



## ANÁLISE DA OPERAÇÃO DE REGULADORES DE TENSÃO OLTC EM REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

**Konrad E. K. Schmitt**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria  
konradkorkschnitt@gmail.com

**Luciane N. Canha**

Professora do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria  
lucianecanha@ufsm.br

**Marcio A. Antunes**

Colaborador da empresa Companhia Estadual de Energia Elétrica  
marcioaa@ceee.com.br

**Resumo.** *O atual sistema elétrico de potência não está preparado para sofrer as mudanças trazidas pelo novo conceito de Redes Elétricas Inteligentes. Dessa forma, cada vez mais, novas metodologias devem ser desenvolvidas para adaptar e gradualmente transformar o sistema tradicional em um sistema inteligente. Esse conceito de Redes Inteligentes utiliza de comunicação em tempo real para obter dados, prever ações e comandar dispositivos presentes na rede, operando eles de forma mais eficiente. O presente trabalho analisa a operação de reguladores de tensão com Comutação Sob Carga, de forma tradicional, ou seja, correção local, e de forma inteligente, sendo operados por um sistema supervisor. A operação inteligente se baseia na análise global de todos reguladores presentes na rede de forma a realizar uma operação de controle de tensão mais eficiente e inteligente, diminuindo o número de comutação dos reguladores.*

**Palavras-chave:** *Controle de Tensão, On Load Tap Changer, Redes Inteligentes.*

### 1. INTRODUÇÃO

Entregar energia com qualidade e continuidade é uma das responsabilidades das concessionárias de energia elétrica. No

Brasil a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é responsável por estipular níveis aceitáveis de tensão entregue ao consumidor. A Tabela 1 mostra os níveis impostos pela ANEEL [1] que devem ser respeitados pelas concessionárias.

Tabela 1. Limites para tensão nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV.

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

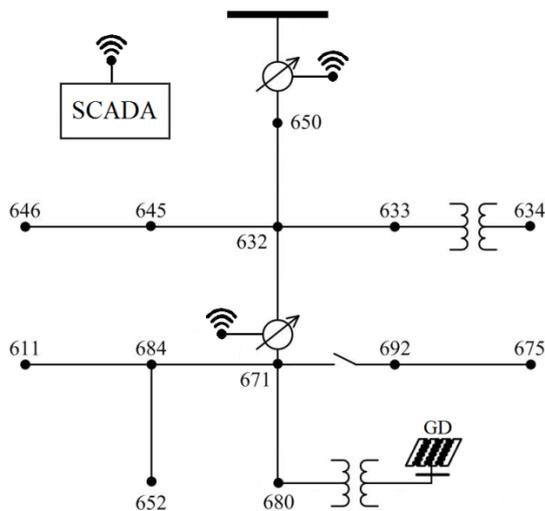
Já existem trabalhos que visam a introdução gradativa de sistemas inteligentes e dinâmicos na rede. No trabalho de Pereira [2], é proposto um algoritmo para definir zonas de Tap de reguladores considerando o impacto que cada um tem sobre os outros reguladores presentes na rede. Dando continuação ao estudo de controle de tensão e a operação em conjunto dos reguladores, em [3] autor prova a eficiência que uma nova topologia de controle de tensão tem sobre redes de distribuição. Utilizando de reguladores *On Load Tap Changer* (OLTC)

é proposto uma comunicação de todos os reguladores com um sistema *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), onde os dados em tempo real são recebidos e analisados gerando uma resposta mais inteligente para o sistema. Já um estudo realizado por Kay et al. [4], visa a operação de reguladores OLTC em meio *Smart Grid* com Geração Distribuída (GD), de forma que o regulador deve ser capaz de detectar fluxos reversos e controlar os níveis de tensão em diferentes sentidos de fluxo.

O presente estudo visa desenvolver um sistema baseado na topologia apresentada por Pereira [3] e que se encontra em desenvolvimento no projeto de P&D iniciado em 2016 em parceria com a CEEE-D. O sistema de análise para controle de tensão foi desenvolvido na plataforma Matlab/Simulink de forma a comparar a eficiência da integração de dois reguladores OLTC a um sistema de operação inteligente.

## 2. CONFIGURAÇÃO DA REDE

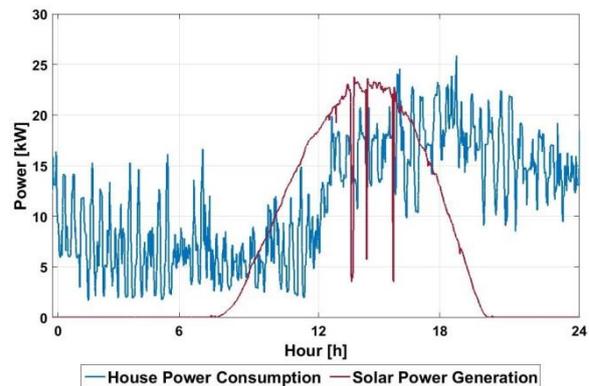
Foi escolhido como rede base para análise um sistema de 13 barras fornecido pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). Sobre essa rede foram inseridos diferentes dispositivos, complementando o sistema. A Fig. 1 apresenta um diagrama da rede completa implementada.



**Figura 1. Diagrama da Rede.**

Fonte: IEEE, modificado pelo autor.

Sobre o sistema base, foram agregados dois reguladores OLTC ambos telecomunicáveis com um sistema supervisor responsável pela análise de dados e operação dos reguladores. Ainda, foi inserido no nó 680 um conjunto habitacional composto por residências compostas de geração fotovoltaica. Tanto o consumo como a geração variável é responsável por causar variações de tensão e corrente ao longo do dia na rede. Na Fig. 2 é apresentado o perfil de carga e geração do conjunto.



**Figura 2. Perfil de Carga/Geração do Conjunto Residencial.**

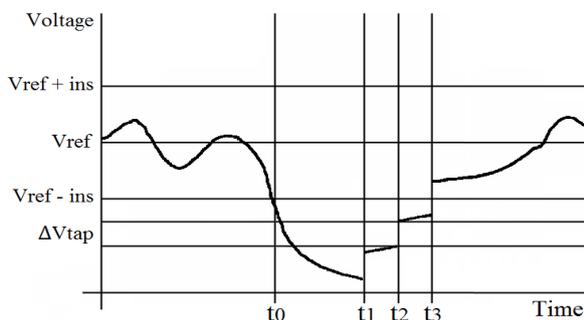
Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar de que em alguns momentos do dia a geração do conjunto se torna maior que o consumo, em nenhum momento é gerado um fluxo reverso sobre os reguladores. O excedente de potência é absorvido por cargas localizadas próximas ao nó 680 de forma apenas a reduzir o carregamento do alimentador.

## 3. TOPOLOGIA DO CONTROLE DE TENSÃO

O controle de tensão da rede foi feito utilizando reguladores com comutação sob carga, OLTCs. Esse dispositivo foi parametrizado com limites de -4 a +12 posições de Tap. Cada comutação representa uma variação de  $0,02 V_{pu}$  da tensão de entrada, ou seja, o regulador é capaz de corrigir tensões dentro de uma faixa de  $0,76 V_{pu}$  a  $1,08 V_{pu}$ , sendo 0 posição neutra do transformador.

A Fig. 3 apresenta a temporização de operação do regulador OLTC. O dispositivo possui uma faixa de insensibilidade definida como 2,5% e temporização de 18 segundos. A temporização ajuda na redução de comutações desnecessárias, de forma que se houver uma transgressão dos limites da insensibilidade por mais do que 18 segundos o regulador realiza a comutação. Da mesma forma, se houver uma transgressão de tensão que dure menos que 18 segundos o regulador assume que é apenas um rápido transitório da rede e não realiza comutação.



**Figura 3. Temporização do OLTC.**

Fonte: Pereira [2], modificado pelo autor.

Cada regulador possui de um sistema responsável por medir os níveis de tensão na entrada e saída do regulador. Dentro desse sistema ocorre a temporização. No momento da primeira transgressão é salvo  $t_0$  e a partir dele por 18 segundos é observado se a variação é apenas um transitório ou se é realmente uma transgressão. Dessa forma se  $t_1$  for atingido e os níveis ainda estiverem fora dos limites, o sistema do regulador requer uma comutação. O parâmetro  $t_2$  define o tempo de cada comutação. Já  $t_3$  é o tempo total de regulação calculado pela equação (1), onde  $N_{Tap}$  é o número de comutações necessárias para regulação da tensão.

$$t_3 = t_0 + t_1 + t_2 \cdot N_{Tap} \quad (1)$$

Se o sistema estiver operando localmente, essa análise é feita observando apenas a correção local do dispositivo. Já se o sistema estiver operando com uma topologia inteligente, essa análise é feita de

forma global, onde em  $t_1$  o regulador confirma a transgressão e envia um pedido de correção para o sistema supervisor.

Quando observado uma correção de Tap no sistema supervisor, dados de todos os reguladores são recolhidos de forma hierarquizada. A análise do sistema é feita inicialmente com reguladores mais influentes e posteriormente por reguladores menos influentes. Dessa forma dispositivos menos influentes prevêm a comutação de reguladores mais influentes, e com isso economizam suas comutações.

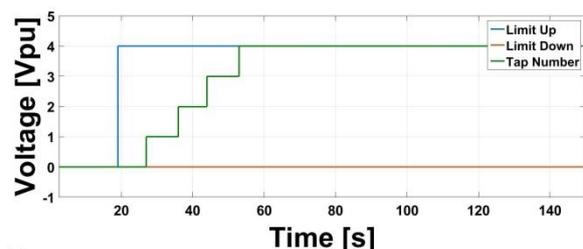
Utilizando a equação (2) é possível calcular o número de comutações necessárias para correção de cada regulador, deixando sua tensão de saída mais próxima o possível da tensão de referência.

$$V_{out} = V_{in} \cdot [1 + (\Delta V_{Tap} \cdot N_{Tap})] \quad (2)$$

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com foco na operação dos reguladores, foram feitas duas análises. A primeira delas com uma topologia onde cada regulador opera separadamente, visando uma correção local do seu nível de tensão. Já a segunda análise considera a operação e influência dos demais dispositivos através de um sistema supervisor. A utilização de um sistema inteligente faz com que a operação de outros reguladores seja prevista de forma a reduzir operações desnecessárias.

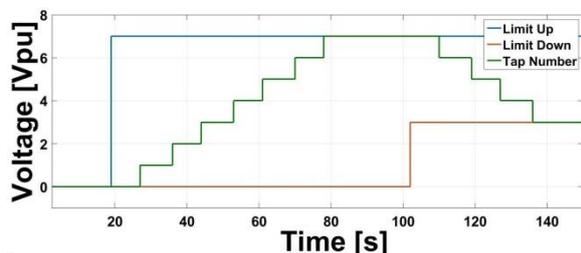
A operação do primeiro regulador, o mais influente do sistema, é igual quando analisado local ou globalmente, pois não há outro regulador mais influente que ele. A Fig. 4 apresenta os comandos de Tap realizados no primeiro regulador.



**Figura 4. Comandos de Tap Regulador 1.**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já Fig. 5 apresenta os comandos de Tap para o segundo regulador quando esse é operado de forma local.

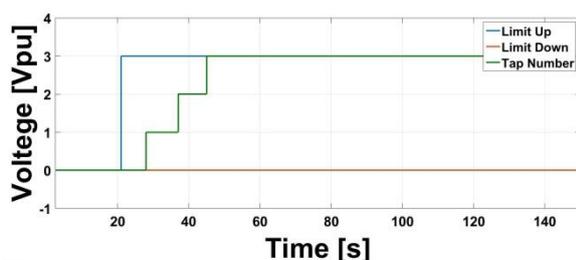


**Figura 5. Comandos de Tap Regulador 2 operando de forma local.**

Fonte: Elaborado pelo autor.

É visível a realização de 8 comutações desnecessárias, pois essa topologia local não prevê as 4 comutações já realizadas no primeiro regulador, mais influente. Dessa forma, o segundo regulador sobe 4 posições a mais que o necessário, tendo que desce-las logo após.

Já com uma topologia de controle global, as 4 comutações realizadas no primeiro regulador são consideradas na operação do segundo. A Fig. 6 apresenta os comandos de Tap quando esse regulador é operado de forma global.



**Figura 6. Comandos de Tap Regulador 2 operando de forma global.**

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5. CONCLUSÕES

A adaptação do tradicional sistema elétrico para um sistema inteligente visa aumentar a confiabilidade e qualidade da energia gerada, transmitida e entregue aos consumidores.

Como apresentado, a integração de dispositivos presentes na rede com um

sistema supervisor capaz de analisar dados e tomar decisões torna a operação desses equipamentos mais eficiente. Ao analisar a operação de reguladores OLTC, a integração deles em uma operação global que prevê o acionamento de dispositivos e a influencia que cada um tem sobre o outro pode eliminar comutações desnecessárias. Com a utilização de uma operação global foi possível reduzir 8 comutações desnecessárias, tornando mais eficiente e inteligente o acionamento dos equipamentos.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à UFSM, ao CNPq (EDITAL N° 004/2016 - PIBIC/CNPq/UFSM), ao Programa de P&D ANEEL (projeto PD-5707-4301/2015) e à CEEE-D pelo apoio técnico, financeiro e de infraestrutura fornecidos a esta pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica, “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional: Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica”, 2017.
- [2] Pereira, P. R. S. “Métodos para Otimização dos Ajustes dos Reguladores de Tensão Zonas de TAP em Sistemas de Distribuição”, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- [3] Pereira, P. R. S. “Controle Hierárquico e Adaptativo para Aumento do Desempenho Operacional de Reguladores de Tensão em Redes Elétricas Inteligentes”. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2014.
- [4] Kay, M.; Levi, V. and Povey, I. Reverse Power Flow Capability of Tap-Changers. United Kingdom, 2005.