Análise de distúrbios elétricos na qualidade de energia na Rubro Calçados

Michel Campos Corrêa Castro
(michelcastro.ns@hotmail.com)

Higor Augusto Campos Ribeiro
(Higortrigo98@yahoo.com)

José Celso Alves Melgaço
Coordenação de Curso de Engenharia Elétrica Una Bom Despacho

Resumo – Apesar de ser um tema muito bem difundido no meio acadêmico, a qualidade de energia elétrica (QEE) ainda é um tema desconhecido pela grande massa. Sabendo disso buscou-se realizar um estudo detalhado de caso único na Rubro Industria de calçados, no intuito de analisar a qualidade de energia elétrica desta indústria e poder replicar em industrias semelhantes na cidade de Nova Serrana. Para isso foi necessário realizar medições na rede elétrica para coleta de dados e desenvolvimento de simulações e correções no sistema através de uso de software (SMD). Em seguida foi realizado uma pesquisa descritiva que detalha todo o processo necessário para visualizar os dados encontrados. Com isso foi possível verificar que a Rubro está em conformidade em relação ao desequilíbrio de tensão e frequência, no entanto o fator de potência encontrava-se fora do limite definido pela concessionária, o que ocasiona em multas por exceder a energia reativa. Com isso, é proposto através do software SMD que seja feita uma correção na rede adicionando um banco de capacitores a mesma. Dando prosseguimento ao estudo é constatado que se realizado a adição do banco de capacitores a rede, ocorreria uma redução significativa no custo relacionado a energia elétrica paga pela indústria.

Palavras-chaves – Qualidade de energia, consumo de energia, fator de potência.

1 Introdução

A qualidade de energia elétrica (QEE) de um sistema pode ser definida como um rede que atende os padrões estabelecidos pela agência regulamentadora, ANEEL. O estudo quanto a qualidade de energia elétrica se estendeu para as aplicações industriais dado o aumento de equipamentos eletrônicos, que dificultam o alcance dessa senoide pura com sua amplitude definida. É notado também que esses equipamentos ocasionam grande distúrbios elétricos na rede com o decorrer do tempo.

É entendido que a automação industrial veio para facilitar a vida das pessoas no processo de produção industrial, no entanto, é necessário que o - sistema de atendimento de energia elétrica apresentem maiores demandas para estimular os mais diversos aparelhos eletrônicos. Esses aparelhos eletrônicos que têm sido usados, estão cada vez mais sensíveis a mudanças nas formas de onda de tensão e corrente, o que ocasiona pequenos distúrbios na rede elétrica, no entanto, como são usados diversos equipamentos a rede elétrica sofre grande interferência e perda na sua QEE (Qualidade de Energia Eletrica).

Neste trabalho serão abordadas as principais causas de distúrbios que afetam na qualidade de energia elétrica do sistema. Ele também abordará métodos para corrigir os problemas de qualidade de energia elétrica, analisar o sistema e identificar os pontos a serem melhorados.

1.1 Problema de pesquisa

A utilização dos equipamentos eletrônicos de potência está cada dia mais presente no meio dos processos industrias, o que possibilita que sejam realizadas diversas tarefas e processos que não poderiam ser realizados anteriormente. Porém, esses equipamentos utilizam de dispositivos que se comportam como cargas não lineares, assim gerando distúrbios na rede elétrica, o que acaba tornando a qualidade de energia daquela indústria inferior. Diante da situação acima, foi proposto responder a seguinte questão: Como encontrar esses distúrbios e restaurar a qualidade de energia elétrica da rede da Rubro Industria de Calçados?

1.2 Hipóteses

- A alta qualidade de energia elétrica no sistema gera economia no consumo de energia elétrica.
- A alta qualidade de energia elétrica na indústria evita quedas repentinas de energia elétrica.
- Apenas com o uso de controlador de fator de potência é possível recuperar a qualidade de energia.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da energia elétrica dentro da Rubro Indústria de Calçado, investigar possíveis distúrbios na rede elétrica, e propor melhorias ao sistema.

1.3.2 Objetivos específicos

I. Pesquisar normas e processos acerca do tema para embasamento teórico;
II. Investigar alguns distúrbios causadores de uma baixa qualidade de energia e citar tais distúrbios;
III. Apresentar como adequar a Indústria para ter uma boa qualidade de energia elétrica.

2. Referencial Teórico

2.1 Introdução a qualidade de energia elétrica

2.1.1 O que é qualidade de energia elétrica

A qualidade de energia pode-se avaliar quanto à qualidade do serviço, como também a qualidade do produto, isso se referindo à capacidade de o sistema elétrico fornecer energia, com isso tendo as tensões equilibradas e com as ondas sem deformações, ou seja, tensões senoidais, equilibradas e com amplitudes e frequências constantes (BARROS, BORELLI e GEDRA, 2016).

Quando uma onda de corrente ou tensão desvia do seu sistema padrão, pode danificar algum equipamento ou até mesmo os equipamentos de geração de energia podem falhar.

2.2 Avaliação da qualidade de energia elétrica

Para poder avaliar se uma qualidade de energia estar bem qualificada, temos que levar em conta a parte encontrado os distúrbios nos equipamentos ligado à rede elétrica, nesse caso deixando de funcionar como deveria ser. Como por exemplo: motor vibrando muito, lâmpadas variando sua luminosidade e equipamentos que estão operando sobreaquecidos, isso é sinal que a qualidade de energia nesse lugar está bem baixa, gerando esses problemas citados.

Quando identificar essas falhas em sua instalação, é recomendado fazer um estudo para poder encontrar os problemas relacionados à energia elétrica. Esses problemas podem ser fáceis de resolver ou vão além de um simples problema técnico.

1. Em primeiro lugar encontrar os possíveis problemas;
2. Estudar os locais e condições onde o problema se manifesta;
3. Se for possível, registrar e medir as grandezas contendo os sintomas do problema;
4. Analisar os dados encontrados e confrontar os resultados obtidos com o estudo e simulações;
5. E por último, diagnosticar o problema, ver qual é a possível causa e propor uma solução.

É importante ressaltar também que, de acordo com (DECKMANN; POMILLIO, 2017) para que possa avaliar como está a qualidade da energia elétrica é a seguinte. Podemos afirmar que a deterioração imposta pelo distúrbio tem que ser qualificada e quantificada, nisso podemos verificar certos parâmetros com as normas estabelecidas, tais:

a) A continuidade do fornecimento, quantificada através da duração e da frequência das interrupções (índices DEC e FEC) de fornecimento de energia. Tais critérios e índices se referem à ausência de fornecimento de energia (qualidade de serviço).
b) O nível de tensão adequado, obtido através do controle dos limites mínimos e máximos de tensão dos consumidores, bem como de índice que avalie a frequência de violação dos mesmos limites para os consumidores conectados;
c) A distorção da forma de onda através da avaliação da presença de frequências harmônicas e de inter-harmônicas;
d) A regulação da tensão em torno dos valores nominais, mesmo com cargas variáveis, quantificando a amplitude e frequência das flutuações de tensão;
e) A frequência nominal da rede, que é estabelecida através do balanço de energia entre sistema produtor e consumidor;
f) O fator de potência, cujo valor mínimo atual (0,92) é regulamentado através de legislação específica;
g) O desequilíbrio entre fases, dado como valor percentual dos componentes de sequência negativa e zero, medidos em relação à sequência positiva. (DECKMANN; POMILLIO, 2017)

2.3 Fenômenos que afetam a qualidade de energia elétrica

2.3.1 Variação de Tensão

A variação da tensão é um problema na qualidade de energia, assim podendo afetar os equipamentos sensíveis, interromper um ciclo de uma produção e até mesmo gerar prejuízos financeiros (BEZERRA, 2003).

2.3.2 Flutuação de tensão

A flutuação de tensão são aquelas mudanças na amplitude da tensão fundamental. São provocados pela as variações em carga especificas ou pode também ser por causa de ajustes inadequados em reguladores de tensão, que realimentam pequenas variações positivamente (DIECKMANN; POMILLIO, 2017).

O módulo 8 do PRODIST define a Flutuação de tensão como:

a) A flutuação de tensão é um fenômeno caracterizado pela variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz ou de pico da tensão instantânea.
b) A determinação da qualidade da tensão do sistema de distribuição quanto à flutuação de tensão tem por objetivo avaliar o incômodo provocado pelo efeito da cintilação luminosa no consumidor, que tenha em sua unidade consumidora pontos de iluminação alimentados em baixa tensão (ANEEL, 2017).

2.3.3 Compensação

A compensação ocorre caso haja uma ultrapassagem no limite, as distribuidoras devem regularizar esse problema na tensão, e o consumidor recebe uma compensação financeira na qual vai ser creditada na fatura no prazo máximo de dois meses ao mês civil referente, até que esse nível de tensão seja regulariza (ANEEL, 2017).

2.3.4 Transitório

Transitórios são aquelas perturbações na tensão ou corrente, em uma duração muito curta, mais com uma magnitude alta e com um tempo de subida rápido (DIECKANN; POMILLO, 2017).

2.3.4.1 Transitório Impulsivo

Transitório Impulsivo são aqueles distúrbios repentinos devido a uma mudança rápida nas condições da tensão. A sua duração é variada em microssegundos, e esses transitórios podem ter direções quanto positiva ou

negativa. Esses transitórios impulsivo surgem dos efeitos das descargas atmosféricas e descargas eletrostáticas, podendo causar desde perda ou corrupções de dados e até podendo gerar danos físicos nos equipamentos (KERN, 2008).

2.3.4.2 Transitório Oscilatório

O transitório oscilatório ocorre quando ocorre uma mudança na condição de regime permanente no sinal da corrente e/ou tensão, fazendo assim oscilar na frequência natural do sistema (KERN, 2008).

2.4 Efeito dos Harmônicos

Os problemas que os harmônicos podem ocasionar no seu sistema de potência:

1. Excitação nas correntes ou tensões, ressonantes entre indutâncias e capacitâncias.
2. Os aparecimentos de ruídos ou vibrações.
3. Sobreaquecimento no núcleo ferromagnético.
4. Sobreaquecimento dos capacitores.
5. Erros quando forem medir as grandezas elétricas.
6. Erros no controle dos conversores.
7. Erros de atuação da proteção.
8. Sob recorrente do neutro.
9. Os ruídos e interferências eletromagnéticas.

Segundo norma IEEE-519.

2.4.1 Efeitos de harmônicas em componentes do sistema elétrico

A harmônica tem um certo grau de tolerância em um sistema de alimentação, isso vai depender da sua carga ou da fonte de potência. Os equipamentos que são mais sensíveis têm uma existência de alimentação senoidal, por exemplo processamentos de dados e equipamentos de

comunicação. E os menos sensíveis, geralmente são usando para aquecimento (carga resistiva) pois suas formas de ondas não são relevantes IEEE-519.

2.4.2 Valores de referência para distorções harmônicas.

Tem dois tipos de valores de medições, um deles é “tempo muito curto” deve ser acumulado ao longo de um dia, e o valor do percentil é de 95 e 99. Enquanto o outro “tempo curto” deve ser acumulado durante uma semana, e o valor de percentil é de 99 e deve ser calculado durante um período de 24 horas para comparação com os limites. Os limites são especificados utilizando o percentil de conformidade de 95%, ou seja, admite-se que os limites sejam ultrapassados em 5% das 1008 amostras coletadas para o processamento digital (PRODIST, 2017).

2.5 Fator de potencia

Podemos falar que a fator de potência representa a energia ativa em razão da energia total (aparente) que é absorvida por um equipamento ou instalação. Que tem uma variação de 0 (zero) e 1(um) indutivo ou capacitivo. Podendo também ser representada em forma de porcentagem, podendo ir de zero a 100%. (CODI, 2004)

Segundo Mamede, as causas que podem resultar em um baixo fator de potência, são:

1. Motores de indução trabalhando a vazio durante um longo período de operação;
2. Motores superdimensionados para as máquinas a eles acoplados;
3. Transformadores em operação a vazio ou em carga leve;
4. Grande número de reatores de baixo fator de potência suprindo lâmpadas de descarga (lâmpadas fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio etc.);
5. Fornos a arco;
6. Fornos de indução eletromagnética;
7. Máquinas de solda a transformador;
8. Equipamentos eletrônicos;
9. Grande número de motores de pequena potência em operação durante um longo período (MAMEDE, 2010)

Um baixo fator de potência pode gerar um aumento no valor total das faturas, isso por conta da energia reativa excedente, podendo também limitar a capacidade dos transformadores, reduzindo a potência ativa disponível na instalação, além de exigir um aumento na seção transversal dos condutores, com isso fazendo a capacidade do equipamento de manobra e proteção, devido ao acréscimo de corrente (BORELLI e GEDRA, 2016).

2.6 Analisador de energia elétrica P55

Este equipamento é amplamente utilizado por técnicos para medir a potência de distribuição de energia em um determinado sistema. O fluxo de potência medido pelo analisador se refere à passagem de energia elétrica entre um dissipador de calor e uma fonte de alimentação.

Os analisadores podem ser usados para medir o fluxo de energia em sistemas de corrente alternada ou contínua. Com eles, é possível detectar a corrente e a tensão do sistema. O cálculo do consumo e da demanda de eletricidade também pode ser realizado usando o analisador de energia.

Esses números podem ser lançados ao longo de dias, semanas ou meses. O monitoramento da rede pode ser feito em tempo real, o que evita que problemas de rede passem despercebidos.

Atualmente, analisadores conectados à web e com tecnologia móvel podem ser encontrados no mercado, o que permite o acesso às informações de qualquer lugar (PRIMATA,2021).

3 Metodologia

Para chegar ao objetivo de pesquisa, foi utilizado o método descritivo. Por se tratar de um método que tem por finalidade estabelecer relação entre variáveis (Gil,1999), se encaixa perfeitamente a proposta de pesquisa.

Quanto a natureza da pesquisa, empregamos a abordagem quantitativa como explica Richardson (1999), a pesquisa quantitativa é caracterizada pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas.

Deve ser lembrado também que o presente estudo trata-se de um caso único.

Por fim foi realizada uma pesquisa exploratória com análise de dados, momento de extrema importância para o trabalho, pois, graças a ela que foi possível apresentar de maneira satisfatória todos os resultados encontrados para a conclusão do estudo e consequentemente chegar aos resultados e discussões.

3.1 Área de estudo

O estudo da qualidade de energia elétrica foi realizado inteiramente na Rubro Indústria de Calçados. Situada na cidade de Nova Serrana, a Rubro é uma indústria de calçados que atua na área há mais de 20 anos. Tendo como princípios, oferecer um produto de qualidade aos seus clientes e tratar da melhor maneira possível seus colaboradores. Esta apresenta grandes avanços nos quesitos segurança no trabalho e quanto à qualidade de energia, está sempre atualizando seus laudos elétricos para estar em conformidade com a lei.

Nova Serrana é uma cidade situada no centro-oeste mineiro, a cidade é nacionalmente conhecida por ser um polo no ramo de calçados no país, possuindo mais de 850 indústrias neste seguimento.

A grande quantidade de indústrias de calçados em Nova Serrana foi um ponto de grande importância para definir o início do trabalho pois, devido à grande quantidade de indústria do seguimento na cidade, possibilitaria que o presente estudo acadêmico, com suas ressalvas, possa ser realizado em demais indústrias na cidade.

3.2 Coleta de dados

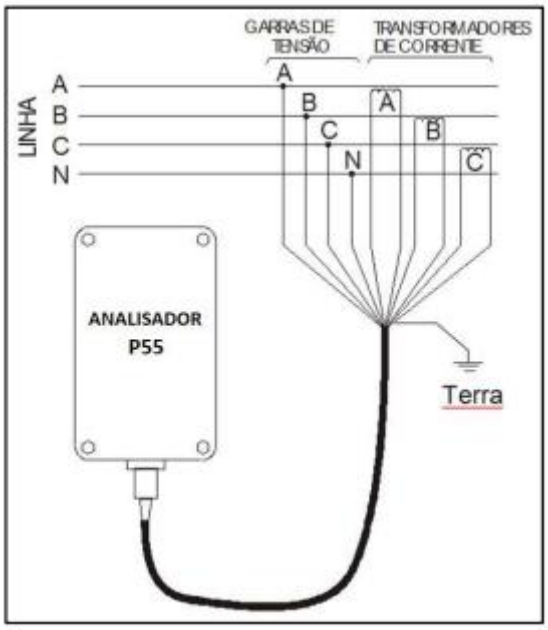
Para a coleta de dados deve-se obedecer todos os protocolos estabelecidos pelo PRODIST, módulo 8, que diz que pode ser realizada por um único instrumento para medir todos os fenômenos relacionados a qualidade de energia, sobre tudo, o instrumento escolhido deve atender os seguintes requisitos:

a) Protocolos estabelecidos pelas normas vigentes da International Electrotechnical Commission (IEC) 61000 série 4 ou normas técnicas brasileiras;
b) Método de medição Classe A ou S, conforme norma vigente da IEC 61000-4-30. (ANEEL, 2018)

Para realizar as medições foi obedecida todas as recomendações da ANEEL, presentes no modulo 8 do PRODIST, mais precisamente a seção 4, que sugere que, para gerar resultados mais precisos, é necessário que seja realizada um número superior a 1008(mil e oito) leituras validas, obtidas em intervalos constantes de 10 minutos. Esse período é equivalente a sete dias de medição no local que se deseja verificar a qualidade de energia. (ANELL, 2017)

A forma em que o equipamento deve ser ligado à rede está indicado em seu manual, conforme apesentado na figura 01. Deve ser instalado um TC (Transformador de Corrente) tipo alicate, para medição da corrente elétrica em cada uma das fases e uma garra do tipo “golfinho” para medir a tensão em cada uma das fases, inclusive no neutro.

Figura 01 – Ligação P55 à rede elétrica



Fonte: Primata eletrônica, 2018

3.3 Análise de dados

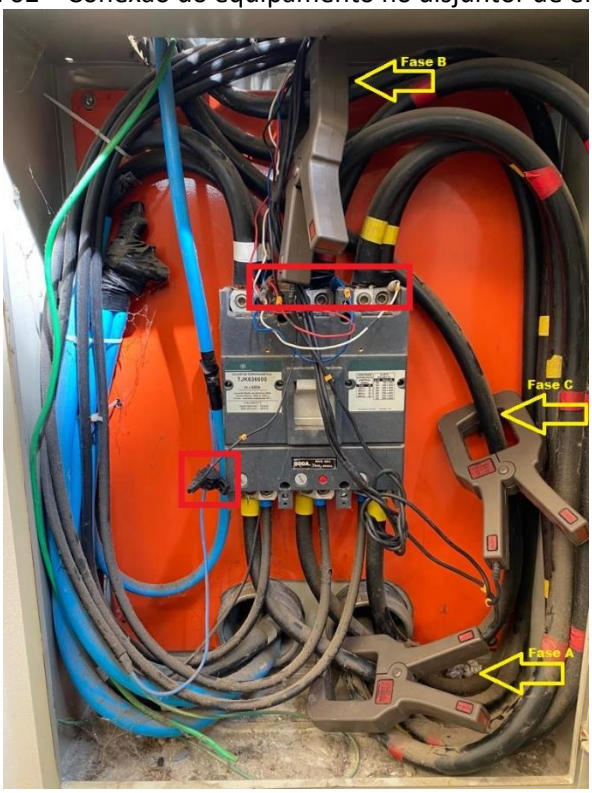
Para analisar os dados foi utilizado o software SMD da Primata. Desenvolvido pela Primata Eletrônica, ele permite analisar todos os dados coletados através de uma interface muito simplificada contendo gráficos, histogramas, planilhas e relatórios

Ele também indica necessidades de melhorias na rede, tais como inserções de banco de capacitores dentre outras.

4 Resultados e discussões

O equipamento de medição foi instalado no ponto de alimentação da indústria (Disjuntor de entrada Rubro Calçados), utilizando um cabo com garras tipo golfinho para os pontos de fase A, B, C e neutro nesta ordem e alicates para medição da corrente elétrica nos cabos que saem do disjuntor de entrada, como descrito no capítulo de metodologia e na figura 02.

Figura 02 – Conexão do equipamento no disjuntor de entrada



Fonte: autoria própria

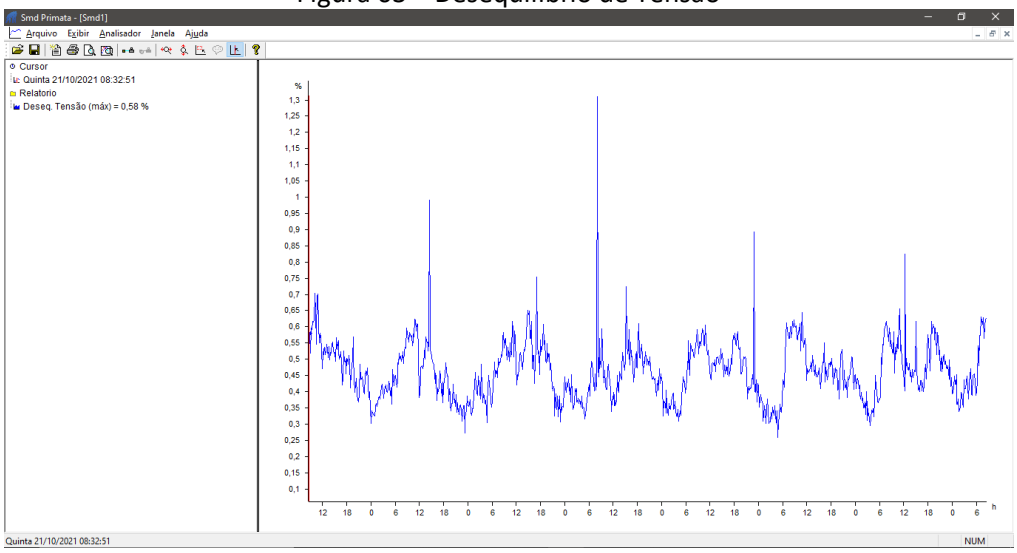
O equipamento foi configurado de maneira que realizasse as coletas em um período de 10 em 10 minutos, de modo a atender o modulo 8 do PRODIST. Com um pen drive plugado no equipamento para coletar todas as informações começar com as medições.

As medições começaram às 08h:32min da manhã do dia 21 de outubro de 2021 e foram encerradas no dia 28 de outubro de 2021 às 08h:32min, assim completando as 1008 leituras validadas exigidas.

4.1 Desequilíbrio de tensão

O primeiro parâmetro que foi verificado foi o desequilíbrio de tensão. O analisador de qualidade de energia também fornece os valores de desequilíbrio de tensão seguindo os padrões da norma internacional IEC pelo PRODIST. A Figura 03 demonstra a variação de tensão ao longo do período de medição.

Figura 03 – Desequilíbrio de Tensão



Fonte: SMD, 2021

Como pode ser visto na figura 03, o menor valor de desequilíbrio de tensão foi constatado no dia 26/10/2021 às 05h:03min que apresentou um desequilíbrio no valor de 0,26%. Já o maior valor de desequilíbrio de tensão registrado foi de 1,31% no dia 24/10/21 às 08h:21min.

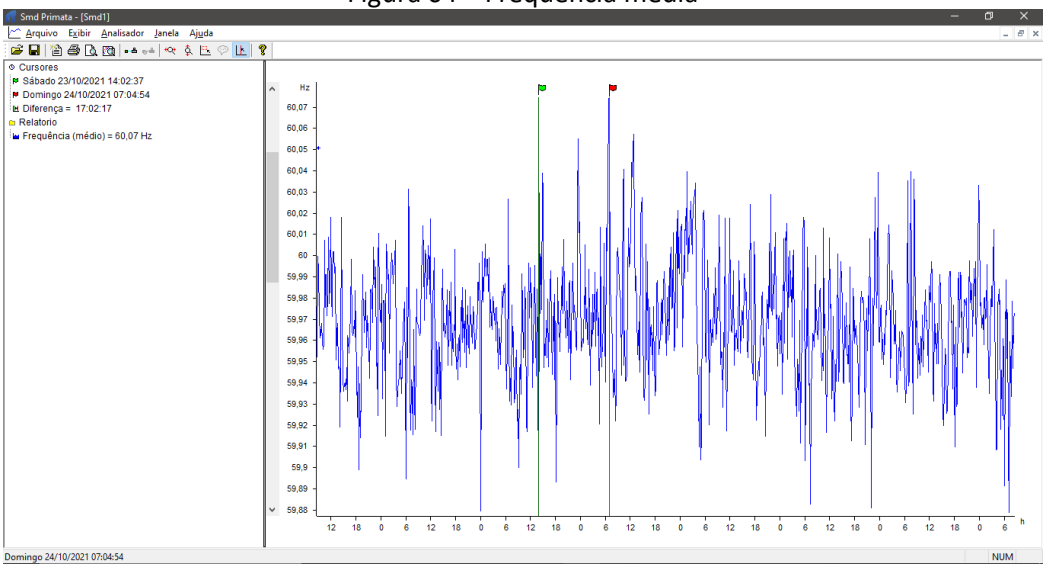
Analisando os valores medidos conclui-se que, apesar de que em certo momento termos encontrado um grande desequilíbrio de fase (1,31%), podemos concluir que o mesmo apresentam níveis satisfatórios, já que o nível

estabelecido pela ANEEL é de até 2%, o que significa que as cargas estão bem distribuídas entre as fases da rede.

4.2 Frequência

Para analisar a frequência no software SMD, é necessário entrar no menu exibir e selecionar a apenas a opção de frequência media. Com isso é possível enxergar o pico mínimo e máximo da frequência dentro do período em estudo, como mostra a figura 04.

Figura 04 – Frequência media



Fonte: SMD, 2021

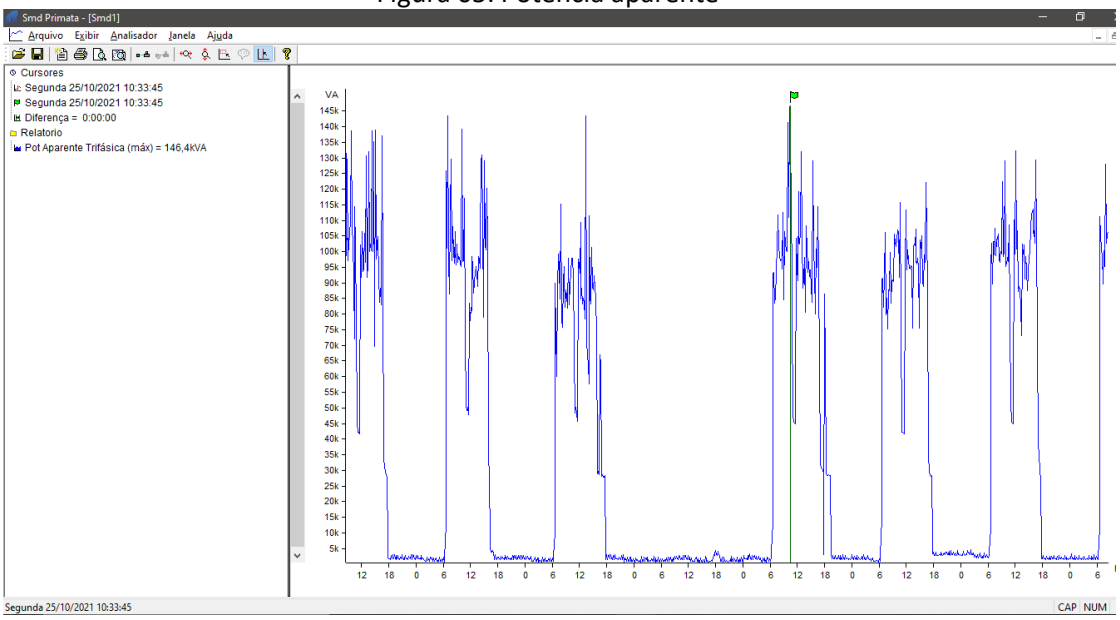
A linha verde com a bandeira verde no topo está demarcando a frequência mínima registrada no dia 23/10/2021 as 14h:02min no valor de 59,96Hz e a linha vermelha com a bandeira vermelha no topo está demarcando a frequência máxima registrada no dia 24/10/2021 as 07h:04min no valor de 60,07Hz.

Embora os valores obtidos nos picos mínimo e máximo, e em alguns outros momentos, sejam diferentes do valor de referência de 60Hz, ainda assim encontram-se dentro das conformidades, já que a ANEEL estabelece que em alguns momentos a frequência possa flutuar subindo ou descendo do valor de referência por breves períodos como registrado.

4.4 Potência Aparente

Ao analisarmos a potência aparente na figural 05, podemos verificar que o valor máximo registrado de 146,4 KVA no dia 25/10/2021 as 10h:33min. Sabendo que o transformador tem a potência nominal no valor de 150 KVA, constatamos que, no momento de maior demanda da fábrica fui utilizada uma carga correspondente a 97,6% da potencial total disponível.

Figura 05: Potência aparente



Fonte: SMD, 2021

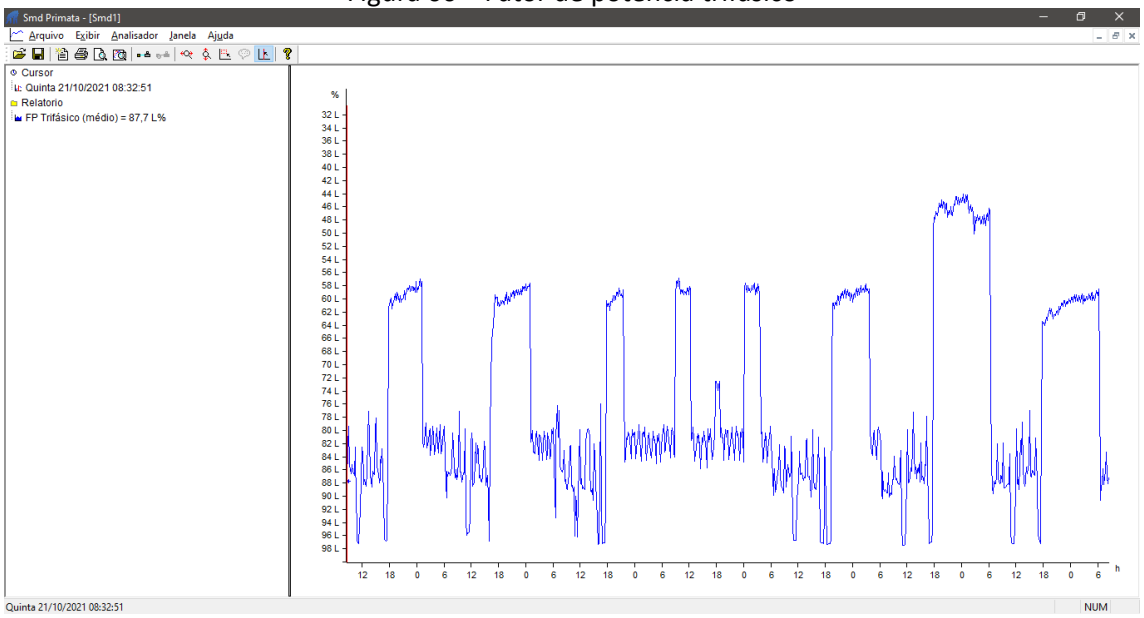
Foi constatado também que nos dias em que a fábrica não está em seu pleno funcionamento o consumo cai para apenas 1,3% da demanda nominal, um consumo praticamente nulo.

Já nos dias úteis, foi verificado que o consumo começa em média a partir das 6h:50min e sua queda ocorre no fim da jornada de trabalho às 18h:15min. Dentro desse período os picos de energia ocorrem por volta das 10h:20min, momento é que são ligadas as resistências para esquentar os alimentos trazidos pelos funcionários da fábrica para consumir em seus períodos de almoço.

4.5 Fator de potência trifásico

Quanto ao fator de potência, o gráfico da figura 06, nos apresenta os dados coletados durante todo o período de medição.

Figura 06 – Fator de potência trifásico

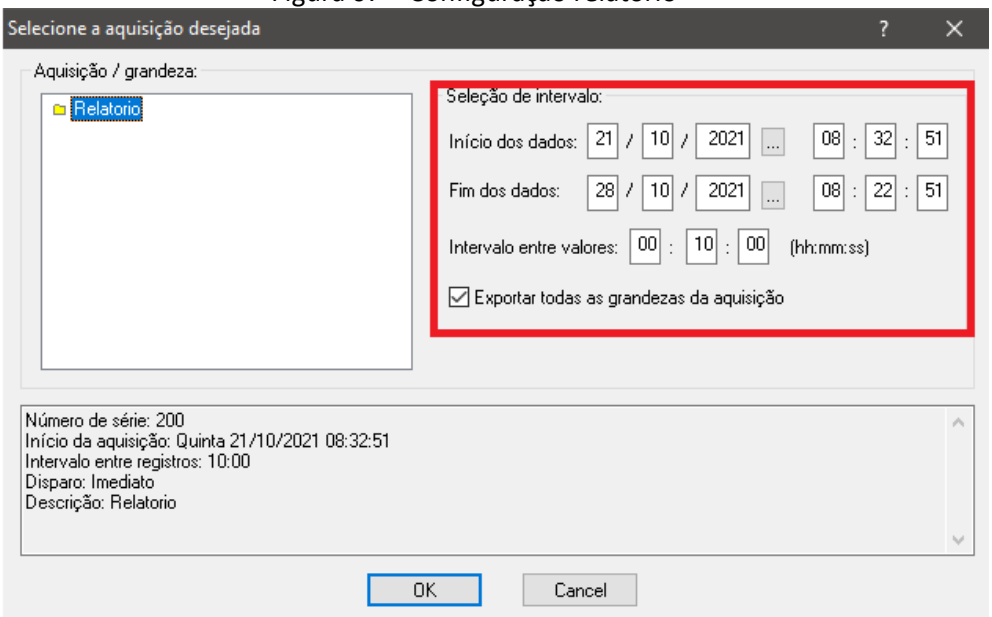


Fonte: SMD, 2021

Na figura 06, é possível observar que o fator de potência dessa indústria excede o valor pré-estabelecido pela concessionária de 0,92 grande parte do período medido. Devido esse excedente o consumidor deverá ser tarifado pelo consumo excessivo de energia reativa.

Devido a isso, foi utilizada a função oferecida pela SMD que traz o relatório de correção de fator de potência. Foi selecionada esta ferramenta na opção “arquivo” na barra de ferramentas no canto superior esquerdo da tela, depois a opção “gerar relatório”. Após isso aparece mais uma sessão de opções que por fim seleciona-se a opção “Relatório de Correção de Fator de Potência V1.0”. Em seguida configuramos as opções desejadas quanto ao período de medição, como mostra a figura 07.

Figura 07 – Configuração relatório



Fonte: SMD, 2021

O quadro em vermelho destaca os pontos em que se deve ter mais atenção pois todo o relatório será baseado no período selecionado e caso tenha algum erro nesse período o relatório não será preciso nas suas informações. Nesse trabalho foi selecionado a data de início e fim e o intervalo conforme figura 07.

4.6 Correção do fator de potencia

O software SMD traz a opção de simular a correção do fator de potência com a adição de banco de capacitores, um dos meios utilizados para corrigir o fator de potência. O software mostra 3 opções de cálculo de correção de fator de potência através de uma planilha do Excel, são elas, a correção do fator de potência para 0,92, correção do fator de potência para 0,93 e correção do fator de potência para 0,94. Ele traz essas 3 opções pois cada concessionária estabelece um valor ao qual deve ser atingido para evitar multas. A multa cobrada pela CEMIG, concessionária que atende o fornecimento de energia da Rubro, por exceder esses valores é de 0,34Kwh. A figura 08 traz a planilha em questão.

Figura 08 – Planilha correção de fator de potência.

Modelo:P55 - N. Série:200				
Inicio:	21/10/21 8:32:51			
Fim:	28/10/21 8:22:51			
Tensão AB (médio) (V)	226,03			
Tensão BC (médio) (V)	225,7			
Tensão CA (médio) (V)	226,18			
DHT VA (médio) (%)	1,81			
DHT VB (médio) (%)	1,66			
DHT VC (médio) (%)	1,84			
		Média Total kVar	Mínimo kVar Indutivo Faltante	Máximo kVar Indutivo Faltante
Kvar Necessário para Correção - FP	0,92	3,504332696	0,092885907	21,79515281
Kvar Necessário para Correção - FP	0,93	4,257654138	0,027114204	23,47085934
Kvar Necessário para Correção - FP	0,94	5,047715862	0,122789755	25,22829185

Fonte: Excel, 2021

Como apresentado anteriormente no estudo, a concessionária de energia elétrica que atende a indústria Rubro Calçados, solicita um fator de potência mínimo de 0,92 para não realizar a cobrança de multa por exceder esse parâmetro. Podemos ver na planilha que para alcançar o fator de potência almejado será necessário a implantação de um banco de capacitores de 3,5kVar para realizar essa correção no fator de potência da Rubro Indústria de Calçados.

Para calcular o valor da multa por exceder o fator de potência foi calculado o quanto a indústria gerou de energia de energia reativa pelo custo da tarifa, o custo para a rubro é de R$0,34 (zero reais e trinta e quatro centavos) por KW gerado. Durante o período medido a Rubro gerou um total de 1472,25KW de energia reativa o que pode ocasionar uma multa de até R$500,56 (quinhentos reais e cinquenta e seis centavos).

5 Conclusões

Ao realizar a análise da qualidade de energia elétrica da Rubro Indústria de Calçados buscou-se focar a investigação do estudo na qualidade de energia que circula da rede elétrica da Indústria, abordando principalmente os fatores de desequilíbrio de tensão, frequência, potência aparente, e fator de potência, correlacionando estes pontos há forma como eles podem afetar o gasto de consumo de energia elétrica paga e propor melhoria ao sistema de maneira que possam diminuir tais gastos e principalmente multas advindas da concessionária de energia, pois o fator de potência está muito abaixo do ideal.

Também é possível verificar no estudo que o desequilíbrio de tensão esteve sempre em conformidade aos limites estabelecidos pela ANEEL. Já em relação a frequência, embora tenha sido encontrado valores de amplitude diferente dos 60Hz, o estudo embasado no modulo 8 do PRODIST citado no item 4.2 diz que essas variações de amplitude encontradas no período de medição são normais de se ocorrer e os valores estão dentro das conformidades.

O ponto mais interessante desse estudo foi quanto a correção do fator de potência da Rubro Indústria de Calçados. Ao calcular o custo por exceder o parâmetro de 0,92% de fator de potência durante o período analisado constatou-se que a indústria está sujeita a receber uma multa no valor de R$500,56 (quinhentos reais e cinquenta e seis centavos). Por mês o custo por gerar tanta energia reativa pode ser de até R$1500 (mil e quinhentos reais). Toda essa multa pode ser zerada com a implantação do banco de capacitores de 3,504KVA, calculado pelo software SMD que vai trabalhar para atender o coeficiente de 0,92% de fator de potência exigido pela CEMIG.

Com isso conclui-se que a hipótese de que a alta qualidade de energia elétrica no sistema gera economia no consumo de energia elétrica foi confirmada, pois, como visto no estudo a implementação de um banco de capacitores viria a sanar o problema da Rubro Industria de Calçados quanto ás multas por exceder a energia reativa. Quanto a hipótese de que a alta qualidade de energia elétrica na indústria evita quedas repentinas de energia elétrica não foi respondida pois o equipamento PRIMATA P55 não realiza oscilógrafa, grandeza necessária para analisar esse ponto.

Ainda cabe um estudo mais aprofundado dentro da indústria caso venha a ser instalado o banco de capacitor, comparando todos os dados de antes e depois da instalação do banco e tendo o seu resultado satisfatório poderia vir a atender demais indústrias do seguimento devido à grande semelhança entre elas.

REFERÊNCIAS

ANEEL, **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/Indicadores_de_conformidade_nivel_tensao/pesquisa.cfm?regiao=NE> Acesso em 10 jul. 2021.

ALEX MARQUES, **QUALIDADE DE ENERGIA CAMPUS AFONSO PAULO**. Disponível em: <https://portal.ifba.edu.br/paulo-afonso/anexos/anexos-cursos/graduacao/Engenharia_Eletrica/TCC-EE/ano-2018/tcc-alex-marques-2018.pdf> Acesso em 10 des. 2021.

ALMONTE, R.L. e ASHLEY, A.W., **Harmonics at the utility industrial**

BEZERRA, U. H; GARCEZ, J. N; MOSCOSO, M.N.A; SENA, J.A.S; LEMOS, R. S. **Sistema de Monitoramento de Variações Transitórias de Tensão em Redes de Distribuição de Energia**. II CITENEL - Congresso de inovação Tecnológica em Energia Elétrica. Belém, 2003.

Bruno Scarpin. ‘‘**O que é Fator de Potência**?’’. Cubi Energia, 17 de jan. 2017.

Manual P55, **Analisador Portátil de Qualidade de Energia** < https://pt.scribd.com/document/394687414/Manual-P55-SP-Analisador-Portatil-de-Qualidade-de-Energia > Acesso 25 nov. 2021.

MAMEDE F, **Instalações elétricas industriais**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

S.M.Deckmann e J. A. Pomilio. **IT - 012 Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica**. In: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, Campinas, Brasil, fev. 2017.