



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GCQ - 13
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO XIII
GRUPO DE ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE
ENERGIA - GCQ**

**ESTUDO DA SUPTABILIDADE DE CONTADORES AC FRENTE AOS AFUNDAMENTOS DE TENSÃO
(VOLTAGE SAGS)**

***Gabriel M. V. Pereira - Túlio C. Lourenço - Milton I. Samesima - Carlos E. Tavares - Rodrigo A. Peniche**

FEELT / Universidade Federal de Uberlândia - UFU

RESUMO

Este trabalho apresenta aspectos relacionados com a investigação experimental do comportamento operacional de contadores ac quando submetidos a interrupções e afundamentos de tensão. Para fins ilustrativos, o artigo focaliza três contadores distintos e disponíveis comercialmente. Os distúrbios aplicados ao equipamento são implementados na forma de variações de tensão de curta duração e interrupções. Normalmente, os estudos relacionados aos afundamentos de tensão consideram tão somente magnitude da tensão e duração do evento para caracterizar o fenômeno. Todavia, neste trabalho, associado às características mencionadas, considera-se o efeito do ângulo de fase no início do afundamento no tocante à forma de onda da tensão.

PALAVRAS-CHAVE

Afundamentos de Tensão, Qualidade da Energia, Suportabilidade, Contadores AC.

1.0 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, uma vertente da área da qualidade da energia que vem ganhando relevância crescente diz respeito à investigação do comportamento operacional de equipamentos elétricos em consequência de variações momentâneas da tensão, presentes nas redes em que estão conectados. Este massivo interesse, que abrange concessionárias de eletricidade e consumidores deste insumo, sustenta-se por um lado, no impacto econômico oriundo dos efeitos nocivos destes fenômenos em dispositivos e, num segundo momento, não menos importante, devido à proliferação de equipamentos elétricos mais modernos e, por vezes, menos robustos ao distúrbio enfocado nos complexos industriais que perfazem a rede de energia. Nesta perspectiva, este tema tem-se revelado de vital importância no contexto da qualidade da energia elétrica, no tocante à suportabilidade de equipamentos frente às variações momentâneas de tensão [1].

Tais distúrbios, conhecidos na literatura internacional como *voltage sags* e, neste trabalho, denominados por afundamentos de tensão representam, atualmente, o principal desafio a ser enfrentado por empresas de energia, consumidores e fornecedores de equipamentos elétricos de um modo geral. Ocorrências de afundamentos de tensão, combinadas com a sensibilidade dos equipamentos, têm resultado em um número expressivo de interrupções de processos industriais.

Dentre as diversas cargas passíveis de sofrer falha operacional, em função de afundamentos de tensão, destacam-se, sobretudo, os contadores ac. Estes equipamentos, largamente utilizados em processos industriais envolvendo motores elétricos, são utilizados como interface entre uma determinada carga e o sistema supridor. Dentro deste contexto, a falha operacional deste equipamento, em virtude da presença de afundamentos

*Av. João Naves de Ávila, 2160 - Bloco 3N - CEP 38400-902 - Uberlândia - MG - BRASIL
Tel.: (34) 3239-4166 - e-mail: gabrielmvp@yahoo.com.br

de tensão, poderá levar a parada parcial ou total de processos industriais, sendo que a plena retomada da produção poderá levar várias horas ou até dias.

Diante do exposto, este trabalho apresenta um estudo experimental detalhado do comportamento de contatores ac submetidos a afundamentos de tensão, considerando-se, simultaneamente, a influência da magnitude da tensão residual, da duração do evento e do ângulo de fase no início do distúrbio. Mais precisamente, este trabalho vislumbra a obtenção de curvas que descrevam a suportabilidade do equipamento aqui focado perante afundamentos de tensão, quando da presença das características acima referidas. As análises foram realizadas utilizando-se três contatores distintos, disponíveis comercialmente no mercado.

2.0 - AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

Dentre os fenômenos que contribuem para a perda de qualidade de um determinado suprimento elétrico, aqueles associados às variações dos valores eficazes das tensões ocupam posição de destaque. Em particular, os afundamentos de tensão destacam-se como as mais significantes formas com que tais alterações se manifestam nas redes elétricas.

A norma IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineering) Std 1159-1995 [2] define afundamento de tensão como *“um decréscimo entre 0,1 e 0,9 pu do valor eficaz da tensão nominal, com duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto”*. Segundo esta norma um afundamento de tensão com intensidade menor do que 0,1 pu é considerado interrupção. A natureza, a magnitude e a duração, principais características de um afundamento de tensão, são parâmetros importantes a serem considerados.

Um afundamento temporário de tensão atinge de forma danosa e prejudicial principalmente as indústrias. Estas trabalham intensamente e impreterivelmente com processos de produção dependentes entre si. Os processos utilizam-se de máquinas que cada vez mais se modernizam através da utilização de microprocessadores, ou eletrônica de potência. Um sag pode levar um equipamento ao funcionamento inadequado de forma a fazer com que a produção perca a validade por supostos defeitos surgidos nos produtos, ou em algumas partes do processo. O interesse no estudo deste fenômeno reside principalmente nos problemas que podem causar em vários tipos de equipamentos, tais como: ASD'S, CLP's, lâmpadas de descarga, contatores, etc., cargas estas bastante sensíveis a estas variações de tensão.

A principal causa do afundamento de tensão é o curto-circuito em qualquer ponto de fornecimento de energia. O curto-circuito provoca uma grande elevação da corrente, e esta, por sua vez, ocasiona grandes quedas de tensão nas impedâncias do sistema. Curto-circuitos são ocorrências inevitáveis nos sistemas elétricos. Suas causas são diversas, mas basicamente envolvem um rompimento do dielétrico que deveria isolar, em condições normais, potenciais diferentes.

O chaveamento de grandes cargas, tais como grandes motores, ou as fortes flutuações características de algumas cargas podem causar grandes variações de corrente, que, no seu efeito, são semelhantes a correntes de curto-circuito. Embora geralmente os chaveamentos de cargas tenham conseqüências menos severas nos pontos em que ocorrem, as alterações de tensão que provocam em locais distantes podem ser indistinguíveis daquelas causadas por curtos-circuitos e são, portanto, também avaliadas como afundamentos de tensão.

3.0 - METODOLOGIA

Para atingir os propósitos deste estudo, foram realizados testes experimentais nos equipamentos contemplados, os quais se encontram detalhados na seqüência.

3.1 Estudos Laboratoriais

Conforme mencionado anteriormente, os estudos foram conduzidos utilizando-se 3 contatores de fabricantes diferentes, comercialmente disponíveis no mercado, aqui designados por C1, C2 e C3, respectivamente. A Figura 1 ilustra o diagrama esquemático da montagem para os trabalhos experimentais, identificando as conexões e os diferentes dispositivos utilizados.

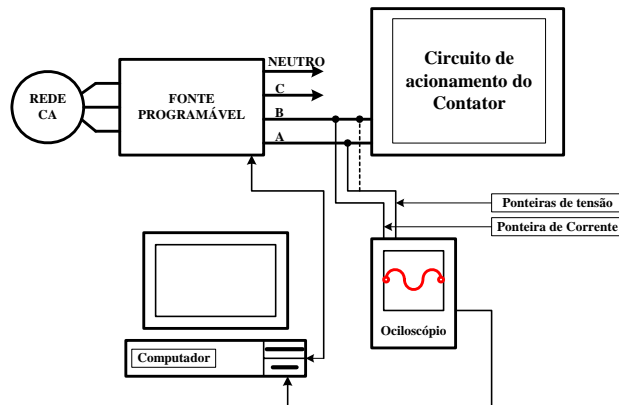


FIGURA 1 – Diagrama de blocos do arranjo utilizado em ensaios de laboratório para análise de desempenho de contadores ac frente aos afundamentos de tensão

A seguir, de forma simplificada, são descritas as principais características dos diversos dispositivos utilizados nos trabalhos.

- A fonte especial, programável, trifásica, marca HP, modelo HP 6834 A, com potência nominal de 4,5 kVA, tem a função de fonte de suprimento para o contator. Ademais, ela permite, quando for o caso, a aplicação dos diversos itens de qualidade, de forma controlada, à tensão de alimentação.
- O osciloscópio digital, de 4 canais, tem a finalidade de realizar a aquisição dos sinais de tensão e corrente solicitados pelo equipamento em teste;
- O micro-computador tem a função de controlar a fonte programável, além de armazenar e processar o tratamento dos sinais capturados pelo osciloscópio. Para obter-se um controle mais preciso no que diz respeito aos níveis de tensão disponibilizados pela fonte, um software foi elaborado para comandar o equipamento supridor, utilizando-se, para tanto, o pacote computacional C++ Builder [3].
- O circuito de acionamento do contator é constituído pela bobina de comando do contator em série com a associação em paralelo de uma botoeira NA (normalmente aberta) com os contatos auxiliares NA do contator. Dessa forma, na ocorrência de um afundamento de tensão que provoque o desatracamento dos contatos do contator, o mesmo continua desatracado após a ocorrência do fenômeno.

A Figura 2 ilustra a montagem laboratorial para a análise da suportabilidade do equipamento enfocado. Nesta, é possível observar as partes constituintes do arranjo experimental empregado.



FIGURA 2 - Montagem dos ensaios de laboratório para análise de desempenho do contator ac

3.2 Casos Estudados

Os estudos conduzidos nesta etapa do trabalho consistiram em submeter os contatores analisados a afundamentos de tensão de diversas magnitudes, durações e ângulos de fase no início do evento. A tabela 1 ilustra uma síntese dos testes conduzidos em laboratório.

TABELA 1 – Síntese dos ensaios laboratoriais

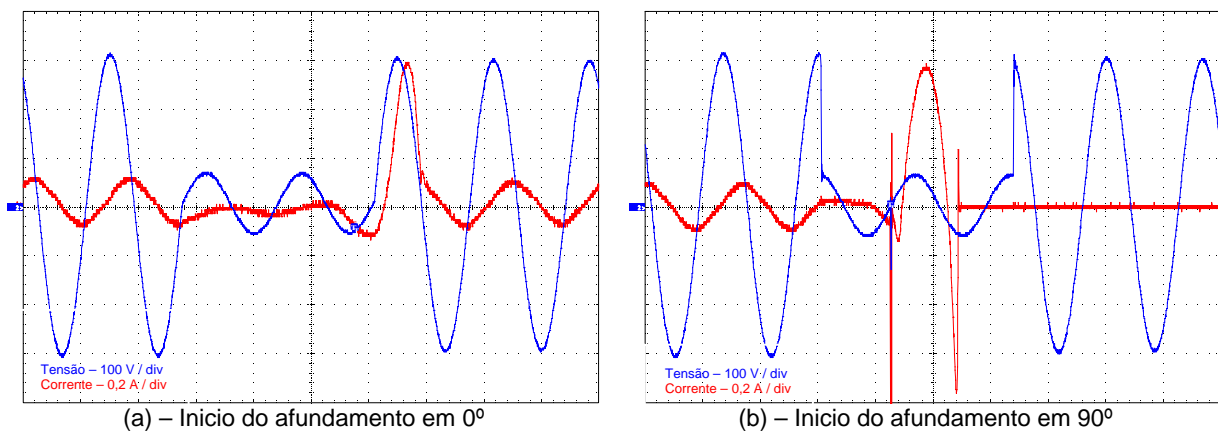
Características do Afundamento	Descrição do ensaio
Magnitude da tensão residual	A magnitude dos afundamentos contempla uma região que varia entre 10% a 90% da tensão nominal. Também foram aplicadas interrupções (entre 0% e 10% de magnitude da tensão).
Duração do evento	A duração dos eventos encontra-se numa faixa variando de 1 a 200 [ms], uma vez que o nível de tensão que o contator suporta tende a manter-se constante para tempos superiores a 100 [ms].
Ângulos de fase da tensão no início do afundamento	Investigar a influência do ângulo de fase no início do afundamento sobre o comportamento do dispositivo. Os ângulos considerados foram: 0°, 30°, 60° e 90°.

Ressalta-se que cada ângulo considerado, no que diz respeito ao início do afundamento, culminou em uma curva de suportabilidade para o dispositivo investigado. Portanto, concluídos todos os procedimentos laboratoriais para cada contator, foi gerada uma família de curvas de tolerância a afundamentos que exprime o grau de imunidade deste dispositivo frente ao fenômeno mencionado.

4.0 - ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS CONTADORES AC

A título de exemplificação, os gráficos apresentados na Figura 3 mostram o comportamento dos diferentes contatores analisados neste trabalho, quando submetidos a um afundamento para 20% da tensão nominal, durante 2 ciclos (33,33 [ms]), sendo que o início do afundamento, no que diz respeito à forma da onda, encontra-se descrito nas figuras correspondentes. Para fins de identificação, as curvas da Figura 3 - (a) e Figura 3 - (b) estão associadas ao contator 1, as curvas da Figura 3 - (c) e Figura 3 - (d) dizem respeito ao contator 2 enquanto que as curvas representadas pelas Figura 3 - (e) e Figura 3 - (f) tratam do contator 3, sendo que nas curvas da Figura 3 - (a), Figura 3 - (c) e Figura 3 - (e) o afundamento teve início quando o ângulo de fase da tensão era 0° e não provocaram o desatracamento do contator, enquanto que nas curvas da Figura 3 - (b), Figura 3 - (d) e Figura 3 - (f) o ângulo de fase da tensão era 90° e o circuito de acionamento desatracou evidenciando a não suportabilidade ao fenômeno considerado.

Na Figura 3, as formas de onda representadas na cor azul correspondem à tensão de alimentação, enquanto que as de cor vermelha equivalem à corrente do circuito de acionamento.



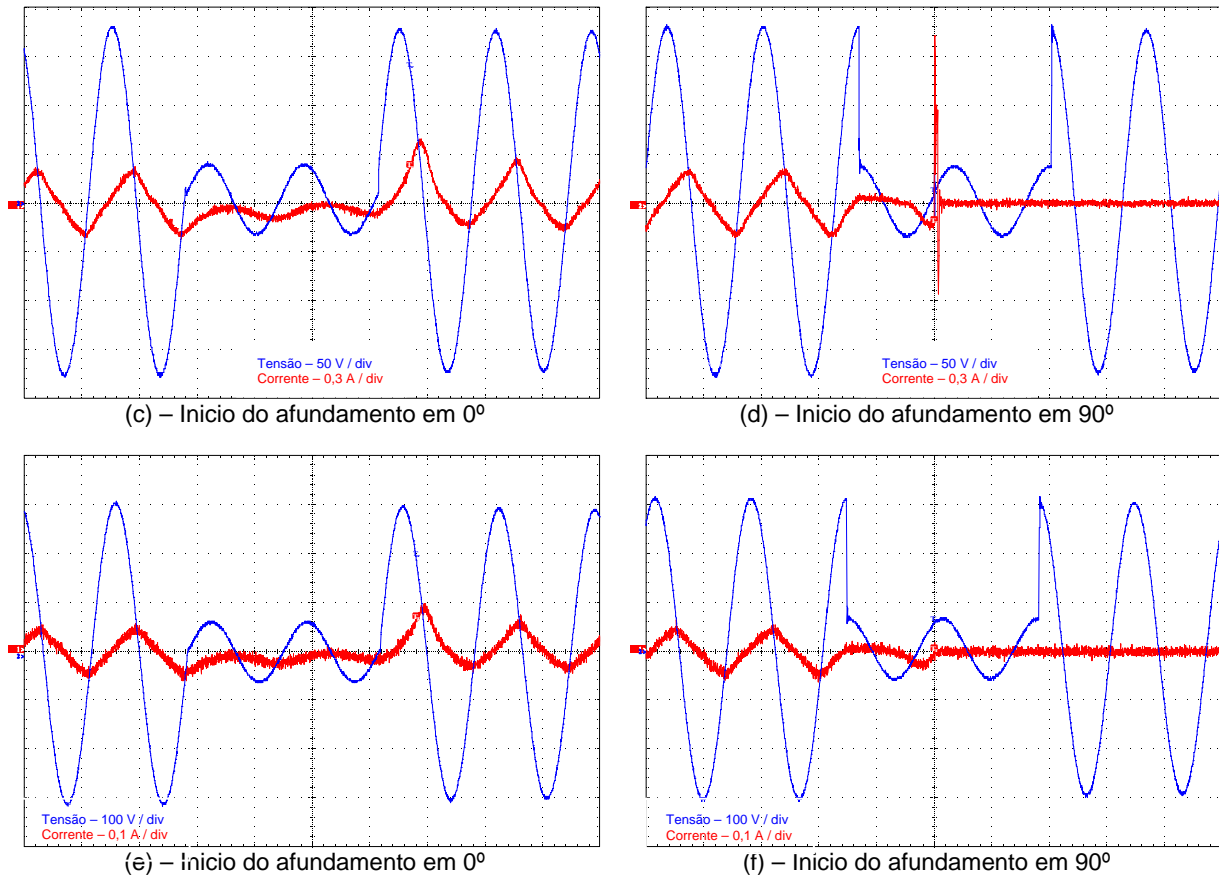


FIGURA 3 – Formas de onda da tensão de entrada e corrente solicitada pelos contadores avaliados

Através da análise da figuras, observa-se claramente a influência do ponto inicial do afundamento na suportabilidade operacional dos contadores e que o comportamento das grandezas enfocadas é semelhante para os três dispositivos investigados considerando o afundamento para 20% da tensão nominal, durante 2 ciclos (33,33 [ms]). Portanto, com vistas a evitar repetições desnecessárias que não trariam benefícios adicionais, os comentários feitos nesta etapa do artigo serão generalizados a todos os dispositivos ora estudados.

Para o ângulo de 0° , durante o afundamento da tensão, ocorre uma redução quantitativa na corrente solicitada pela bobina do contator. Não obstante a esta redução, os contatos do dispositivo mantiveram-se fechados enquanto perdurou o distúrbio. De maneira contrária ao exposto, quando o afundamento inicia-se em 90° , a corrente cai rapidamente e ocorre a falha operacional do equipamento, observada através da abertura dos contatos. Pelos gráficos de forma de onda de tensão e corrente do contator observa-se seu comportamento indutivo, uma vez que a corrente está atrasada em relação à tensão aplicada ao equipamento.

5.0 - CURVAS DE SUPORTABILIDADE

O conceito de curva de tolerância de tensão para equipamentos eletrônicos sensíveis, formulado inicialmente para computadores de instalações militares, foi introduzido em 1978 por Thomas Key ([4], [5]). Anos mais tarde, a curva de tolerância de tensão resultante de seus testes tornou-se conhecida como “curva CBEMA”, que se popularizou quando a associação CBEMA – *Computer Business Equipment Manufacturer’s Association* começou a utilizá-la como uma recomendação a seus membros. Posteriormente, essa curva foi utilizada na elaboração da norma IEEE Standard 446-1995 (*Orange Book*) e tornou-se uma referência para tolerância de equipamentos frente a variações de tensão, e para severidade de afundamentos de tensão.

Recentemente, a “curva CBEMA revisada” foi adotada pelo ITIC – *Information Industry Council*, sucessor da CBEMA. Assim, verifica-se que os valores na área abaixo da curva ITIC representam as situações em que o equipamento desligou e acima da curva quando o equipamento continuou em funcionamento após o afundamento. Percebe-se que a suportabilidade do equipamento é diretamente relacionada com a duração e amplitude do fenômeno considerado.

A seguir, são apresentados resultados das curvas de suportabilidade obtidas para os três contadores ensaiados. Nota-se que para cada contator foram ensaiadas 4 situações distintas que representam os ângulos de fase da tensão no início do afundamento.

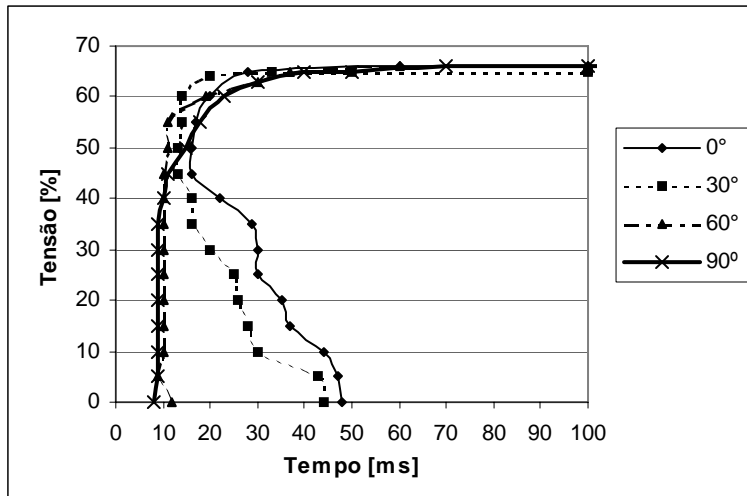


FIGURA 4 – Curvas de suportabilidade para o contator C1

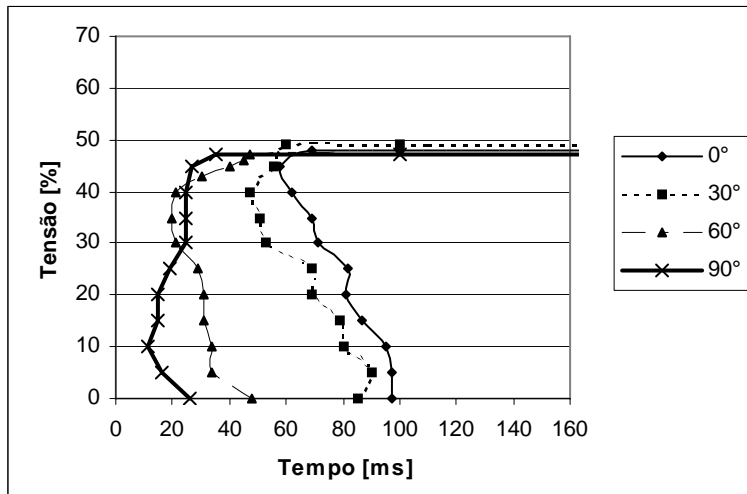


FIGURA 5 – Curvas de suportabilidade para o contator C2

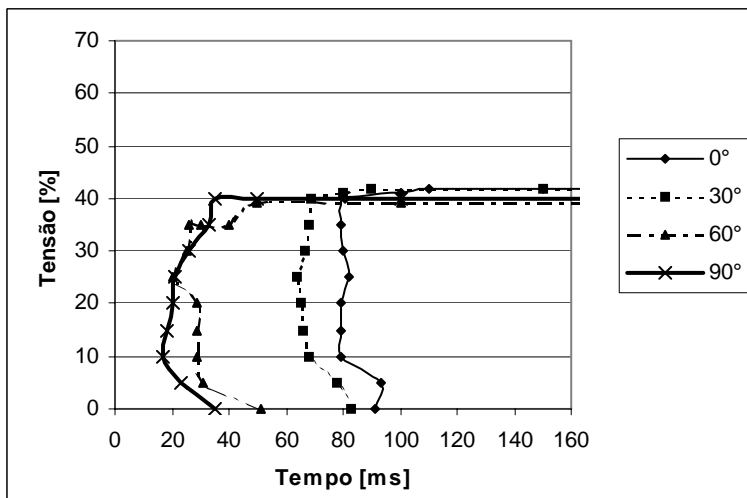


FIGURA 6 – Curvas de suportabilidade para o contator C3

As curvas de suportabilidade obtidas para os três contatores mostram, através de regiões, se um afundamento de tensão, que possa ter ocorrido no sistema, corromperá o processo no qual ele foi utilizado.

Para afundamentos de tensão com duração superior a 60 [ms] o contator C3 foi o que apresentou maior suportabilidade entre os ensaiados.

A título de comparação, pode-se observar, na figura abaixo, as curvas de suportabilidade para os três contatores quando o ângulo de disparo do afundamento de tensão é de 90° (pior caso), comparadas com a curva ITIC. Nota-se que a curva ITIC foi representada para afundamentos com duração inferior a 160 [ms], uma vez que para durações superiores a esta os dispositivos analisados apresentaram robustez.

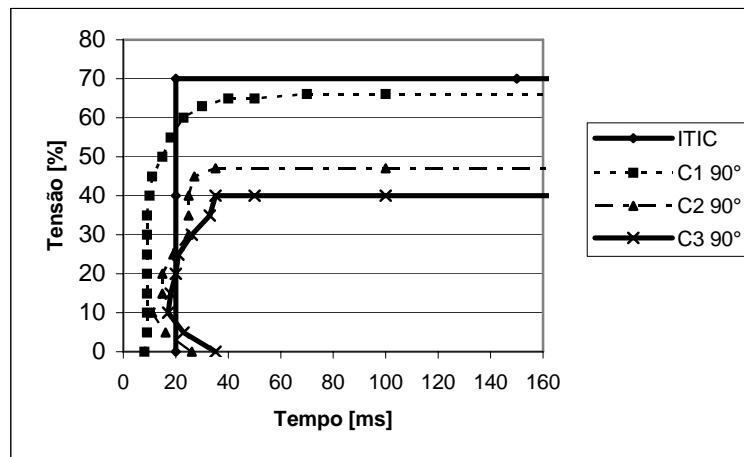


FIGURA 7 – Curvas de suportabilidade comparadas com a curva ITIC

6.0 - CONCLUSÕES

Sendo os afundamentos de tensão as causas mais importantes dos desligamentos intempestivos nos processos industriais, causando prejuízos associados a paradas de produção e etc. e os contatores um dos principais componentes utilizados nos circuitos de força e de comando dos motores instalados nos processos industriais, conclui-se que o estudo de seu comportamento frente a esses fenômenos se mostra de suma importância.

Nos ensaios realizados verifica-se que os contatores apresentaram suportabilidades distintas, sendo o contator C3 o que apresentou maior suportabilidade dentre os outros ensaiados. No entanto, algumas características comuns, apesar de os contatores serem de diferentes fabricantes e tensão nominal, foram evidenciadas:

- Para interrupções e afundamentos de tensão até aproximadamente 30%, e para ângulo de disparo próximos de 0° a suportabilidade tende a ser maior e diminui à medida que esse valor caminha para 90°;
- Para afundamentos de tensão de 30% a aproximadamente 65% percebe-se que as curvas de suportabilidade para os diferentes ângulos de disparo cruzaram, não identificando uma relação que fosse equivalente para os três contatores ensaiados;
- A suportabilidade dos três contatores tende a se manter constante (mesma magnitude de tensão) para afundamentos de tensão superiores a 100 [ms].

Todas as informações obtidas através deste trabalho são suficientes para prever o comportamento genérico de contatores quando expostos ao fenômeno afundamento de tensão.

O desempenho dos contatores se mostrou satisfatório, uma vez que, para afundamentos de tensão com duração superior a 20 [ms], todos os contatores ensaiados tiveram suportabilidade menor quando comparados com a curva ITIC.

Este estudo evidencia, também, que normas e recomendações mínimas de suprimento devem ser estabelecidas e obedecidas, uma vez que processos diversos podem ser comprometidos, resultando em grandes perdas operacionais e, conseqüentemente, em prejuízos financeiros.

7.0 - REFERÊNCIAS

- (1) LEGORGNE, C. R. Uma Contribuição à Caracterização da Sensibilidade de Processos Industriais frente a Afundamentos de Tensão, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Itajubá, Maio de 2003.
- (2) IEEE Std 1159-1995 – IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, New York.

- (3) TEIXEIRA, M. D. Uma estrutura Laboratorial para Testes de Desempenho de Equipamentos no Contexto da Qualidade da Energia, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, julho de 2003.
- (4) BOLLEN, M. H. J. Understanding power quality problems: voltage sags and interruptions. IEEE Press on Power Engineering. Nova York. 2000.
- (5) <http://www.itic.org/technical/iticurve.pdf>
- (6) DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; BEATY, H. W. Electrical power system quality. Mc Graw-Hill,1996. 265 p- Chapter 3.