

# CONTROLE DE TENSÃO POR POTÊNCIA REATIVA

*Data de aceite: 02/10/2023*

### **Quézia Nicolle Monteiro Tavares**

Centro de Ensino São Lucas  
Rondônia, Brasil

### **Daslene de Oliveira Pereira Rodrigues**

Centro de Ensino São Lucas  
Rondônia, Brasil

### **Juliany Barbosa dos Santos**

Centro de Ensino São Lucas  
Rondônia, Brasil

### **Izabele Bezerra Barros**

Centro de Ensino São Lucas  
Rondônia, Brasil

### **Ana Caroline de Aguiar Hurtado**

Centro de Ensino São Lucas  
Rondônia, Brasil

### **Ocione Almeida Pontes**

Centro de Ensino São Lucas  
Rondônia, Brasil

**ABSTRACT** — Este artigo é uma revisão bibliográfica de estudos realizados a respeito do controle de tensão por potência reativa. O controle do sistema elétrico de potência é realizado pelos operadores de tempo real, com base em informações como valores atuais e tendências das grandezas elétricas.

A tarefa do controle de tensão tem como principal objetivo impedir que as tensões dos barramentos sob sua responsabilidade ultrapassem valores limites não permitidos. Existem equipamentos de controle de tensão que serão explorados no decorrer do artigo e que podem ser utilizados durante a regulação, além das restrições existentes em suas utilizações.

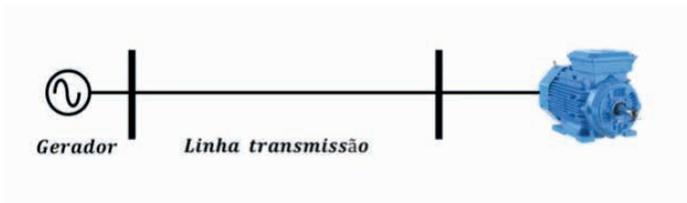
**PALAVRAS-CHAVE:** Potência Reativa, controle de tensão, SEP.

## 1 | INTRODUÇÃO

O controle de tensão é utilizado para impedir que as tensões no barramento ultrapassem os valores permitidos. Estes valores são definidos tanto pelas características dos equipamentos presentes no SEP, quanto pelas pesquisas feitas no planejamento e pré-operação. Faixas de tensão são definidas para cada período de carga diferente – pesada, média ou leve-mínima.

A tensão elétrica é regulada através do controle de potência reativa. A potência reativa indutiva e capacitiva devem estar equilibradas no SEP. Se houver de excesso

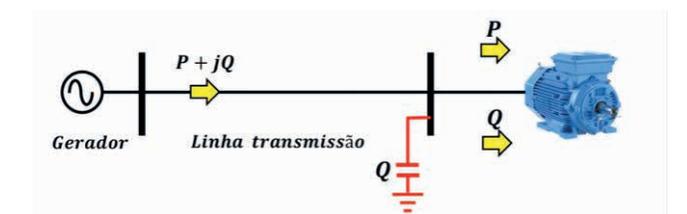
potência reativa indutiva, há subtensão. E ao contrário (capacitiva), provocará sobretensão no sistema elétrica. E para onde vai essa potência reativa do sistema elétrico? Ela é responsável por suprir o campo magnético dos indutores. Como por exemplo, motores, transformadores, reatores, e principalmente responsável pelo controle de tensão no sistema elétrico. As manobras de controle de tensão pode ser feitas localmente ou remotamente, através de sistemas de supervisão e controle.



Observe agora que há um sistema elétrico com um gerador de energia e uma linha de transmissão alimentando uma carga, imagine um grande motor elétrico, que converte energia elétrica em energia mecânica, consumindo potência ativa. Mas esse motor precisa magnetizar o enrolamento, então necessita de potência reativa. Quem supre a potência ativa e reativa à carga é o gerador, através da linha de transmissão.



Teremos então uma transmissão de potência  $P + jQ$  (potência ativa somada à potência reativa fasorialmente). Não é possível anular a potência reativa consumida pelo motor, é necessário alimentar o enrolamento para produzir campo magnético. É possível efetuar a compensação de reativo, podendo ser feita no barramento da carga, instalando-se um banco de capacitores.



## 21 CONTROLE DE TENSÃO MEDIANTE AJUSTE DA EXCITAÇÃO DAS UNIDADES GERADORAS

Um regulador automático ajusta a corrente de excitação para manter a tensão em

níveis predefinidos. Quando a tensão cai abaixo do valor desejado, a corrente de excitação aumenta para fornecer mais potência reativa (var), sem afetar significativamente a potência ativa (MW).

Quando a tensão excede o valor desejado, o regulador reduz a corrente de excitação, diminuindo a geração de var. Se a corrente de excitação for reduzida o suficiente, o gerador começará a absorver VAR.

O controle da tensão é importante, pois afeta a quantidade de var gerada ou absorvida no sistema elétrico. No entanto, é preciso ter cuidado ao ajustar os reguladores de tensão, pois uma redução excessiva na excitação pode tornar a unidade geradora instável, enquanto um aumento excessivo pode causar superaquecimento do rotor.

### **3 I CONTROLE DE TENSÃO POR TAPE DOS TRANSFORMADORES**

O controle de tensão por taps (derivações) em transformadores é uma técnica usada para ajustar a tensão de saída do transformador de acordo com as necessidades da rede elétrica. Isso é feito por meio de um dispositivo chamado tap changer ou comutador de derivação, que permite selecionar diferentes pontos de conexão nas bobinas do transformador.

Existem dois tipos principais de taps em transformadores: taps on-load (com carga) e taps off-load (sem carga). Os taps on-load permitem ajustes enquanto o transformador está em operação, enquanto os taps off-load requerem que o transformador seja desligado antes do ajuste.

A troca de taps em transformadores é um processo que pode ser executado de diversas maneiras. Isso pode ocorrer manualmente, exigindo a intervenção direta de um operador, ou eletromanualmente, quando o operador utilizar dispositivos eletromecânicos para realizar uma troca. Além disso, a troca de taps pode ser automatizada quando o transformador está equipado com um relé regulador de tensão avançado, capaz de realizar essa ação de forma automática.

Essa mudança nos taps de um transformador é significativa, pois afeta os fluxos de potência reativa no sistema elétrico. Em algumas situações, essa alteração nos reativos pode ter um impacto substancial na produção ou na absorção de várias unidades geradoras de energia. Portanto, a escolha do método de troca de taps e a gestão adequada desse processo são fundamentais para garantir a estabilidade e eficiência do sistema elétrico.

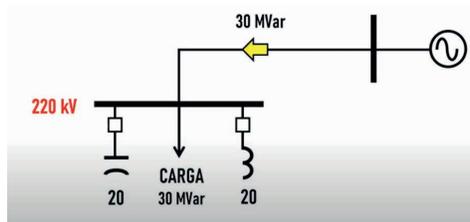
Em resumo, o controle de tensão por taps em transformadores desempenha um papel crucial na estabilização da tensão elétrica e na entrega consistente de energia aos consumidores, adaptando-se às variações na demanda e nas condições da rede elétrica.

## 4 | CONTROLE DE TENSÃO POR BANCOS DE CAPACITORES E REATORES EM PARALELO

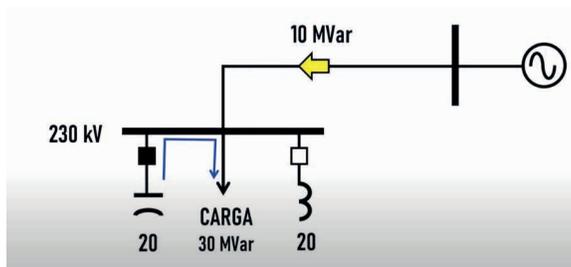
Dentro do sistema elétrico é possível realizar o controle de tensão por banco de capacitores. Em casos em que a potência reativa do banco de capacitor é igual a potência consumida de reativo pelos indutores, como motor e transformador, acarreta uma total compensação de reativos, não sendo necessário gerar mais potência reativa.

Para este modelo de controle de tensão, os bancos de capacitores ligados em paralelo ao sistema elétrico elevam a tensão elétrica e, por consequência, fornecem Volt-Ampere Reativo (VAr). Já os reatores que são ligados em paralelo são capazes de reduzir a tensão elétrica e absorver Var.

A figura 1 permite o entendimento do motivo para que um banco de capacitor eleve a tensão na barra onde é conectado. A subestação elétrica da figura contém uma barra com tensão elétrica de 220 kV, uma carga consumindo 30 MVar de potência reativa indutiva, um banco de capacitores e um reator, ambos de 20 MVar. Visto que o banco de capacitor está desligado, o sistema de transmissão suprirá os 30 MVar provindos do sistema elétrico.



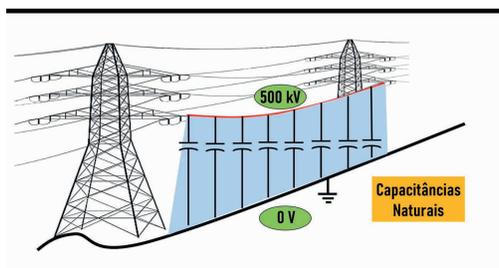
Considerando que a tensão elétrica na barra é de 220 kV, deseja-se elevar esse perfil de tensão, logo, é necessário injetar potência reativa capacitiva na barra. A manobra a ser realizada é de ligar o banco de capacitor de 20 MVar que está conectado ao barramento. Após ligado, o banco suprirá parte da potência reativa da carga, como a carga é de 30 MVar, o banco irá suprir 20 MVar, restando ao sistema de transmissão o total de 10 MVar. Em consequência à manobra, haverá alívio no sistema de transmissão, onde as quedas de tensão reduzirão e, como esperado, a tensão na subestação será elevada, passando de 220 kV para 230 kV, conforme mostrado na figura 2.



## 51 CONTROLE DE TENSÃO DE TERMINAIS DE LONGAS LINHAS DE TRANSMISSÃO

Com o crescimento demográfico do Brasil, relacionado ao contínuo desenvolvimento econômico e tecnológico, favoreceu o aumento das atividades dos setores industriais, comercial e de serviços, causando o surgimento de diversos centros de consumidores de energia elétrica, que é de fundamental importância para que essas atividades sejam exercidas. Nessa contextualização, para garantir a demanda energética faz-se necessária a construção dessas linhas longas, pois geralmente as fontes hídricas no nosso território estão longes dos grandes centros de consumo. No Brasil, para interligar essas unidades consumidoras, houve a criação do Sistema Interligado Nacional – SIN.

Para minimizar os inconvenientes da utilização de linhas de transmissão cada vez mais longas e propiciar ao sistema um melhor funcionamento, utiliza-se banco de reatores em série ou paralelo (ou shunt). O banco de reatores, se instalado em série com a linha, contribui para limitar a corrente de curto-circuito na mesma, já que a impedância série equivalente dessa combinação tende a ser maior. Para o caso dos reatores instalados em paralelo, a regulação de tensão da linha é feita por meio da absorção do excesso de reativos.



Este efeito conhecido como Ferranti faz com que surja uma elevação da tensão nominal de operação, onde se faz necessário uma compensação reativa indutiva para possibilitar o controle dessa tensão dentro dos valores aceitáveis de operação e de especificação dos equipamentos de proteção do SEP. Por exemplo, se energizarmos uma linha de transmissão com tensão de valor  $V_1$ , chegará no final da linha de transmissão uma tensão  $V_2$ , onde  $V_2 > V_1$ . Esta elevação de tensão é o que caracteriza o efeito Ferranti.

Quanto maior o comprimento da linha de transmissão, o nível de tensão irá se elevar ao longo da linha, provocando sobretensões que podem romper isoladores e danificar equipamentos conectados da linha.

Considere a linha de transmissão abaixo, entre as subestações A e B há disjuntores em ambos, fechando o disjuntor na subestação A, teremos uma energização em vazio. Partindo com uma tensão de 510 kV, chegará no terminal oposto 545 kV, caracterizando o efeito ferranti. Fechando o disjuntor na subestação B, teremos a energização em carga,

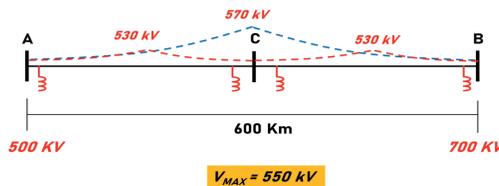
dessa forma equilibrando a linha com o fluxo de potência.



Considere uma linha de transmissão de alta tensão, em que tenha o cabo da linha em 500 kV, o solo em potencial 0V, entre a cabeção e o solo há o ar atmosférico, e naturalmente se forma um capacitor, pois há diferença de tensão é um meio dielétrico, o que é chamado de capacitância natural, dessa forma, gerando o efeito ferranti ao longo da linha de transmissão. Quanto maior o comprimento da linha, maior será o impacto deste efeito. As capacitâncias naturais fornecem potência reatância e elevar o perfil de tensão na linha.

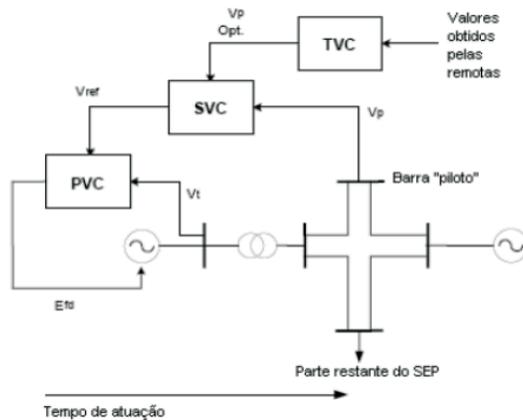
No entanto, há formas de compensar este efeito, temos então um reator que possui indutor, que absorve potência reativa, reduzindo assim, o nível de tensão. A compensação reativa é feita instalando reatores nos terminais da linha de transmissão.

De forma simplificada, o reator tem a finalidade de reduzir ou minimizar o efeito capacitivo que existe nas linhas de transmissão quando essas possuem carregamento leve (condição sistemática) ou linhas longas (condição física).



## 6 | CONTROLE COORDENADO DE TENSÃO

A coordenação da tensão ocorre em três níveis: primário, secundário e terciário. Este controle também é feito utilizando dados de tempo real e de forma descentralizada, tendo em vista que o sistema elétrico é dividido em subáreas, onde cada uma possui seus controles primário e secundário, onde o terciário é responsável de realizar a coordenação entre as subáreas.



O controle primário de tensão (PVC) atua em segundos, e é realizado pelos controladores automáticos de tensão presentes nas unidades geradoras, compensadores síncronos e estáticos. Este nível de controle compensa as rápidas variações de tensão que venham a ocorrer.

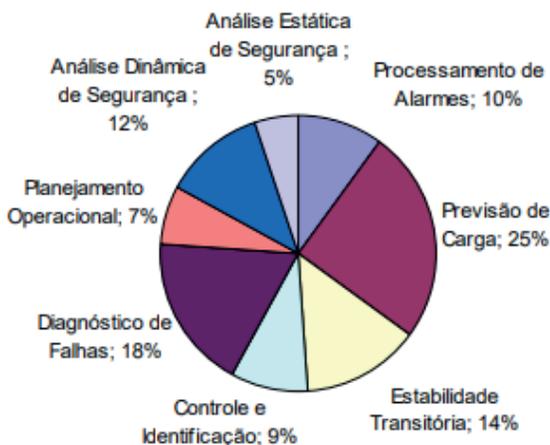
O controle secundário de tensão (SVC) atua em minutos e realimenta os PVC de sua subárea, atualizando os valores de referência de tensão dos barramentos e atuando nos equipamentos de resposta lenta, como os tapes dos transformadores. Este nível também compensa as variações de tensão mais lentas.

O controle terciário de tensão (TVC) é o último na hierarquia e realimenta os SVC de todas as subáreas, assegurando que o controle esteja sendo efetuado de forma segura e econômica, garantindo a otimização do controle de tensão. O TVC executa um fluxo de potência ótimo a cada quinze minutos ou por solicitação do operador (após alguma alteração no SEP).

## 7 | APLICAÇÃO DE RNA NOS SEPS E PREVISÃO DE CARGA

A aplicação de Redes Neurais Artificiais no sistema elétrico visa a otimização da operação. Imagine que a formação de um operador leve cerca de 2 anos. O operador é o responsável pela decisão e controle manual de manobras no sep. As RNA auxiliariam na redução do tempo de formação do operador e aumentariam a produtividade.

Dentre as diversas aplicações de RNA no SEP, destacam-se as de previsão de carga, diagnóstico de falhas, planejamento operacional, análises de segurança estática e dinâmica. Ainda é pequeno o número de publicações para aplicações de RNA no SEP, segundo (HAQUE, 2005), essa era a distribuição de estudos da área.



A previsão de carga é um assunto de grande importância no SEP. É a partir desta previsão que serão definidas tanto a quantidade de energia que deverá ser gerada quanto a necessidade de novas linhas de transmissão para daqui a 20 anos ou mais. Para a realização da previsão de carga, são fornecidos diversos insumos, como valor da carga na hora anterior, no dia anterior e a temperatura, e a rede neural apresenta na sua saída a carga prevista.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Valério Oscar et al. Controle coordenado de tensão e potência reativa. 2002.

ANCHIETA, Richardson Ribeiro de Assunção. **Estudo do Efeito Ferranti em Linhas de Transmissão Longas**. Orientador: Gisele S. Parmezani Marinho. 2019. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Tocantins, [S. l.], 2019. Disponível em: <http://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/1495/1/Richardson%20Ribeiro%20de%20Assun%20a7%20a3o%20Anchieta%20-%20TCC%20Monografia%20-%20Engenharia%20El%20a9trica.pdf>. Acesso em: 9 set. 2023.

LIMA, Renato Teixeira. Redes Neurais Artificiais Aplicadas no Controle de Tensão de Sistemas Elétricos de Potência. **Rio de Janeiro:[sn]**, 2007.

O QUE é o Efeito Ferranti em Linhas de Transmissão de Energia. Gravação de Cláudio Oliveira. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://youtu.be/UfeqWdukOO0?si=p-bZPeXzO0fmmn0>. Acesso em: 9 set. 2023