

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS INDUSTRIAIS E RESIDENCIAIS SUBMETIDOS A AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

LEANDRO J. A. DUARTE, LORENA O. AVELAR, JUNE C. S. CAETANO, LUCAS A. SOARES, LUIZ A.R. FREITAS, MATHEUS M. SILVEIRA, AURÉLIO L. M. COELHO, IVAN P. FARIA, MARCOS R. ARAÚJO

*Unidade Acadêmica 1, Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) — Campus de Itabira
Rua Irmã Ivone Drumond, 200 — Distrito Industrial II, 35903-087, Itabira, MG, Brasil*
E-mails: leandro_duarte22@hotmail.com, lorena.avelar03@gmail.com,
junecaetano@gmail.com, lucasaraujovga@hotmail.com,
luizaugusto1991@hotmail.com, mmunizsilveira@gmail.com,
aurelio.coelho@unifei.edu.br, ivan.faria@unifei.edu.br,
marcosraraujo@unifei.edu.br

Abstract— This paper presents the results and analysis of deviations in the quality of electric energy realized in equipment widely used in the industry and electronic appliances used in the day-by-day of residential consumers. Tests were carried out on Programmable Logic Controllers (PLC) and electronics subjected to voltage sags. A DVD and a laptop were used for electronics. Different results were found in the comparison of two trademarks of PLCs, but both meet the standard on which the sensitivities of electronics equipment are based on voltage sags. The electronics also meet the specifications of the current standard. Finally, considerations are made through the results and forms of mitigations for more severe cases of sags and/or disruption are presented.

Keywords— Voltage sag, programmable logic controllers, electronics, power quality.

Resumo — Este artigo apresenta os resultados e análises de desvios na qualidade de energia elétrica realizados em equipamentos amplamente utilizados na indústria e aparelhos eletroeletrônicos utilizados no dia-a-dia de consumidores residenciais. Foram feitos testes onde controladores lógicos programáveis e eletrônicos foram submetidos a afundamentos e interrupções de tensão. Para os aparelhos eletrônicos foram utilizados um roteador wireless e um sintonizador de TV a cabo. Resultados diferentes foram encontrados na comparação de duas marcas comerciais de controladores lógicos programáveis, porém ambos atendem a norma em que são embasadas as sensibilidades de equipamentos eletrônicos perante afundamentos de tensão. Os eletroeletrônicos também atendem as especificações da norma vigente. Por fim, as considerações são feitas através dos resultados e formas de mitigações para casos mais severos de afundamento e/ou interrupção são apresentados.

Palavras-chave — Afundamento de tensão, controladores lógicos programáveis, eletroeletrônicos, qualidade de energia elétrica.

1 Introdução

O monitoramento da Qualidade de Energia Elétrica (QEE) tornou-se uma prática fundamental tanto para concessionárias distribuidoras de energia quanto para seus consumidores. Desvios na QEE podem causar danos aos diversos segmentos de atividades produtivas, sejam estes do setor industrial, comercial e até mesmo atividades residenciais. As perturbações ocorridas no sistema de distribuição de energia elétrica têm causado um número expressivo de solicitações de ressarcimento direcionadas às empresas concessionárias sobre perdas no processo produtivo e danos em aparelhos eletrônicos e eletrodomésticos (Fukuda *et al.*, 2003).

O bom nível na QEE envolve o estudo de uma gama de fenômenos que a influencia. Estes problemas podem estar presentes em pontos externos ou internos da instalação de um determinado local. Pontos externos relacionam-se a problemas no fornecimento de energia elétrica no ponto de recebimento da mesma. Pontos internos estão relacionados a problemas nas instalações internas que causam distúrbios nos terminais de equipamentos. Pode ser caracterizado como um problema de QEE qualquer desvio ou manifestação presente em sinais de tensão e corrente

na amplitude, frequência ou forma de onda (Santos e Silva, 2003). Estas características inerentes de um sistema elétrico são classificadas em quatro tipos principais: os harmônicos, os transitórios, a interrupção de energia e a elevação ou afundamento de tensão, sendo este último objeto de estudos deste trabalho.

O afundamento de tensão é inevitável e inerente à operação do sistema elétrico de potência (SEP) devido à extensão e vulnerabilidade das linhas de transmissão. Em muitos casos, mesmo durante ciclos de afundamento de tensão, aparelhos e equipamentos continuam funcionando normalmente, dependendo da magnitude da tensão residual e também do tempo em que os mesmos ficaram expostos a tal defeito. Entretanto, este nível de sensibilidade pode variar dependendo do fabricante e do tipo de construção de cada dispositivo.

Tendo em vista a importância deste assunto nos setores industriais, vários trabalhos apresentam resultados de comportamento de equipamentos comerciais submetido a distorções no padrão de fornecimento. Neste contexto, Silva *et al.* (2018) analisaram o comportamento de contatores diante de afundamentos de tensão nos seus terminais. Já com o foco no consumidor residencial, Fukuda *et al.* (2003) e Oliveira *et al.* (2005) fizeram uma análise na sensibilidade de

eletrodomésticos submetidos a afundamentos de tensão e outros distúrbios que afetam a QEE.

Testes de suportabilidade de equipamentos frente a variações de QEE exigem uma estrutura laboratorial que ofereça todos os requisitos necessários para simulações e medidas com base nas normas vigentes que padronizam este tipo de ensaio. Sendo assim, com o apoio da estrutura física do Laboratório de Estudos em Proteção e Qualidade de Energia Elétrica da Universidade Federal de Itajubá – *Campus* de Itabira, este trabalho apresenta a avaliação do desempenho de aparelhos amplamente utilizados no setor industrial e residencial que são, respectivamente, os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e os roteadores wireless e sintonizadores de TV a cabo quando submetidos a afundamentos de tensão, englobando tanto problemas em residências quanto em indústrias inerentes de distúrbios na rede elétrica.

2 Conceitos de afundamento de tensão e suportabilidade de equipamentos eletrônicos

2.1 Considerações sobre afundamentos de tensão

Os estudos referentes aos conceitos e definições envolvendo o tema afundamento de tensão seguem duas filosofias: a primeira norma regente quanto ao assunto é a IEEE 1159-2009 e a segunda é a IEC 61000-4-30:2015. Por meio das normas é feito o monitoramento dos fenômenos de qualidade de energia elétrica, onde o é conceituado o termo “afundamento de tensão” como sendo a redução do valor RMS da tensão para um valor entre 0,1 pu e 0,9 p.u., durante um período de tempo compreendido entre 0,5 ciclo e 60 segundos. Os afundamentos são classificados quanto a sua duração, em três categorias, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação da duração de afundamentos de tensão.

Instantâneo (ciclos)	Momentâneo (segundos)	Temporário (segundos)
0,5 a 30	0,5 a 3	3 a 60

A IEC (IEC 61000-4-30:2015) define a intensidade do afundamento de tensão como sendo a queda do valor RMS da tensão. E a filosofia adotada pela norma da IEEE (IEEE 1159, 1995) sustenta que a intensidade de um afundamento de tensão é definida pela menor tensão remanescente durante a ocorrência do distúrbio. Nesse trabalho foi adotada, para melhor compreensão da metodologia e resultados, a definição da IEC.

As causas de afundamentos de tensão estão relacionadas a grandes eventos nos sistemas como, por exemplo, a partida direta de motores de alta potência, curto-circuitos e energização de transformadores, sendo as ocorrências de faltas a mais constante. Na Figura 1 é apresentada a forma de onda de um afundamento instantâneo de tensão.

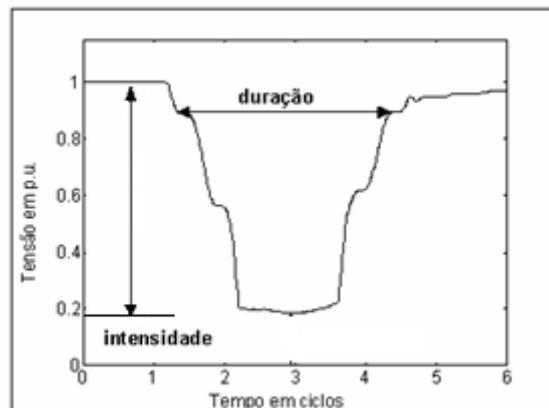


Figura 1. Definição de intensidade e duração de afundamento de tensão (adaptado de: Silva, 2004).

Os afundamentos têm seus danos relacionados ao desempenho de certos equipamentos que são sensíveis. Esse fenômeno pode levar à perda da programação de certos microprocessadores, por exemplo, CLPs que provocam perda ou atraso de determinado processo produtivo, causam também redução do torque em motores que podem desacelerar algumas cargas importantes. Do ponto de vista do restabelecimento da tensão podem ocorrer correntes elevadas no processo que levam à ação de alguns meios de proteção, atuação incorreta de relés. Além de problemas no meio industrial, os afundamentos de tensão causam desconforto em ambientes residenciais, através do desligamento de aparelhos que se consideram essenciais em quase todas as residências.

2.2 Curva de Tolerância

O conceito de curva de tolerância para sensibilidade de equipamentos eletrônicos foi introduzido em 1978 por Thomas Key. Quando estudou a confiabilidade do suprimento de energia elétrica para instalações militares, ele concluiu que afundamentos de tensão de curta duração poderiam prejudicar a operação normal dos grandes computadores destas instalações. Como resultado deste estudo foi estabelecida a curva CBEMA, que fornece limites de tolerância para computadores no que tange a distúrbios de tensão no sistema elétrico.

A curva CBEMA também fornece a tolerância de computadores para elevações de tensão de curta duração, onde se percebe que a suportabilidade não depende apenas da magnitude da sobretensão, mas ao mesmo tempo do seu período de duração. Apesar da curva CBEMA ter sido originalmente proposta para caracterizar a sensibilidade de computadores, ela tem sido também utilizada para outros equipamentos eletroeletrônicos. Desta forma, foi revisada e modificada para caracterizar melhor a sensibilidade destes equipamentos, assim, surgiu-se a curva ITIC (*Information Technology Industry Council*), apresentada na Figura 2.

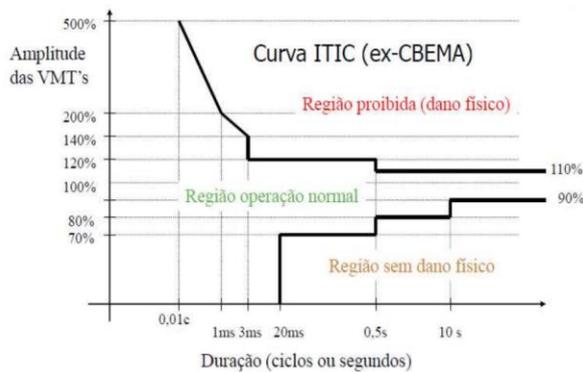


Figura 2. Faixa de sensibilidade de equipamentos eletroeletrônicos frente a afundamentos de tensão (Maia 2011).

3 Construção dos dispositivos

3.1 Controlador Lógico Programável

O Controlador Lógico Programável (CLP) ou do inglês PLC (*Programmable Logic Controller*) é um computador robusto e de pequeno porte feito para controlar processos em ambientes industriais e surgiu na década de 60 com o objetivo de substituir os painéis de relés. Cada CLP possui um microprocessador programado para determinar uma saída a partir dos valores de entrada. De forma simplificada, possui o seguinte princípio de funcionamento: leitura das entradas, podendo essas ser analógicas ou digitais; execução do programa de controle criado pelo usuário por meio de um software no computador ou, dependendo do modelo, pela IHM (Interface Homem-máquina) do CLP; e por fim, atualiza as saídas com base nos valores de entrada e da lógica implementada (Franchi, 2013).

As saídas dos CLPs são compostas por chaves que fazem contato ou não de acordo com a programação implementada no equipamento. São consideradas falhas nessas unidades lógicas o seu desligamento temporário, a perda de comunicação com o computador e em casos mais críticos a desconfiguração da programação.

Os controladores programáveis são energizados através da tensão da rede, normalmente entre 100 a 240 Vca. Entretanto, estes equipamentos possuem uma fonte de alimentação interna que tem por finalidade converter a tensão de valores alternados para tensões de alimentação dos circuitos eletrônicos de corrente contínua, normalmente 5 Vcc para o microprocessador, 12 Vcc para comunicação com o computador e 12 Vcc ou 24 Vcc para entradas e saídas. Estas fontes possuem os mesmos princípios para quase todos os aparelhos eletrônicos e são amplamente difundidas na literatura na área da eletrônica de potência.

3.2 Eletroeletrônicos

Com o avanço da eletrônica de potência, os eletroeletrônicos ocuparam praticamente quase toda carga considerada residencial. Nos objetivos deste

trabalho, o foco de estudos em eletrônicos são suas fontes de alimentação que, assim como os CLPs, utilizam a retificação de CA para CC através de elementos semicondutores como diodos, transistores, tiristores, etc. Os semicondutores trabalham através de chaveamentos automáticos, determinados pela frequência da Modulação de Largura de Pulso ou em inglês *Pulse Width Modulation* (PWM). A Tabela 2 ilustra os valores nominais de operação dos aparelhos.

Tabela 2. Valores de tensão e correntes suportadas pelos aparelhos

Grandeza Elétrica	Roteador	Sintonizador de TV a cabo
Tensão CA máx.	240 V	240 V
Tensão CA mín.	100 V	100 V
Tensão CC	9 V	19,5 V
Corrente CC	0,6 A	3,34 A
Corrente CA	0,3 A	1,7 A

Por meio da descrição dos valores de tensão e correntes suportadas pelo equipamento, fornecida pelos fabricantes, é possível notar os valores mínimos e máximos através dos quais o equipamento ao ser submetido trabalha em seu percentual de qualidade e precaução da vida útil.

A grande aplicação de eletrônica de potência, microeletrônica e microprocessadores em diversos equipamentos fez aumentar a sensibilidade destes em relação à QEE. A variação dos níveis de tensão abaixo do valor nominal dos equipamentos causa interrupções em processos industriais e nas residências e comércios, afeta diretamente o desempenho dos aparelhos, podendo até mesmo diminuir seu tempo de vida útil.

4 Metodologia dos testes realizados

No intuito de analisar a sensibilidade e suportabilidade dos CLPs e de eletroeletrônicos alimentados por fontes chaveadas submetidos a afundamento de tensão, foi utilizada a mala de testes OMICRON CMC 356. Esse equipamento é geralmente utilizado para testes de relés de proteção e é extremamente confiável. Na mala de teste é possível realizar vários tipos de testes de QEE, pois este equipamento gera formas de onda de tensão e corrente como especificado pelo operador, sendo possível incluir na forma de onda: distorções harmônicas, interrupções de energia, intervalos de afundamento de tensão e mais diversos tipos de testes que o operador deseje.

4.1 Ensaio dos Controladores Lógicos Programáveis

Os CLPs foram submetidos a afundamentos com diferentes amplitudes e em diversas durações. Com isso, buscou-se a construção de uma tabela que mostrasse o comportamento dos equipamentos. Utili-

zou-se dois CLPs de dois fabricantes diferentes denominados como A e B, que possuem tensão nominal 127/220V e no teste a utilizada foi 127V.

Os ensaios foram realizados a partir do módulo *PQ Signal Generator*, presente no *software* da mala de teste, que é capaz de simular diversos eventos relacionados à qualidade de energia. Desse modo, foi possível emular afundamentos em intervalos de tempo e magnitudes pré-definidos. Os eventos partiram de intervalos de 0,5 ciclo até 1 minuto, com variações de tensão de 0,1 a 0,9 p.u. Com 13 valores de tensão escolhidos e 14 valores de ciclos construiu-se as Tabelas 3 e 4.

A simbologia L adotada quando o equipamento se encontrava ligado durante o evento, D quando ele desligou, D* no limiar do funcionamento adequado, momento esse em que o CLP alternava entre chave aberta e fechada de maneira intermitente e D** que foi quando o controlador apresentou erro na programação. Também foi adotado um subíndice “A” e “B” para indicar a qual CLP o dado está se referindo, por exemplo, L_A/D_B indica que para aquele ponto da tabela o CLP A se manteve ligado enquanto o CLP B desligou.

Adicionalmente, para averiguar os resultados um programa foi descarregado nos CLPs e contou com o auxílio de um multímetro que mediu a continuidade das chaves de acordo com a lógica do programa, além de luz LED para analisar erros no funcionamento do dispositivo frente aos afundamentos. A Figura 3 e 4 apresenta a ligação feita da mala de teste com os CLPs.

4.2 Ensaio dos Equipamentos Eletroeletrônicos

Tomando como referência a curva ITIC, para o ensaio com os aparelhos eletroeletrônicos foi feita, primeiramente, a conexão da mala de testes no terminal alimentador do roteador. Dessa forma a potência de alimentação fornecida ao dispositivo vem do equipamento da OMICRON, podendo ser manipulada a amplitude da tensão aplicada pela mesma. O mesmo procedimento foi adotado para a alimentação do sintonizador de TV a cabo. A Figura 5 demonstra como foi feita a ligação do aparelho com a mala de teste.

Os ensaios foram realizados a partir de um módulo diferente do teste para CLPs. Foi utilizado o pacote para manipular, em momentos diferentes, a amplitude da tensão de alimentação do aparelho. O módulo que melhor atendia para este ensaio foi o *State Sequencer*, que determina tempos de operação e relações de medidas de tempo baseados em sequência de estados. Assim como mostrado na Figura 5, as respostas de operação ou não operação eram coletadas através dos sinais de LEDs dos aparelhos. Quando o componente está em operação, o LED verde está constantemente aceso. Logo após a ocorrência do distúrbio, caso o mesmo não suportou a variação de tensão, o LED acenderá a luz vermelha indicando que o equipamento está em *stand-by*. A configuração

para o estado inicial, ou seja, o ponto de partida do ensaio, é mostrada na Tabela 3 e serve para compreensão do procedimento adotado ao longo do teste.

Tabela 3. Parâmetros dos estados iniciais de ensaio.

Estado	Tensão (pu)	Tempo (s)
1	1,0	10
2	0,0	0,00833
3	1,0	7

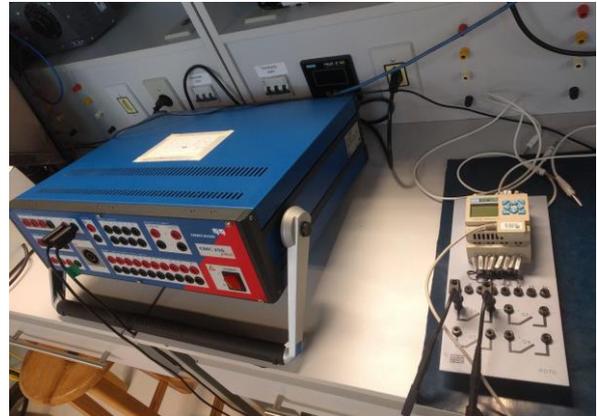


Figura 3. Esquema da ligação para o CLP A.



Figura 4. Esquema da ligação do CLP B.

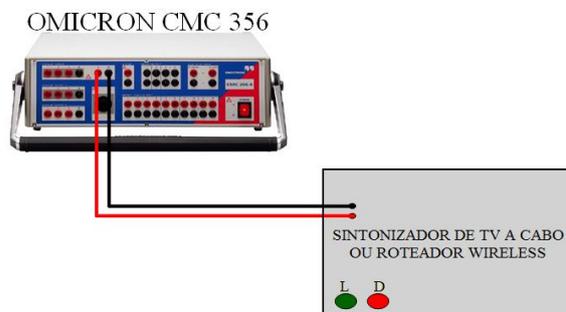


Figura 5. Esquema da ligação dos aparelhos eletroeletrônicos.

Sendo a tensão base a de alimentação da rede monofásica, 127 Vrms, 60 Hz. Após o primeiro teste, começa-se a elevar gradualmente o tempo dos estados, a fim de encontrar o ponto de suportabilidade do aparelho para cada nível de tensão aplicada. O mesmo procedimento foi adotado para o sintonizador de TV a cabo.

5 Resultados e Discussões

5.1 Testes nos CLPs

Os resultados do teste realizado no equipamento A se encontra na Tabela 4. Como se pode notar, os efeitos dos afundamentos de tensão começaram a comprometer o funcionamento do CLP no limiar de tensão RMS de 0,22 (28 V) com um período de afundamento de tensão de 10 ciclos.

Para afundamentos com tensões RMS mais reduzidas, entre 0,15 e 0,10, nota-se que o desligamento do CLP A ocorre para afundamentos com período a partir de 7 ciclos. Observa-se também a ocorrência de eventos em que o PLC em questão operava de maneira intermitente, ou seja, a saída alternava entre contato fechado e aberto.

Em relação aos resultados obtidos no CLP B, observa-se uma maior imunidade aos afundamentos de tensão, sendo que as ocorrências de mau funcio-

namento do CLP ocorreram para afundamentos com período entre 100 e 3600 ciclos e valores remanescentes de tensão RMS entre 0,15 e 0,10. Ocorre também a situação em que o CLP não chega a desligar, mas há um mau funcionamento do CLP, levando-o a não ser capaz de executar o programa descarregado nele e acendendo um LED interno ao CLP B que indica erro.

A partir dos dados coletados é possível realizar a construção da curva de suportabilidade frente a afundamentos momentâneos de tensão para ambos os CLPs. Esta curva é demonstrada na Figura 6. Observa-se que o CLP B possui uma suportabilidade maior que o CLP A, sendo que os efeitos do afundamento de tensão no CLP B são notados para tensões remanescentes menores com duração maiores.

Tabela 4. Status dos CLPs “A” e “B” frente a diferentes amplitudes e intervalos de afundamento de tensão.

Tensão (p.u.)	Ciclos													
	0,5	5	6	7	8	10	20	30	40	50	100	500	1000	3600
0,90	L _A /L	L _A /L	L _A /L	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B							
0,80	L _A /L	L _A /L	L _A /L	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B							
0,70	L _A /L	L _A /L	L _A /L	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B							
0,60	L _A /L	L _A /L	L _A /L	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B							
0,50	L _A /L	L _A /L	L _A /L	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B							
0,40	L _A /L	L _A /L	L _A /L	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B							
0,30	L _A /L	L _A /L	L _A /L	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B							
0,25	L _A /L	L _A /L	L _A /L	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B	L _A /L _B							
0,22	L _A /L	L _A /L	L _A /L	L _A /L _B	L _A /L _B	D _A /L	D _A /L	D _A /L	D _A */L	D _A */L	D _A */L _B	D _A */L	D _A */L	D _A */L
0,21	L _A /L	L _A /L	L _A /L	L _A /L _B	L _A /L _B	D _A /L	D _A /L	D _A /L	D _A /L _B	D _A /L _B	D _A /L _B	D _A /L _B	D _A /L _B	D _A /L _B
0,20	L _A /L	L _A /L	L _A /L	L _A /L _B	D _A /L	D _A /L	D _A /L	D _A /L	D _A /L _B	D _A /L _B	D _A /L _B	D _A /L _B	D _A /L _B	D _A /L _B
0,15	L _A /L	L _A /L	L _A /L	D _A /L	D _A /L	D _A /L	D _A /L	D _A /L	D _A /L _B	D _A /L _B	D _A /L _B	D _A /D _B	D _A /D _B	D _A /D _B
0,10	L _A /L	L _A /L	L _A /L	D _A /L	D _A /L	D _A /L	D _A /L	D _A /L	D _A /L _B	D _A /L _B	D _A /D _B *	D _A /D _B	D _A /D _B	D _A /D _B

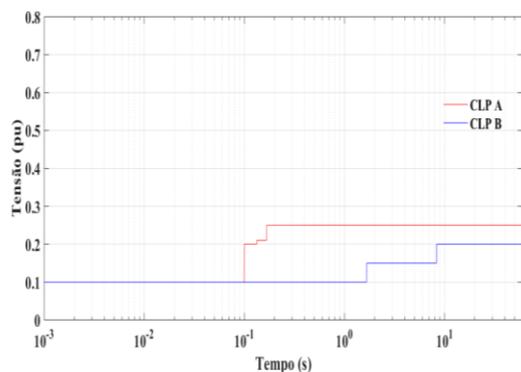


Figura 6. Curva de suportabilidade dos CLPs A e B.

5.2 Ensaio dos Equipamentos Eletroeletrônicos

A partir dos ensaios feitos, foram anotados todos os tempos máximos que os aparelhos se mantinham ligados em funcionamento normal depois de ocorrido o afundamento ou interrupção de tensão no terminal do mesmo. Com esses dados, foi possível determinar a curva de suportabilidade de ambos eletroeletrônicos ensaiados. As Figuras 7 e 8 apresentam a curva de suportabilidade do roteador e do sintonizador de TV a cabo levando em consideração uma tensão base de 127 V e 220 V, respectivamente, visto que os aparelhos suportam esta faixa de tensão.

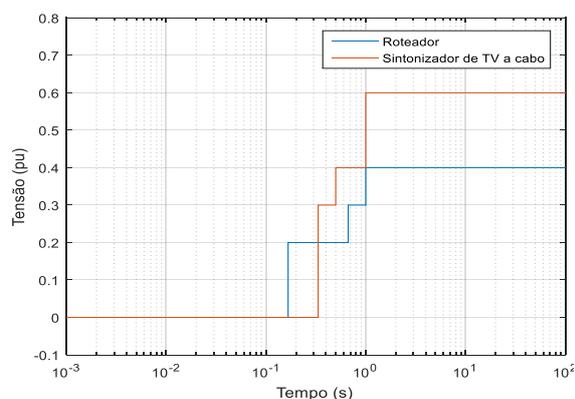


Figura 7. Curva de suportabilidade dos eletroeletrônicos com tensão base de 127 V.

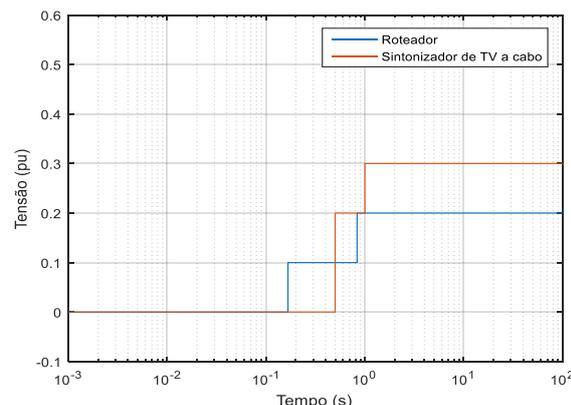


Figura 8. Curva de suportabilidade dos eletroeletrônicos com tensão base de 220 V.

Percebe-se assim, que os aparelhos possuem um elevado nível de suportabilidade frente a uma determinada variação de tensão. Entretanto, as amplitudes de tensão residual suportadas por aparelhos eletroeletrônicos são menores em comparação aos CLPs. Isso se deve ao fato de possuírem características construtivas diferentes, e serem utilizados para finalidades e ambientes distintos.

A Tabela 5 apresenta uma avaliação dos dois aparelhos, considerando os limites adotados que determinam o que é uma interrupção de tensão e o que passa a ser um afundamento de tensão. Os valores em pu apresentados são referentes à tensão base de 127 V.

Tabela 5. Classificação das variações de tensão de curta duração VTCD.

Denominação	Duração (s)	Tensão (pu)	Roteador	Sintonizador
Interrupção Momentânea	$T \leq 3$	$V < 0,9$	Até 166,7ms	Até 333,4ms
Afundamento Momentânea	$0,0083 \leq T \leq 3$	$0,9 \leq V < 0,1$	A partir de 0,4pu	A partir de 0,6pu
Interrupção Temporária	$3 < T \leq 60$	$V < 0,9$	Não suporta	Não suporta
Afundamento Temporário	$3 < T \leq 60$	$0,9 \leq V < 0,1$	A partir de 0,4pu	A partir de 0,6pu

As fontes de alimentação desses equipamentos são conectadas às tomadas que fornecem um valor de 127 ou 220 V, dependendo do valor fornecido pela distribuição local. No entanto, como esses equipamentos são compostos de baterias e peças eletrônicas que funcionam apenas com tensão contínua, necessitam de transformação CA/CC controlados por microchips de circuitos integrados (CIs). Essa conversão complexa passa por um filtro capacitivo que armazena energia. O tempo de descarga dos capacitores presentes no filtro depende diretamente da carga em que a fonte alimenta. Como a carga é sempre a mesma vista por essas fontes, as mesmas suportam quando ocorrem afundamentos e até interrupções de tensão, desde que as durações dos eventos não sejam tão longas.

6 Conclusão

As considerações finais podem ser avaliadas em duas etapas, a primeira para a análise dos CLPs e a segunda para análise dos aparelhos eletroeletrônicos.

Através dos testes realizados em equipamentos de fabricantes diferentes nota-se que o CLP A possui uma vulnerabilidade maior a problemas de funcionamento devido aos afundamentos de tensão, sendo que o CLP B apresenta uma sensibilidade muito baixa na qual as faixas de tensão remanescente e duração do afundamento em que há a falha do equipamento se encontram em valores extremos da caracterização de

afundamento e com probabilidade menor de ocorrência. Isso demonstra que ambos os aparelhos estão preparados para eventuais distúrbios no sistema que não sejam extremamente severos e de longa duração.

Ao comparar o CLP A e o CLP B com a curva de sensibilidade realizada pelo ITIC, nota-se que ambos os equipamentos apresentam resultados com sensibilidades menores que o especificado por esse conselho, demonstrando que ambos os fabricantes possuem boa imunidade a esse fenômeno.

A comparação para os aparelhos eletroeletrônicos também apresenta resultados satisfatórios. Os valores de sensibilidade menores para os CLPs em comparação com os eletroeletrônicos, se devem por terem ambientes de funcionamento diferentes. A confiabilidade depositada em um projeto de CLP é levada muito mais em conta que de um equipamento eletrônico residencial.

Após a aquisição dos valores desejados foi possível concluir na análise que o afundamento de tensão afeta o funcionamento dos equipamentos sob determinadas circunstâncias, quando as tensões são nulas ou próximas a esse valor, ou a longo prazo quando as tensões são superiores aproximadamente 3/5 do seu valor nominal.

Finalmente, conclui-se que para algumas aplicações dos CLP's devem ser consideradas maneiras para mitigação dos efeitos dos afundamentos de tensão. Uma forma para a mitigação desses efeitos pode ser a utilização de uma unidade de alimentação ininterrupta (UPS) para a alimentação de alguns equipamentos responsáveis pela automação da indústria, como o CLP. Entretanto, o mesmo tipo de mitigação é pouco recomendado para residências, pois nestes locais não há rigorosa necessidade de continuidade de serviços na ocorrência de variações de tensão.

Referências Bibliográficas

- Franchi, C. M., Camargo, V. L.. Controladores lógicos programáveis: Sistemas Discretos. 2. ed. São Paulo: Ética, 2013.
- Fukuda, S. V., et al. Avaliação dos Limites de Parâmetros de Qualidade de Energia Aceitável para Prevenir Danos em Eletrodomésticos. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLOGIA EM ENERGIA ELÉTRICA, 3º ed. 2005, Paraná. Anais: Florianópolis: Citenel, 2005.
- IEEE. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE Standard 1159 – 2009.
- IEC. International Electrotechnical Commission - IEC, Electromagnetic Compatibility. IEC Standard 61000-4-3:2015.
- Leborgne, R. C. Uma Contribuição à caracterização da Sensibilidade de processos industriais frente a afundamentos de tensão. 2003. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003.
- Maia, R. M.. Caracterização das Variações de Tensão de Curta Duração e seus Impactos em uma Planta da Indústria Alimentícia. UFMG: mBelo Horizonte, 2011.
- Muhammad, H. R. Eletrônica de Potência: Circuitos, Dispositivos e Aplicações. Editora Makron Books Ltda. São Paulo, 1999.
- Oliveira, T. C. Afundamentos de tensão: avaliação Estatística de Resultados de Medição com Base em Simulações. UNIFEI: Itajubá, 2008.
- Oliveira, H. R. P. M., Jesus, N. C., Viecili, G. B., et al.. Sensibilidade de Equipamentos Eletrodomésticos Submetidos a Afundamentos de Tensão. XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Curitiba, Brasil. Outubro de 2005.
- ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico - Procedimentos de Rede - “Submódulo 2.2: Padrões de Desempenho da Rede Básica”, 2002.
- Santos, R. F. S., Silva, S. R.. Sensibilidade de Controlador Lógico Programável Frente a Afundamentos de Tensão. Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica: Aracajú, 2003.
- Silva, F. L., Marçal, F., Nascimento, G. G. R. et al. Comportamento de Contatores Submetidos a Afundamentos de Tensão. Eletricidade Moderna Ano 46, nº 527, pág. 44. Fevereiro de 2018.
- Silva, J. A. M.. Análise Comparativa de Resultados de Simulação de Afundamentos de Tensão utilizando Programas de Curto-Circuito e de Transitórios Eletromagnéticos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, Outubro de 2004.