

***VIABILIDADE DO EMPREGO DE BANCO
DE CAPACITORES PARA COMPENSAÇÃO DE REATIVOS******Viability of the Bank Job for Reactive Compensation Capacitors***

Pedro Henrique Sant'Ana Dutra, Thamiris Marques Vieira,
Stefani Caroline Leal de Freitas

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade apresentar o resultado de uma pesquisa desenvolvida com intuito de resolver problemas na qualidade de energia elétrica, afetada por distorções harmônicas, variação de tensão e, principalmente, baixo fator de potência. Os dados servirão de parâmetro para confirmação que o dimensionamento de motores, a utilização e a operação, convenientes, dos equipamentos e a instalação de banco de capacitores são os principais processos para correção do fator de potência. Dentre eles, a instalação de banco de capacitores revelou-se o método mais utilizado e de resultado mais eficiente. Inicialmente, pesquisou-se a bibliografia sobre o assunto e desenvolveu-se um programa no Microsoft Excel; com tabulação de dados. Posteriormente, com os resultados obtidos, fez-se a simulação digital, por meio do programa PSIM[®] da Simulation Software Student Version for POWERSYS Partner, efetivando-se o funcionamento do programa criado no Excel.

Palavras-chave: Banco de Capacitores. Fator de Potência. Qualidade da Energia Elétrica. Sistema Elétrico.

ABSTRACT

This work aims to present the results of a survey developed with the purpose of solving problems in the quality of electrical energy, affected by harmonic distortion, voltage variation and, especially, low power factor. The data will serve as a confirmation that the parameters for sizing motors, convenient use and operation of equipment, and capacitor bank installation are the main processes of correcting power factor. Among them, installation of capacitor bank proved to be the most used method and the one with the most effective results. Initially, the literature on the subject was looked into, and a program in Microsoft Excel, with data tabulation, was developed. Later, considering the results, it was made a digital simulation through PSIM[®] Student Version of Simulation Software for PowerSys Partner program, effecting the operation of the program created in Excel. Later, with the obtained results, a digital simulation was done, by means of the PSIM[®] program Simulation Software Student Version for PowerSys Partner, bringing the operation of the program, created in Excel, into effect.

Keywords: Capacitor Bank. Power Factor. Quality of Electrical Energy. Electrical System.

INTRODUÇÃO

A qualidade no fornecimento de energia elétrica tem se tornado, cada vez mais, importante, por interferir de forma direta, tanto no ramo do consumidor residencial, quanto no do industrial, podendo acarretar variações nos dispositivos do sistema, além de grandes prejuízos.

A análise do fator de potência das instalações consumidoras é um assunto amplamente discutido, quando são questionados temas relacionados à quantidade de energia elétrica.

Sobre a correção do fator de potência, este trabalho enfatiza o uso de banco de capacitores, como método mais eficiente. Em empresas, além de os capacitores evitarem multas altas, geram benefícios, uma vez que melhoram a operação e a proteção dos equipamentos.

Este trabalho tem como objetivo principal o estudo do emprego de banco de capacitores para compensação de reativos, por meio do desenvolvimento de um aplicativo computacional no Microsoft Excel para dimensionamento de capacitores, analisando os resultados gerados, pela simulação de casos no programa PSIM; software este de ampla atuação no meio das engenharias.

MATERIAL E MÉTODOS

A qualidade da energia elétrica é decorrente de mudanças nas características das cargas. Atualmente, grande parte das cargas é composta por dispositivos não lineares, como diodos, tiristores e transistores, responsáveis pela ocorrência de problemas relacionados à qualidade da energia elétrica; destacando-se distorções harmônicas, variação de tensão, cintilação, ou flicker, e o baixo fator de potência.

Tais problemas podem ser de pequena magnitude, porém podem causar danos com grandes prejuízos econômicos, como o baixo fator de potência, que acarreta multas, danos a equipamentos e redução na produção das empresas.

O Fator de Potência é um parâmetro que revela quão eficiente é o consumo do produto eletricidade; relacionando-se as potências, aparente e reativa, medidas nas cargas consumidoras. Este parâmetro varia entre 0 e 1, e quanto mais próximo de 1, mais eficiente o consumo de energia.

Baixas medidas do fator de potência indicam grande circulação de energia reativa, que, por sua vez, não realiza trabalho útil.

As definições destas grandezas e suas características nas redes provocam altos níveis de distorção nas tensões e correntes de fornecimento, o que leva à necessidade de ajustes nas definições de potência (ANEEL, 2012).

As quantidades adotadas como referência para o fator de potência, além de sua definição e das formas de cobrança de excedente de reativos, variam de maneira significativa de um país para outro.

O Brasil adota a regulamentação de fator de potência como na maioria dos países, levando-se em consideração a potência reativa. A norma brasileira tem como referência $\cos(\varphi)$, caracterizado pela relação da potência ativa sobre a aparente, que considera como limite o valor de 0,92. Os limites de energia reativa aplicam-se a unidades consumidoras de tensão igual ou superior a 2,3 kV. O Quadro 1 apresenta os países em que se leva em consideração o fator de potência, como referência.

Países	FP
Colômbia	0,90
Argentina e Uruguai	0,92
Chile, Coreia do Sul e Portugal	0,93
Alemanha, Bélgica e Suíça	0,95
Colômbia	0,90

Quadro 1 - Relação internacional de fator de potência
Fonte: Autores

Como mencionado, o FP referencial (f_R), indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo, para as unidades consumidoras, o valor de 0,92. Para a demanda de reativos excedentes, aplicam-se as cobranças adicionadas ao faturamento regular; o que pode ser calculado por meio da seguinte equação (1):

$$\text{multa} = \text{valor da conta de eletricidade} * \frac{\text{FP referencial}}{\text{FP da unidade consumidora}} - 1 \quad (1)$$

Exemplo: Quando um FP, calculado na unidade consumidora for de 0,87(87%), pagar-se-á 5,747% sobre o valor da conta de eletricidade.

Alguns países, como a França, utilizam uma grandeza diferente em relação ao Brasil, que se utiliza do FP, empregando outro tipo de valor: a relação entre a Potência Ativa e Reativa, denominada $\text{tg}(\varphi)$ (ANEEL,2012).

Uma das maneiras de se eliminar este tipo de multa é por meio da instalação de um banco de capacitores; o que também alivia o sistema elétrico nacional, por reduzir a circulação de energia reativa.

Banco de Capacitores

Baixos fatores de potência e excesso de energia reativa restringem a carga total em uma instalação elétrica. A maioria das soluções necessita de inspeção e manutenção, periódica, ou de um estudo, aprofundado, sobre as cargas instaladas na empresa para um resultado eficiente, evitando-se multas exageradas.

Os investimentos para implementação de soluções para tais problemas vêm dando destaque para a utilização de banco de capacitores devido a sua alta eficácia, menor custo e maior facilidade de instalação e manutenção.

Há várias alternativas para a instalação de banco de capacitores no sistema elétrico, contudo, todas apresentam vantagens e desvantagens. Neste sentido, a escolha da melhor alternativa dependerá de análises técnicas de cada instalação (CASA, 2013).

Os capacitores e os bancos de capacitores, além de evitarem multas pesadas para as empresas, quando bem dimensionados e instalados, podem trazer outros benefícios às instalações elétricas, como a redução das perdas nos circuitos terminais, liberação da potência instalada em transformadores, liberação da capacidade de cargas dos circuitos terminais e de distribuição, melhoria no nível de tensão e na operação dos equipamentos de manobra e proteção (PAIXÃO, 2013).

Banco de capacitor (Figura 1) é o conjunto de unidades capacitivas – células – e seu equipamento de montagem, manobra, proteção e controle. Cada célula é formada por um conjunto de capacitores individuais (WANZELER, 2013).

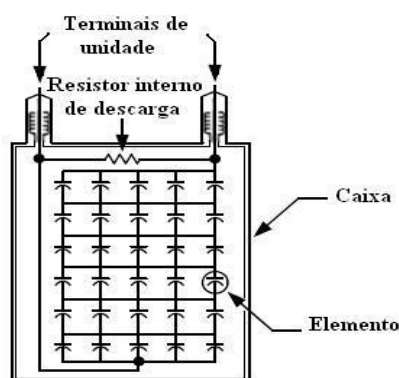


Figura 1 – Modelo esquemático de uma célula capacitiva.
Fonte: WANZELER (2013)

A função principal de um banco de capacitor é suprir a potência reativa para o sistema ou para a parte em que estiver ligado.

Muitos fatores influenciam na escolha da localização e do tipo de capacitores, tais como, os circuitos da instalação, seu comprimento, as variações da carga, tipos de motores e distribuição das cargas. De forma geral, os capacitores ou bancos de capacitores podem estar localizados na entrada de energia, no secundário do transformador, no quadro de distribuição de agrupamento de cargas ou junto à carga (DUAILIBE, 2000).

Tipos e Conexões de Banco de Capacitores

Há três tipos de bancos de capacitores: automáticos, semi-automáticos e fixos. Por definição e por maior utilização, os bancos fixos sempre estão ligados à rede, enquanto que os automáticos são ligados ou desligados por meio de relés de comando; quando necessário.

Os principais tipos de conexões de banco de capacitores são: ligados em estrela – simples ou dupla, aterrada ou não – ou em triângulo – simples ou dupla. Estas ligações podem ser vistas na figura 2.

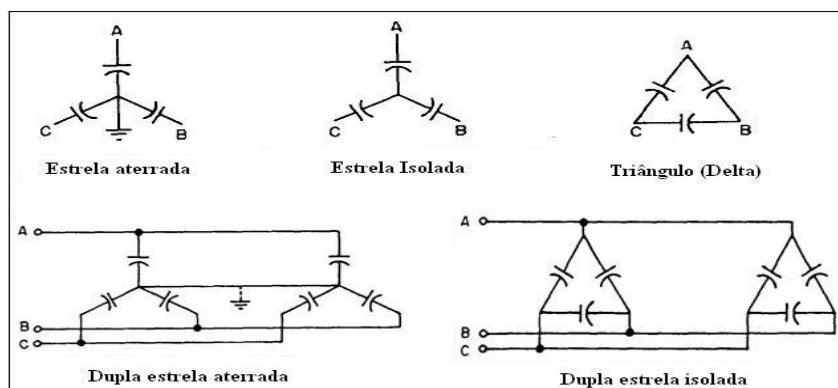


Figura 2 – Tipos de conexões de bancos de capacitores
Fonte: Silva Filho; Delgado (2010)

A análise da melhor conexão depende de avaliações das tensões disponíveis, das unidades de capacitor, fusível e relés de proteção. Estas conexões podem ser usadas para banco de capacitores com fusíveis – externos ou internos –ou sem fusíveis.

Cada uma apresenta uma série de vantagens e desvantagens; o que pode ser observado no Quadro 2.

Ligação	Estrela aterrada	Estrela não aterrada
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> - Auto protegidos contra surtos atmosféricos; não há necessidade de para-raios adicionais - Podem ser usadas como filtro de harmônicos – caminho de escoamento de baixa impedância para correntes de altas frequências - TTR nos disjuntores e fusíveis relativamente baixa 	<ul style="list-style-type: none"> - Não provocam interferências nos circuitos de comunicação - Não há tanta preocupação com a proteção nos secundários do TC
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta a interferência em circuitos de comunicação, devido às correntes de alta frequência para a terra - Queima de fusíveis, sistemas de proteção e danificação das latas devido às altas correntes harmônicas - Obrigatória a instalação de reatores em série ou limitadores de tensão nos secundários dos TCs, a fim de diminuir o produto módulo x frequência de descargas dos bancos para curtos-circuitos 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade para o isolamento do neutro em tensões acima de 15kv - Encarecimento do disjuntor ou seccionador devido à TTR nos equipamentos de manobra do banco

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens das ligações em estrela
Fonte: Silva Filho; Delgado (2010)

Atualmente, grande parte dessas cargas é composta por dispositivos não lineares, como diodos, tiristores e transistores, responsáveis pela ocorrência de muitos problemas relacionados à qualidade da energia elétrica, dando-se destaque para as distorções harmônicas, variação de tensão, cintilação, ou flicker, e baixo fator de potência.

Desta forma, pode-se afirmar que qualidade, confiabilidade, economia e segurança são os principais fatores encontrados nas instalações de banco de capacitores, para correção de tais problemas, como o baixo fator de potência, buscados por todos os setores que envolvem sistemas elétricos de potência.

Ferramentas Utilizadas

Como uma das principais contribuições deste artigo apresenta-se a melhor maneira para se atender às normas em relação ao fator de potência, mínimo de 0,92 no Brasil, com o dimensionamento das cargas da instalação. Em seguida, está a simulação de casos, estudando-se a viabilidade da utilização de banco de capacitores para correção do baixo fator de potência.

No processo de análise e simulação, foram apresentados dois programas. O primeiro, desenvolvido no Excel com o objetivo de cálculo de dados, e o segundo, PSIM[®] da *Simulation Software StudentVersion for POWERSYS Partners*, para simulação dos resultados.

Sob a ótica deste trabalho, durante o processo de dimensionamento do banco de capacitores, foi considerada, como um parâmetro, comum, entre os casos, a impedância (Z) da carga, no sistema a ser compensado.

O processo de dimensionamento do banco de capacitores iniciou-se, primeiramente, com o preparo dos dados para entrarem no aplicativo, desenvolvido no Excel[®]; com a função de facilitar os cálculos para a inserção dos dados no simulador PSIM[®]. Para fins de cálculo da potência reativa e da capacitância do BC, levou-se em consideração a teoria do triângulo de potências, e as demais especificações constantes na definição e apresentação de banco de capacitores,

anteriormente explicadas. A equação (2) mostra, objetivamente, a fórmula para cálculo da capacitância do BC, simulado no software PSIM®:

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f V_{ef}^2} \quad (2)$$

Como exemplo, será apresentado em seguida o estudo de um dos casos analisados, em que a figura 3 apresenta a interface do aplicativo criado no Excel.

Nas primeiras linhas, encontram-se as células editáveis, em que o usuário entrará com dados de tensão eficaz do sistema (V_{ef}), impedância equivalente da carga (Z), frequência do sistema (f) e fator de potência desejado (F.D.P).

Os demais dados são fornecidos pela rotina e aplicados no diagrama de simulação no PSIM, apresentado na figura 4.

Dados de Entrada				
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Tensão eficaz do sistema (V_{ef})				
Impedância equivalente da carga (Z)[Em retangular]				
Frequência do sistema (f)				
Fator de potência desejado (F.P.D)				
Dados de Saída				
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Impedância equivalente da carga (Z)[Em polar]				
Corrente eficaz antes da compensação ($I_{efantes}$)				
Corrente eficaz depois da compensação ($I_{efdepois}$)				
Potência Aparente inicial (S_i)				
Potência Reativa inicial (Q_i)				
Potência ativa (P)				
Fator de potência inicial (F.P)				
Potência Aparente final (S_f)				
Potência Reativa final (Q_f)				
Potência do capacitor (Q_c)				
Capacitância (C)				

Figura 3 – Interface do aplicativo no Excel®
Fonte: Autores

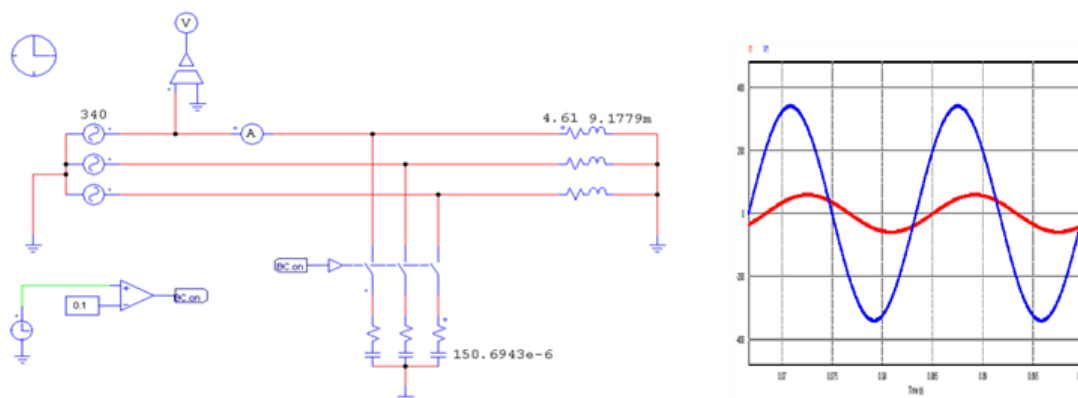


Figura 4 – Interface do sistema e simulação no aplicativo no PSIM®
Fonte: Autores

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Circuito misto com três cargas em série – uma resistiva, no valor de 40Ω ; outra capacitiva, no valor de 20Ω ; e a última, de 50Ω , alimentada por uma fonte de tensão de $220 \angle 0^\circ \text{ V}$ –, esquematizado no circuito abaixo, corrigido para um $FP=0,94$:

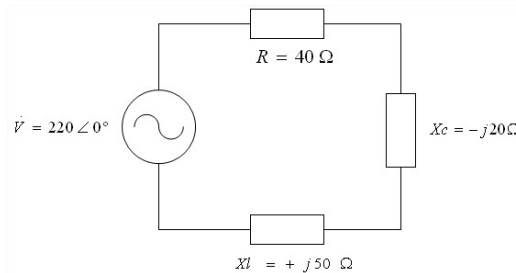


Figura 5 – Caso estudado: Circuito em série
Fonte: Autores

Neste caso, a impedância será calculada pela soma das impedâncias, uma vez que o circuito está em série:

$$Z = 40 + j50 - j20$$

$$Z = 40 + j30 \Omega$$

O caso, simulado no PSIM, está exemplificado na figura 6, em que a fonte de alimentação apresenta uma tensão de 311 V, de pico a pico. A figura 7 apresenta os resultados da simulação, realizada em duas etapas: antes e depois da compensação.

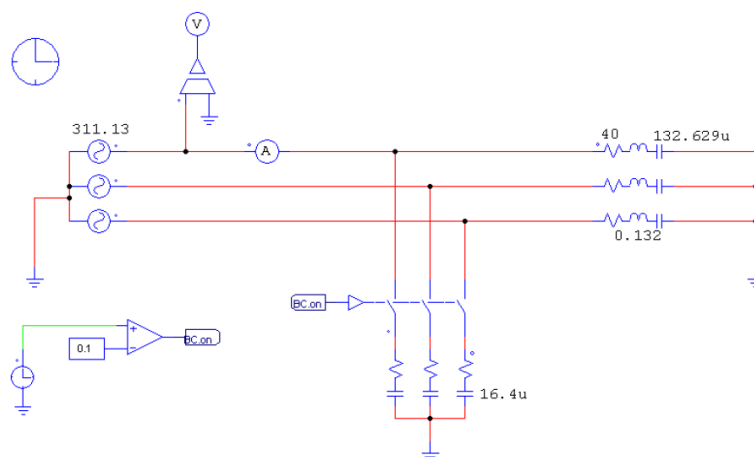


Figura 6 – Caso estudado: Sistema simulado
Fonte: Autores

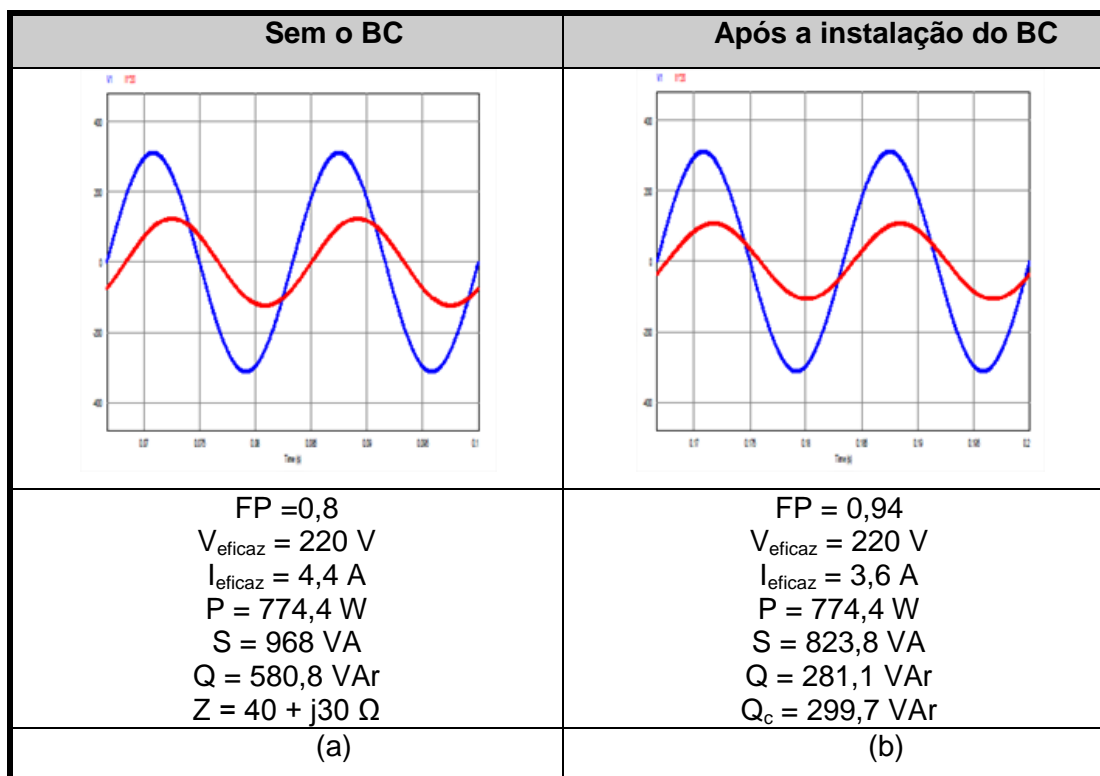


Figura 7 – Caso estudado: Resultados
Fonte: Autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando os resultados do caso apresentado, citam-se, como satisfatórios, a redução da corrente no sistema, e também da potência reativa. Neste caso, a queda da corrente foi de 18,18%, e da potência reativa, de 51,6%. Estes resultados influenciam, significativamente, no sistema em que as cargas estão ligadas, podendo, em casos reais, melhorar a estabilidade do sistema.

A partir dos resultados aferidos na pesquisa, foi possível apresentar uma, de várias, alternativas para melhorar a qualidade da energia elétrica nas empresas, indústrias e futuramente em residências, principalmente para melhora do sistema elétrico, mas também para se evitar gastos, desnecessários, com multas.

No contexto deste trabalho, várias contribuições podem ser identificadas. Dentre elas, destacam-se as principais:

- discussão sobre compensação de reativos, tendo em vista a previsão de uma breve mudança na legislação de fator de potência;
- apresentação de um novo software de simulação digital, PSIM[®], no âmbito da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG – Campus de Ituiutaba-MG; e
- desenvolvimento de um aplicativo, no Excel[®], para dimensionamento de banco de capacitores.

Como pospostas de continuidade da pesquisa, apresentam-se:

- estudos relacionados à tarifação de reativos, baseados em valores reais, aplicados pelas concessionárias de eletricidade do Brasil; e
- estudos de casos, específicos, para adequação de uma unidade consumidora ao fator de potência nacional.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Nota Técnica** n.º 0083/2012-SRD/ANEEL, Processo: 48500.002798/2012-61, ANEEL, 12 jun. 2012.

CASA, Darci, **Manual de correção do fator de potência**. DICEL Engenharia. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABbXAAK/manual-correcao-fator-potencia?part=9>. Acesso em: 14 dez. 2013.

FRAGOAS., Alexandre G. **Estudo de caso do uso de bancos de capacitores em uma rede de distribuição primária** – indicativos da sua viabilidade econômica, São Carlos, 2008.

LORENZETTI, Mário. Energia reativa excedente. **Síndico S/A** (Revista Digital);, São Paulo, n.1, p. 36-39, abril. 2013. Disponível em: <http://pt.calameo.com/read/00145088799f6e4b477f8>. Acesso em: 12 ago. 2013.

PAIXÃO, Ronaldo. **Qualidade de energia** - Porque corrigir o Fator de potência. Disponível em: http://www.halten.com.br/Qualidade_de_energia_Banco_de_Capacitores.pdf. Acesso em: 7 mai. 2013.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, **Memória de cálculo para os ajustes do relé de sobrecorrente direcional e religamento SEL-351 usado na proteção de bancos de capacitores de 13,8kv.** Disponível em: www.selinc.com.br/calculo/ROTEIRO%20DE%20AJUSTES%20SEL-487E.pdf. Acesso em: 15 nov. 2013.

SILVA FILHO, Dilson Ricardo.; DELGADO, Francisco V. **Banco de capacitores.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco - Departamento de Engenharia Elétrica, 21 Jun. 2010. Disponível em <http://www.ebah.com.br/content/ABAAA5QcAG/banco-capacitores>. Acesso em: 15 nov. 2013.

WANZELER, Carol. **Banco de capacitores, proteção, tipos e montagem.** UFPA. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfjYAD/trabalho-banco-capacitores>. Acesso em: 18 nov. 2013.

AUTORES

Pedro Henrique Sant'Ana Dutra é discente de Engenharia Elétrica da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG – Campus de Ituiutaba-MG.
phsdutra@gmail.com

Thamiris Marques Vieira é Engenheira Eletricista pela Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG – Campus de Ituiutaba-MG.
thamiris.vieira@gmail.com

Stefani Carolline Leal de Freitas, mestre em Engenharia Elétrica pela UNESP e Engenheira Eletricista pela FEIT-UEMG. É Professora do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Tocantins – UFT.
stefani_itba@msn.com