente & Sociedade**, v. 1, n. 6, p. 179-183, 2000.

VIRGENS, Raquel Ribeiro das; FREITAS, Stefani Carolline Leal de; SENHORINI, Kathy Camila Cardozo Osinski; SILVA, Jadiel Carrapós da; BRITO, Beatriz de Barros. Aplicação e estudos computacionais de filtros passivos sintonizados em sistemas de energia de baixa tensão. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v.20, n.6, p. 2313-2334, 2023. Disponível em:
<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/1932/1575>. Acesso em 19 jan. 2025.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978
	Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100

Documento Digitalizado Restrito

Trabalho de Conclusão de Curso

Assunto:	Trabalho de Conclusão de Curso
Assinado por:	David Leite
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Restrito
Hipótese Legal:	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo da Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- David Harley de Sousa Leite, ALUNO (202012200033) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 20/03/2025 17:33:15.

Este documento foi armazenado no SUAP em 20/03/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1428259

Código de Autenticação: a8da3eebb4

