CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA ATRAVÉS DA INSTALAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES DIMENSIONADO COM PLANILHA ELETRÔNICA

Thiago Pereira de Sousa (Centro Universitário Santo Agostinho)¹

José Rogério Farias de Oliveira (Centro Universitário Santo Agostinho)¹

Edvan Carneiro Almeida (Centro Universitário Santo Agostinho)³

João Ricardo Araújo Cardoso (TEC Instalações Elétricas Ltda.)⁴

Gabriel Messias Mamede Costa (Centro Universitário Santo Agostinho)⁵

Lucas Rocha de Abrantes Duarte (Centro Universitário Santo Agostinho)⁶

RESUMO:

O fator de potência é um índice de utilização de energia elétrica cuja finalidade é medir o quanto da potência elétrica consumida está de fato sendo convertida em trabalho útil. O baixo fator de potência é responsável pela necessidade de equipamentos que possam suportar uma maior corrente elétrica devido ao excesso de energia reativa, bem como por multas aplicadas pelas distribuidoras de energia de acordo com a legislação vigente. O objetivo deste trabalho é a análise de carga de uma indústria através da memória de massa disponibilizada pela concessionária local e comprovar a relevância de corrigir o fator de potência nas instalações elétricas industriais. Para tanto, foram explicados conceitos inerentes ao assunto, metodologia de análise de carga através da memória de massa em planilha eletrônica e, por fim, métodos para correção do fator de potência com a utilização de capacitores.

Palavras-chave: Banco de capacitores, Correção de fator de potência, Eficiência energética

ABSTRACT:

The power factor is an index of electric power utilization whose purpose is to measure how much of the electric power consumed is actually being converted into useful work. The low power factor is responsible for the need for equipment that can withstand a higher electric current due to excess reactive energy, as well as fines imposed by the power distributors in accordance with current legislation. The objective of this paper is to analyze the load of an industry through the mass memory provided by the local utility and to prove the relevance of correcting the power factor in industrial electrical installations. For this, concepts inherent to the subject were explained, methodology of charge analysis through mass memory in spreadsheet and, finally, methods for power factor correction with the use of capacitors.

Keywords: Capacitor Bank, Power Factor Correction, Energy Efficient

INTRODUÇÃO

A capacidade de realizar trabalho, através de energia elétrica, em um determinado tempo, é denominada de potência elétrica. Em circuitos de corrente alternada (CA) com cargas capacitivas e indutivas, ocorre uma defasagem entre a tensão e a corrente elétrica, o que nos dá três tipos de potências diferentes.

1 Graduando em Bacharelado em Eng. Elétrica, Centro Universitário Santo Agostinho, Teresina-PI, tp.sousa1909@hotmail.com;

2 Graduando em Bacharelado em Eng. Elétrica, Centro Universitário Santo Agostinho, Teresina-PI, jrogerio86@hotmail.com;

3 Engenheiro Eletricista, Graduado em Bacharelado em Eng. Elétrica, UFC, Fortaleza/CE, Centro Universitário Santo Agostinho, edvan-carneiri@uol.com.br;

4 Engenheiro Eletricista, Graduado em Bacharelado em Eng. Elétrica, UESPI, Teresina-PI / Tec Instalações Elétricas Ltda., jricardo100@hotmail.com;

5 Graduando em Bacharelado em Eng. Elétrica, Centro Universitário Santo Agostinho, Teresina-PI, messiasgabriel@hotmail.com;

6 Graduando em Bacharelado em Eng. Elétrica, Centro Universitário Santo Agostinho, Teresina-PI, lucasrocha4034@gmail.com.

Segundo Moraes [8], a potência ativa é aquela que realmente produz o trabalho na carga e, por isso, é chamada de potência real. Geralmente é representada com a letra P e expressa em watts (W). Para calcular seu valor utiliza-se a equação 01 (MORAES, 2013).

$$P = V \cdot I \cdot \cos(\varphi) \quad \text{eq. 01}$$

Onde, V é a tensão, em volts (V), I é a corrente elétrica, em ampères (A) e $\cos(\varphi)$ é o fator de potência do circuito.

Já a potência reativa é uma porção da potência aparente (S) fornecida ao circuito, cuja função é gerar campos magnéticos nas bobinas de motores e transformadores para que estes funcionem. A potência reativa aumenta a carga dos geradores, dos condutores e dos transformadores originando perdas de potência nesses elementos do circuito [5]. Tal grandeza é medida em volt-ampère reativo (VAr) e representada pela letra Q, seguindo a equação 02 (MORAES, 2013).

$$Q = S \cdot \sin(\varphi) \quad \text{eq. 02}$$

Onde, $\sin(\varphi)$ é a constante de defasagem.

Moraes (2013) ainda afirma que a potência aparente é o resultado do produto entre a tensão (V) e a corrente (I) em um circuito elétrico. Logo, em circuitos não resistivos de corrente alternada esta potência não é real, pois considera a defasagem entre as duas grandezas. Recebe, ainda, a notação S e é expressa em volt-ampère (VA).

$$S = V \cdot I \quad \text{eq. 03}$$

Baseado nas grandezas supracitadas, o fator de potência (FP) nos indica qual a porcentagem da potência aparente (S) é efetivamente transformada em trabalho nas cargas elétricas através da potência ativa. Desta forma, este parâmetro mostra o nível de eficiência energética na utilização do sistema elétrico. Seu valor varia de 0 a 1 e valores altos de fator de potência, próximos de 1, indicam uso eficiente da energia elétrica, enquanto que valores baixos evidenciam seu mau aproveitamento, além de representar uma sobrecarga para todo o sistema [5].

Para relacionar, graficamente, as potências aparente, ativa e reativa utiliza-se o triângulo de potências, como demonstrado na figura 01.

Figura 01 – Triângulo de Potência.

Fonte: ENGEREY, 2019 (mod.).

A partir da figura 01, podemos calcular o fator de potência da instalação através da equação 04, pela relação entre a potência ativa e a potência aparente.

$$FP = \frac{P (W)}{S (VA)} \quad \text{eq. 04}$$

O Fator de potência pode ser definido também, a partir da equação 05, como o cosseno do ângulo formado entre a potência ativa e a potência aparente.

$$FP = \cos \left[\text{tg}^{-1} \left(\frac{kVar}{kW} \right) \right] \quad \text{eq. 05}$$

Em sua maioria, as cargas industriais consomem energia reativa indutiva por se tratarem de motores, transformadores e outros que possuem enrolamentos em seus circuitos elétricos [3]. Tais cargas necessitam de campo eletromagnético para seu funcionamento e por isso sua operação requer dois tipos de potência: ativa e reativa.

No entanto, a potência reativa não irá produzir trabalho. Apenas “ocupará espaço” no sistema elétrico, onde este poderia ser utilizado para transportar mais potência ativa [8]. Ou seja, quanto maior a energia reativa em um sistema, maior será a perda de eficiência do mesmo. Assim, com o aumento da energia reativa tem-se a diminuição da eficiência de um equipamento ou da própria instalação elétrica [7].

O fator de potência ideal é aquele cujo ângulo de inclinação entre a potência ativa e a aparente seja 0°. Portanto, sem a presença de potência reativa. Entretanto, a potência reativa é necessária para o funcionamento da maioria dos equipamentos elétricos. Logo, não se pode eliminá-la completamente do sistema elétrico. Uma das maneiras de minimizar esse tipo de energia exigida da rede da concessionária é gerá-la na própria instalação elétrica do consumidor. Por exemplo, se o cliente necessita de uma grande quantidade de energia indutiva, é preciso contrabalanceá-la com energia capacitiva com a instalação de banco de capacitores [7].

Além disso, conforme a resolução normativa Nº 414 de 9 de setembro de 2010, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), determina que,

“[...] Para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo, de acordo com regulamentação vigente. [...]” [1].

Caso sejam medidos valores abaixo da referência, a fatura de energia elétrica do consumidor apresentará uma multa nomeada consumo de energia reativa excedente e/ou demanda reativa excedente. Para reduzir esse efeito, são utilizados os bancos de capacitores. Tal medida evita gastos com ampliação do sistema, para atender a uma carga que não está aproveitando a energia de forma completa, inibe a aplicação de multas por parte da distribuidora, aumentada as vidas úteis dos equipamentos conectados ao sistema da indústria e reduz a corrente total do circuito, proporcionando uma otimização em toda a instalação [2].

Considerado o contexto pretendido para este trabalho, definiu-se como objetivo final caracterizar um dos métodos para correção do fator de potência em uma indústria com a utilização de planilha eletrônica, bem como avaliar sua aplicabilidade e efetividade no que refere à compensação de energia reativa.

Para alcançar o objetivo final supracitado, alguns objetivos específicos foram traçados, são eles:

- ✓ Caracterização do método que será utilizado para a correção do fator de potência da instalação;
- ✓ Análise do comportamento das cargas da indústria através da memória de massa disponibilizada pela concessionária local;
- ✓ Dimensionar o valor de reativo capacitivo necessário para a correção do fator de potência da indústria, bem como verificar o novo fator de potência da instalação e;
- ✓ Verificar, através de simulação, qual o ganho de potência aparente, no transformador da instalação, teremos após a correção do fator de potência.

METODOLOGIA

Existem vários métodos para a determinação da potência do banco de capacitores a ser utilizado. Um deles é verificar as medições de energia reativa através da memória de massa e a partir do maior valor de energia reativa indutiva medido definir a potência do banco a ser utilizado.

De acordo com a concessionária local,

“[...] A memória de massa consiste no conjunto de leituras integralizadas a cada 15 (quinze) minutos e que compõem o consumo total apurado no ciclo de faturamento. As informações obtidas do arquivo de memória de massa podem ser utilizadas para verificar os perfis de carga e consumo da unidade.[...]”[4].

Tais dados são retirados diretamente do medidor, salvos em planilha eletrônica e contém a data e hora, as medições de potência ativa média, coluna kW, potência reativa indutiva, coluna kvarIND, potência reativa capacitiva, coluna kvarCAP, o posto horário, coluna SH, o tipo de energia reativa excedente que é cobrado no respectivo horário, coluna SR, o fator de potência, coluna FPot, e o tipo de fato de potência, indutivo ou capacitivo, conforme mostrado na figura 2.

Figura 2 – Trecho da memória de massa

Data	Hora	kW	kvarIND	kvarCAP	SH	SR	FPot.	
1-mai	0:15	30	24	0	F	L	79	L
1-mai	0:30	27	30	0	F	L	66	L

Fonte: Memória de massa disponibilizada pela concessionária, 2019

A partir da manipulação da memória de massa é possível determinar a potência do banco de capacitores para cada intervalo de tempo através de uma planilha eletrônica com a utilização de fórmulas e funções.

No mercado, existem diversos softwares que utilizam planilhas eletrônicas em seu funcionamento. Um deles é o Microsoft Excel que, segundo Paranhos [9], é um aplicativo de criação de planilhas eletrônicas, criado em 1987 para computadores que usam o sistema operacional da empresa. Nele é possível realizar operações matemáticas, das simples às mais complexas que envolvem várias variáveis, bem como operações lógicas para comparação de valores. A planilha utilizada possui linhas e colunas que determinam o endereço da célula utilizada, conforme mostrado na figura 3, neste caso coluna A e linha 1.

Figura 3 – Trecho da planilha eletrônica Excel

A1	:	X	✓	f_x						
	A	B	C	D	E	F	G			
1										
2										

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019

Para o estudo em tela, utilizou-se as funções matemáticas básicas, comparadores, arredondamentos, função máximo e manipulações de ângulos.

De acordo com a Resolução 414/2010, da ANEEL, em seu artigo 96, os valores a serem pagos quando o fator de potência permanece abaixo de 0,92 são calculados conforme a equação 06 para a energia reativa excedente (Ere) e equação 07 para a demanda reativa excedente (Dre) [1].

$$E_{re} = \sum_{T=1}^{n1} \left[EEAM_t * \left(\frac{f_r}{f_t} - 1 \right) \right] * VR_{ERE} \quad \text{eq. 06}$$

$$D_{re}(p) = \left[MAX_{T=1}^{n2} \left(PAM_T * \frac{f_r}{f_t} \right) - PAF(p) \right] * VR_{DRE} \quad \text{eq. 07}$$

Onde:

$EEAM_t$ é a energia ativa medida a cada uma hora, em megawatts-hora (MWh);

f_r é o fator de referência dado pela norma, já mencionada e igual a 0,92;

f_t é o fator de potência em cada intervalo de uma hora;

VR_{ERE} é o valor da tarifa aplicada em reais por megawatts-hora (MWh).

PAM_t é a demanda ativa medida a cada hora, em quilowatts (kW);

$PAF(p)$ é a demanda contratada em cada posto horário, em quilowatt (kW)

VR_{ERE} é o valor da tarifa aplicada em reais por megawatts-hora (MWh).

Além disso, verifica-se que no horário entre 06:31 e 23:29 devem ser cobrados apenas a demanda e a energia reativas excedentes indutivas, enquanto de 23:30 às 6:30 do dia seguinte, devem ser cobrados apenas a demanda e a energia reativas excedentes capacitivas. Tal informação é importante no estudo para a determinação da potência do banco de capacitores, uma vez que se a necessidade de energia reativa indutiva ocorrer durante o período da noite, esse valor deve ser desprezado, já que não é cobrada multa por energia indutiva excedente naquele horário. Logo, para a determinação do banco de capacitores a ser instalado, foi considerado apenas o horário das 6:30 às 23:29 [1].

Quando pretende-se corrigir o fator de potência de cargas com funcionamentos e potências diferentes, são utilizados bancos de capacitores automáticos que acionam a quantidade de capacitores necessários conforme a energia reativa indutiva existente naquele momento. Para isso, os bancos de capacitores são dotados de controladores de fator de potência que monitoram constantemente tal grandeza na instalação elétrica [3]. Já quando a necessidade da correção é constante ou de cargas pontuais, são utilizados bancos de capacitores fixos. Eles não possuem a capacidade de se adequarem às cargas e entregam a mesma quantidade de energia reativa capacitiva enquanto estiverem acionados. A utilização deles é vista principalmente em terminais de motores de grande potência ou de transformadores superdimensionados [7].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados da memória de massa, os fatores de potência medidos foram conforme o gráfico 01, onde observa-se que o fator de potência esteve quase sempre abaixo do valor exigido pela Resolução 414/2010 (linha vermelha).

Gráfico 01 – Fatores de potência medidos – mês 05/2019

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019

Conforme pode ser verificado no gráfico 01, os dois fatores de potência mais desfavoráveis alcançados foram conforme indicados na tabela 01.

Tabela 01 – Fatores de potência mais desfavoráveis

Data	Hora	Demanda ativa	Potência reativa indutiva	Fator de potência
02/05	17:45	1	7	0,16
01/05	18:00	1	6	0,20

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019

Pode-se verificar ainda que os fatores de potência mais baixos são alcançados quando praticamente não há cargas em funcionamento. Isso se deve ao fato de que a energia reativa está sendo consumida pelos enrolamentos do transformador. Além disso, devido à falta de capacitores, não há registros de energia reativa capacitiva.

Segundo Mamede Filho [6], para o dimensionamento do banco de capacitores, deve-se utilizar a equação 08.

$$P_c = P_{at} * (tg\psi_1 - tg\psi_2) \quad \text{eq. 08}$$

Onde, P_{at} é a potência ativa média registrada, no intervalo de 15 minutos, ψ_1 é o ângulo do fator de potência medido e ψ_2 é o ângulo do fator de potência desejado.

Para garantir que o fator de potência seja corrigido com segurança, dimensiona-se o banco de capacitores para atingir o fator de potência de 0,95. Como a memória de massa não possui o valor dos ângulos dos fatores de potência, tais valores devem ser calculados através da equação 09.

$$\psi_2 = \cos^{-1} (0,95) \quad \text{eq. 09}$$

A partir dos valores de potências reativas capacitivas e indutivas e de demanda ativa, é possível calcular a tangente do ângulo ψ_1 de acordo com a equação 10.

$$\tan \psi_1 = \frac{kvar_{IND} - kvar_{CAP}}{kW} \quad \text{eq. 10}$$

Com a utilização das equações de 8 a 10 e os dados da tabela 01, é possível calcular a potência do banco de capacitores necessários para a correção do fator de potência, conforme dados na tabela 02, de forma que este valor permaneça em 0,95. Como exemplo utilizou-se o primeiro caso, estendendo-se aos demais.

$$P_c = 1 * \left[\left(\frac{7 - 0}{1} \right) - tg(\cos^{-1} 0,95) \right] = 6,67$$

Tabela 02 – Bancos de capacitores para os fatores de potência mais desfavoráveis

Data	Hora	Potência Ativa	Potência reativa Indutiva	Fator de potência	Potência do banco de capacitores a ser instalado
02/05	17:45	1	7	0,16	6,67
01/05	18:00	1	6	0,20	5,67

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019

Verifica-se que nos intervalos em que o fator de potência atingiu seus valores mais baixos o banco de capacitores necessário teria potência de 6,67kVAr. No entanto, caso o banco de capacitores instalado tenha apenas essa potência, nos horários em que

há carga em funcionamento o equipamento supracitado não será suficiente para a correção do fator de potência. Pode-se, então, instalar capacitores fixos de baixas potências para corrigir o fator de potência nos horários de pouca carga e capacitores com acionamento automático nos horários de maior demanda. Para o dimensionamento desse banco de capacitores automático, foi considerada a maior potência de capacitores a ser utilizada, que estão listadas na tabela 03.

Tabela 03 – Maiores potências de capacitores necessários

Data	Hora	Potência Ativa	Potência reativa Indutiva	Fator de potência	Potência do banco de capacitores a ser instalado
23/05	7:00	44	45	0,70	30,54
17/05	9:15	52	47	0,74	29,91

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019

Observando a tabela 03, verifica-se que o banco de capacitores automáticos deve ter a potência igual a 31kVAr.

Após a instalação do banco de capacitores, podemos simular os novos valores do fator de potência a serem medidos modificando a equação 05, conforme indicado na equação 11.

$$FP = \cos \left[tg^{-1} \left(\frac{kVAr_{IND} - kVAr_{CAP}}{kW} \right) \right] \quad \text{eq. 11}$$

Onde, $kVAr_{IND}$ é a potência reativa indutiva, em kVAr, $kVAr_{CAP}$ é a potência reativa capacitiva, em kVAr e kW é a potência ativa, em kW. Além disso, utilizando a planilha eletrônica para realizar os cálculos foi possível gerar o gráfico 02.

Gráfico 02 – Fatores de potência simulados, após a instalação do banco de capacitores

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019

Conforme explicado anteriormente, um baixo fator de potência faz com que o transformador perca parte da sua capacidade nominal. Logo, após o dimensionamento do banco de capacitores e utilizando os dados da tabela 03, podemos utilizar a planilha eletrônica para determinar qual a potência aparente liberada no transformador para ser utilizada de forma útil, através da equação 12. Alguns dos valores da potência aparente antes da instalação do banco de capacitores são indicados na tabela 04.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{eq. 12}$$

Tabela 04 – Potências aparentes utilizadas no transformador antes da correção

Data	Hora	Potência ativa	Potência reativa indutiva	Potência aparente
23/05	7:00	44	45	62,94
17/05	9:15	52	47	70,09
22/05	12:15	49	46	67,21

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019

Após o dimensionamento do banco de capacitores de 31kVAr, podemos simular o carregamento do transformador, conforme indicado na tabela 05.

Tabela 05 – Potências aparentes utilizadas no transformador após a correção

Data	Hora	Potência Ativa	Potência reativa Indutiva	Potência reativa Capacitiva	Potência Aparente
23/05	7:00	44	45	31	46,17
17/05	9:15	52	47	31	54,40
22/05	12:15	49	46	31	51,24

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019

A partir da diferença entre os dados das tabelas 04 e 05, podemos definir os valores de potência aparente liberados no transformador, conforme a tabela 06.

Tabela 06 – Potências aparentes liberadas no transformador após a correção

Data	Hora	Potência aparente Antes da correção	Potência aparente após a correção	Potência aparente liberada
23/05	7:00	62,94	46,17	16,77
17/05	9:15	70,09	54,40	15,69
22/05	12:15	67,21	51,24	15,97

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019

Considerando a potência aparente medida no dia 23/05, às 7:00, percebe-se que com a instalação do banco de capacitores haveria uma redução de aproximadamente 26,64% no carregamento do transformador.

De acordo com a literatura referente ao conteúdo aqui exposto, percebe-se que é unânime a afirmação de que se faz necessário a instalação de bancos de capacitores onde a presença de máquinas indutivas é maior que as cargas resistivas. Seja para reduzir os custos dos clientes com a utilização de componentes elétricos de maior capacidade de condução ou redução de multas por consumo de energia reativa excedente, seja por “liberar espaço” para transporte de potência ativa nas redes de distribuição de concessionárias.

Assim sendo, nessas unidades consumidoras devem ser realizados monitoramentos constantes do fator de potência medido para evitar valores de fator de potência abaixo do estabelecido pela Resolução 414/2010. Para isso, pode-se solicitar da concessionária os dados de medição de todo o período de faturamento mês a mês, contidos na memória de massa, e, assim, analisar os períodos críticos do fator de potência para agir de forma precisa nessa redução de custos e alcançar as melhorias na eficiência da energia utilizada.

Apesar de servir como base para essa análise, a memória de massa possui limitação temporal, uma vez que tais dados somente podem ser analisados após o fechamento do período de faturamento. Logo, para uma análise em tempo real, uma solução mais eficiente seria um gerenciamento de energia online que atualiza tais informações a cada intervalo pré-definido e que pode ser objeto de estudo para possíveis comparações com a análise através da memória de massa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Tendo em vista os aspectos observados, podemos concluir que o dimensionamento do banco de capacitores através da memória de massa em planilha eletrônica e consequente instalação do mesmo é de fundamental importância, visto que, apesar de gerar um custo ao cliente, é benéfico para o sistema elétrico como um todo, melhorando a qualidade de energia não só na instalação elétrica local, mas também na rede de distribuição que alimenta as unidades consumidoras vizinhas e incentivando a eficiência energética.

O estudo realizado pôde ainda demonstrar que o fator de potência, após a instalação do banco de capacitores de 31kVAr, permanecerá acima de 0,92, conforme

exigido por norma e consequentemente há a liberação de potência ativa nos circuitos elétricos da instalação e da rede de distribuição. Com isso, é possível inclusive reduzir o valor cobrado na fatura de energia elétrica e tal valor economizado poderá ser utilizado para aplicações em outros setores, bem como na expansão do empreendimento do cliente.

REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL. Condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Resolução Normativa nº 414/2010. **Direito e deveres dos consumidores e distribuidores - atualizada até a resolução normativa nº 725 de 7 de junho de 2016**. Brasília - DF, 2016.
- [2] ENGELETRICA. **Manual de correção do fator de potência**. 2011. Disponível em: <<http://www.engeletrica.com.br/novo-site/fatordepotencia-manual-fatordepotencia.html>>. Acesso em: 07 de set. 2019.
- [3] ENGEREY. **Banco de capacitores**. 2019. Disponível em: <<http://www.engerey.com.br/paineis-eletricos/banco-de-capacitores>>. Acesso em: 05 de set. 2019.
- [4] EQUATORIAL ENERGIA PIAUÍ. **Solicitação de dados de memória de massa**. 2019. Disponível em: <<https://www.equatorialpiaui.com.br/index.php/informacoes/alta-tensao/solicitacao-de-dados-de-memoria-de-massa/>>. Acesso em: 08 de set. 2019.
- [5] FRAGOAS, A. G. **Estudo de caso do uso de bancos de capacitores em uma rede de distribuição primária** – indicativos da sua viabilidade econômica. 72f. Monografia (Graduação em engenharia elétrica). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008
- [6] MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- [7] MARREIROS, A.; MENDES, F. **Estudo de caso para a correção do fator de potência por meio da instalação de bancos de capacitores**. 66f. Monografia (Graduação em engenharia elétrica) – Universidade Estadual do Piauí, Teresina, 2017.
- [8] MORAIS, E.. **Potência elétrica: os principais conceitos** [podcast]. 2013. Disponível em: <<https://www.saladaeletrica.com.br/potencia-eletrica-podcast-002/>>. Acesso em: 04 de set. 2019.
- [9] PARANHOS, F. **História do Excel. Aprender Excel**. 2013. Disponível em: <<http://www.aprenderexcel.com.br/2013/artigos/historia-do-excel>>. Acesso em 08 de set. 2019.