

# Afundamentos momentâneos de tensão em *ASDs* – erros na avaliação de falhas na operação

André Luis Bianchi<sup>1</sup>

João Carlos Verneti dos Santos<sup>2</sup>

## Resumo

Os afundamentos momentâneos de tensão (*Sag*) figuram como um dos mais comuns problemas relacionados à qualidade da energia. A previsão do distúrbio, os procedimentos para sanar danos causados e o estudo dos efeitos e causas são tarefas complexas. O presente artigo apresenta experimentos de avaliação de três dispositivos de acionamentos a velocidade variável (*ASDs*) submetidos a eventos *Sag*. A partir dos dados coletados, observou-se que os três equipamentos apresentam suscetibilidade ao *Sag*. Ademais, evidenciaram-se variações de corrente atingindo valores superiores a 300% do valor nominal. Tais variações podem ter ocasionado os desligamentos dos *ASDs*, devido à atuação dos respectivos sistemas de proteção.

**Palavras-chave:** afundamentos de tensão, *Sag*, *ASD*.

## Abstract

The momentary sinkings of tension (Voltage Sag) they represent as one of the most common problems related to the quality of the energy. The forecast of the disturbance, procedures to solve caused damages and study of the effects and causes are complex tasks. The present article presents experiments of evaluation of three Adjustable Speed Drivers (*ASDs*) submitted to events *Sag*. Starting from the collected data, it was observed that the three equipments are sensitive to the *Sag* event. Besides, current variations were evidenced reaching superior values to 300% of the nominal value. Such variations might have caused the disconnections of *ASDs*, due to the performance of the respective protection systems.

**Keywords:** dip voltage, *Sag*, *ASD*.

## 1 Introdução

O desenvolvimento da indústria, do comércio e da automação de prédios faz com que, a cada dia, mais equipamentos eletro-eletrônicos sejam utilizados nos mais diferentes tipos de processos e aplicações. Dentre estes equipamentos eletro-eletrônicos, os acionamentos à velocidade variável, que na literatura técnica também são conhecidos como *ASDs* (sigla proveniente da expressão em inglês *Adjustable Speed Driver*), figuram entre os mais utilizados (JESUS, NETO e COGO, 2001).

*ASDs* são dispositivos que regulam a velocidade de motores assíncronos alimentados com corrente alternada. Esta regulação é feita de forma eletrônica e assim como qualquer equipamento eletrônico, os *ASDs* sofrem com os distúrbios ocasionados por variações na tensão de alimentação, sejam eles longos como distorções na forma de onda da tensão, ou curtos como afundamentos momentâneos de tensão (*Sag*), sobre-tensões momentâneas (*Swell*), tensões transitórias e interrupções.

### 1.1 Justificativa

Segundo Yalçinkaya, Bollen e Crossley (1998), os maiores causadores de distúrbios de energia elétrica nas indústrias, sejam por comando indevido ou desligamento de equipamentos eletrônicos, são os afundamentos momentâneos de tensão.

Conforme a Operadora Nacional do Sistema – ONS (2007), as variações de tensão de curta duração (VTCD) são de dois tipos distintos: momentâneas e temporárias. A tabela 1 apresenta detalhes desta classificação.

Geralmente, a causa dos *Sags* está relacionada a acionamento de cargas de grande porte, a curtos-circuitos ou a cortes de energia em algum ponto do sistema, não necessariamente onde ocorre o distúrbio. Conforme Sarmiento e Estrada (1996), eventos que provoquem eventos *Sag*, com duração de 200ms e amplitude igual ou inferior a 20% do valor nominal de tensão, acarretam desligamento na maioria dos *ASDs*.

Além das aplicações industriais, os *ASDs* são

<sup>1</sup> Engenheiro Eletricista. Professor na Escola ULBRA São Lucas. Mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia: Energia, Ambiente e Materiais – PPGEAM. E-mail: al.bianchi@terra.com.br

<sup>2</sup> Engenheiro Eletricista. Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia: Energia, Ambiente e Materiais – PPGEAM, na Universidade Luterana do Brasil – ULBRA. E-mail: vermetti@ulbra.br

Classificação		Duração	Magnitude
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	$T = 3 \text{ s}$	$< 0,1 \text{ p.u.}$
	Afundamento Momentâneo de Tensão	$1 \text{ ciclo} = T = 3 \text{ s}$	$0,1 \text{ a } 0,9 \text{ p.u.}$
	Elevação Momentânea de Tensão		$> 1,1 \text{ p.u.}$
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	$3 \text{ s} = T = 1 \text{ min}$	$< 0,1 \text{ p.u.}$
	Afundamento Temporário de Tensão		$0,1 \text{ a } 0,9 \text{ p.u.}$
	Elevação Temporária de Tensão		$> 1,1 \text{ p.u.}$

Fonte: ONS, 2007

Tabela 1 – Classificação das variações de tensão de curta duração VTCD – NOS

utilizados em elevadores para pessoas. Assim, um desligamento de um equipamento para esta finalidade pode criar uma situação indesejável. Indústrias das áreas de plásticos, de tecidos e de papel são as que mais sofrem com o problema, pois o desligamento indesejado de um ASD em um processo contínuo pode causar perdas significativas na produção, além dos custos relativos ao tempo de interrupção do processo e à retomada da produção (CUNHA e SILVA, 2003).

Segundo Santos e Silva (2003), os eventos *Sag* podem não ser tão danosos para o processo produtivo quanto uma interrupção de longa duração. Porém, como ocorrem com maior frequência, é provável que o impacto total devido aos *Sags* seja mais significativo. Os custos de uma interrupção variam de consumidor para consumidor, basicamente em função da dependência do consumidor da eletricidade, do distúrbio elétrico, por sua natureza e instante em que ocorre e do valor monetário da atividade interrompida. Segundo Abreu, Carvalho e Vilas-Boas (1999), no Brasil, prejuízos decorrentes de distúrbios de tensão podem atingir cerca de dois bilhões de dólares ao ano.

A solução para se evitar a ocorrência de um evento *Sag* não é trivial, pois há muitos casos distintos devido à estrutura do sistema e ao causador do evento (YALÇINKAYA, BOLLEN e CROSSLEY, 1998). No entanto, evitando o efeito causado nos ASDs (ou seja, desligamentos não previstos), pode-se obter um ganho em relação às perdas ocasionadas.

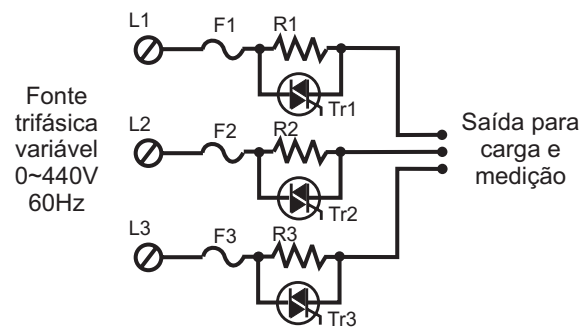
## 1.2 Objetivo

Este trabalho objetiva avaliar a sensibilidade de *ASDs* frente à ocorrência de afundamentos momentâneos de tensão.

## 2 Metodologia

O presente trabalho é desenvolvido de acordo com as etapas a seguir.

- Desenvolvimento do sistema gerador do *Sag*: para reproduzir os afundamentos de tensão nos *ASDs*, utilizou-se um sistema de controle micro-processado, tendo como base o experimento de McEachern (2004), ilustrado na figura 1.



Fonte: McEachern, 2004

Figura 1 – Etapa de potência para criação do *Sag*

- Montagem da bancada para experimentos: a bancada de testes inclui uma placa de aquisição de dados com taxa de aquisição de 18kHz; um registrador de grandezas elétricas com 7,6kHz de taxa de aquisição (que é a mínima amostragem recomendada para medição de distúrbios de tensão pelo IEEE); uma fonte regulável de 3kVA; um sistema microprocessado responsável por provocar um evento *Sag* em qualquer das três fases e no intervalo de tempo desejado; três modelos de *ASDs* de mesma potência e de fabricantes distintos e, como carga, um motor de indução trifásico com potência de 0,56 kW. A figura 2 ilustra, esquematicamente, a bancada montada para os experimentos.



Figura 2 – Bancada de experimentos

- Execução de testes com três modelos de *ASDs* e análise dos dados: os ensaios foram feitos de acordo com os procedimentos de teste estipulados pela norma IEC 61000-4-11 (BOLLEN, 1997). A partir dos dados obtidos com os testes, são feitas análises comparativas visando identificar pontos de maior suscetibilidade de desligamento devido à ação do sistema de proteção.

### 3 Resultados

No desenvolvimento do sistema gerador do *Sag*, utilizou-se um kit de desenvolvimento com microprocessador do tipo PIC16F877, sendo o programa computacional desenvolvido em linguagem C. No *hardware*, utilizaram-se as saídas digitais para o controle das chaves estáticas (triacs). Como entradas para o comando de disparo, que gera os eventos *Sag*, foram utilizadas chaves mecânicas (botões).

No sistema de controle implementado, o microprocessador de controle faz o desacionamento das chaves estáticas com triacs, criando assim um evento *Sag* de acordo com o tempo estipulado pelo operador. Os tipos de afundamentos de tensão aplicados aos *ASDs* são do tipo A (figura 3), onde o distúrbio é aplicado simultaneamente em todas as fases de alimentação do equipamento. Para cada tipo de *Sag* aplicado, são consideradas amplitudes de 90% e 60% e duração de 10 e 25 ciclos.

A etapa de potência, segundo McEachern (2004), utiliza chave estática com triac, ligada a um resistor em paralelo, sendo o conjunto colocado em série com o *ASD* em todas as três fases de entrada. E, conforme anteriormente exposto, o microcontrolador controla o funcionamento dos triacs de maneira individual.

O sistema de aquisição de dados utilizado foi da empresa National Instruments, composto por uma placa de aquisição DAQCard – 6062E e o *software* LabView, onde é feito o aplicativo para aquisição dos dados. Também se utilizou um registrador de grandezas elétricas da empresa RMS. O monitoramento através do registrador fornece os valores rms dos sinais elétricos, e a placa de aquisição fornece a forma de onda e o perfil do distúrbio aplicado.

Os experimentos são feitos em três modelos de *ASDs* de 2,2kW disponíveis no laboratório de máquinas elétricas da ULBRA, com as seguintes características:

- *ASD a* – alimentado por tensão trifásica de 380V, com potência nominal de 2,2kW (3cv);
- *ASD b* – tensão nominal trifásica de 127V ou monofásica 220V, também com potência nominal de 2,2kW (3cv);

– *ASD c* – assim como os demais, este equipamento tem potência de 2,2kW (3cv), e a tensão de alimentação é bifásica 127V ou monofásica é 220V.

#### 3.1 Execução dos testes com três modelos de *ASDs* e análise dos dados

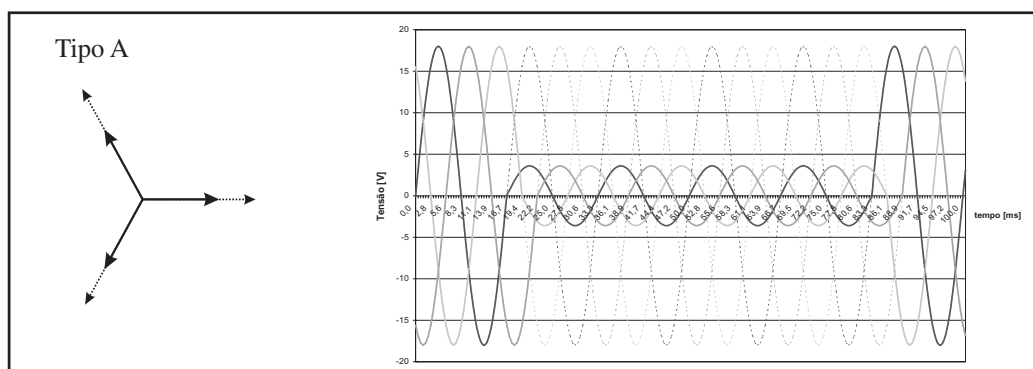
Os ensaios foram iniciados de acordo com os procedimentos de teste da norma IEC 61000-4-11 (BOLLEN, 1997), gerando os *Sags* do tipo A. Para cada tipo, amplitude e duração de distúrbio, monitoraram-se os valores rms de corrente e tensão do *ASD* através do analisador de energia (128 amostras por ciclo). A forma de onda da tensão de entrada e o perfil do distúrbio são medidos por meio da placa de aquisição de dados (300 amostras por ciclo).

Os testes efetuados em cada equipamento estão discriminados por *ASD*. As correntes foram medidas de forma rms, mas são apresentadas sem escala, apenas para se verificar se houve, ou não, alteração no funcionamento do *ASD* após o evento *Sag*. Nas avaliações, pode-se observar uma pequena distorção na tensão medida, justamente no cruzamento por zero; isto ocorre devido ao tempo de chaveamento dos triacs que se desligam com uma corrente inferior a 5mA. Porém este erro não é suficiente para afetar a suscetibilidade do equipamento, uma vez que a corrente da carga é cem vezes maior que a mínima para manter o triac ligado.

##### 3.1.1 Avaliação do *ASD a*

Os testes efetuados consistem na aplicação de eventos *Sag* do tipo A, nos tempos de 10 e 25 ciclos, com intervalos de aplicação superiores a dez segundos, conforme recomendação do IEEE (2001).

Os dados obtidos nos experimentos com o *ASD a* submetido a *Sags* são mostrados nas figuras 4 e 5. Em cada uma destas figuras, há quatro gráficos que apresentam valores instantâneos (8000 amostras) e rms (100 amostras) de tensão. Adicionalmente, nestes mesmos gráficos, como já mencionado, estão também indicados valores sem escala de corrente.



Fonte: Bollen, 1997

Figura 3 – Tensões *Sag* dos tipos A

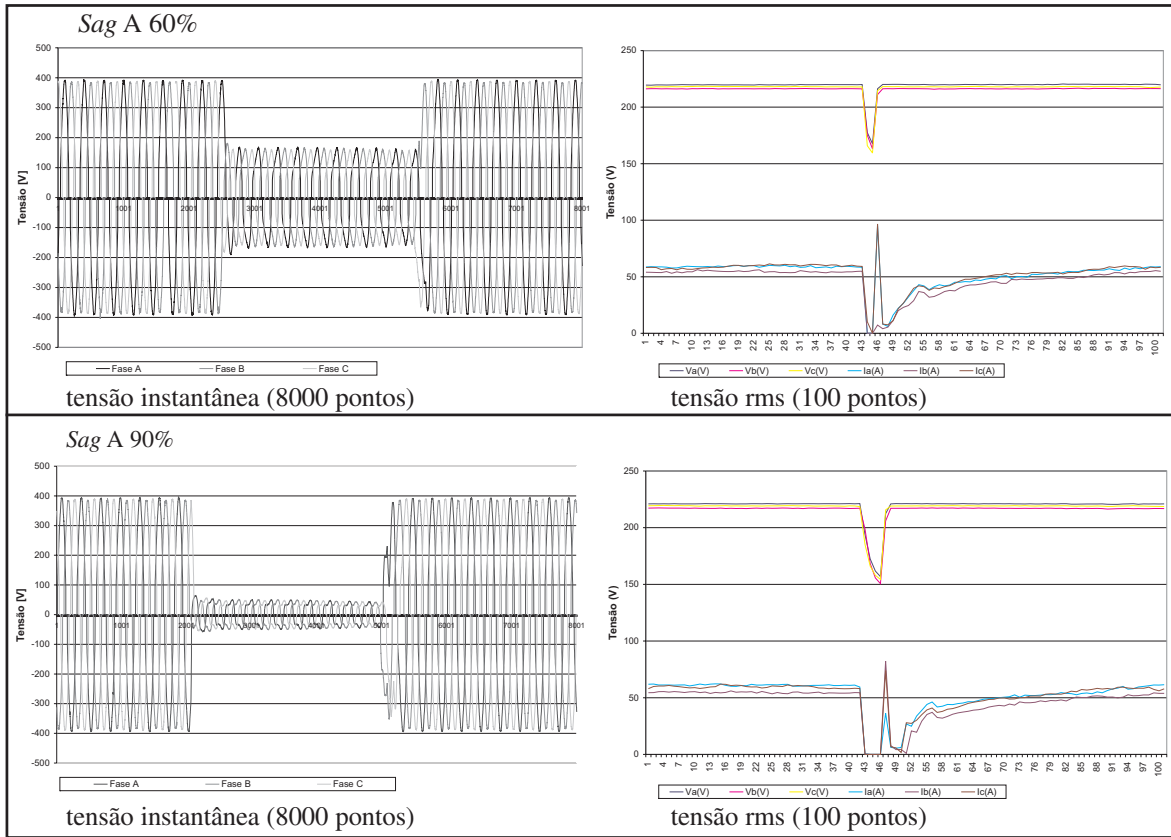


Figura 4 – Sag tipo A com 10 ciclos, aplicado ao ASD a

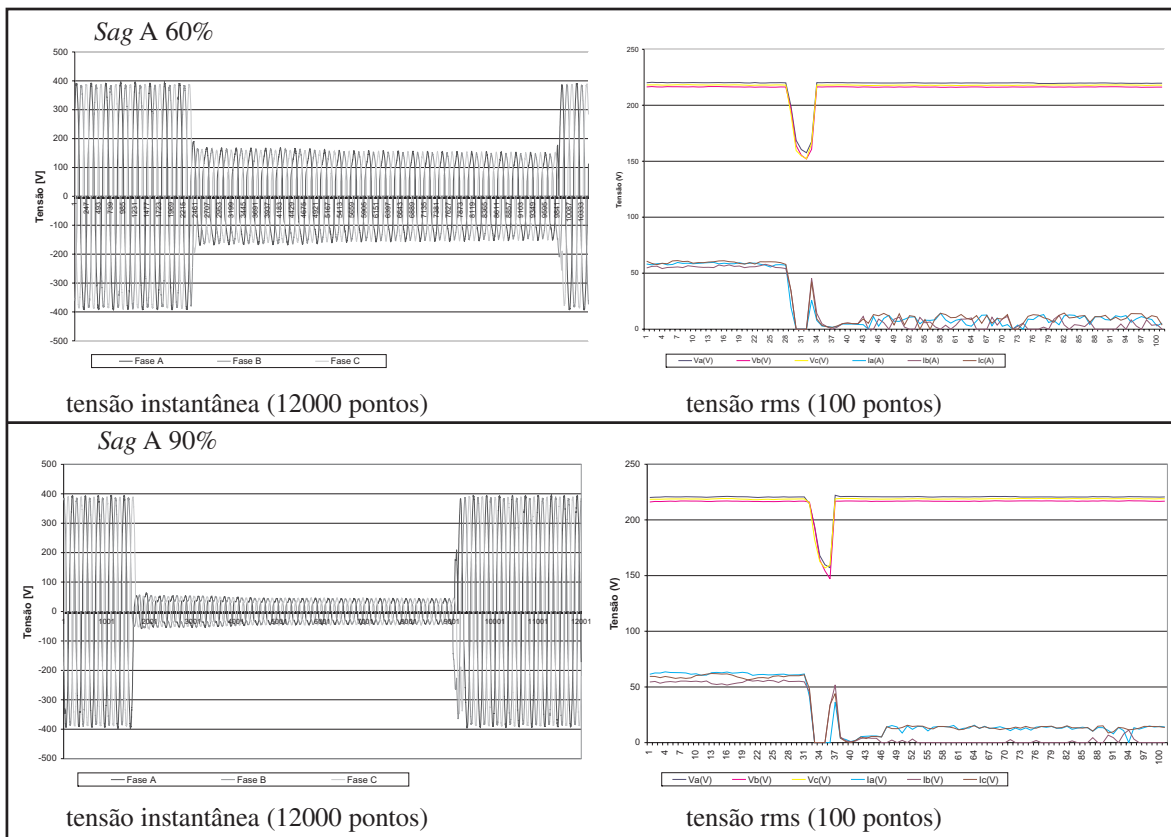


Figura 5 – Sag tipo A com 25 ciclos, aplicado ao ASD a

Na figura 4, observa-se que, em todas as situações, o equipamento teve desligamento parcial após o distúrbio e, decorrido um tempo, após o *Sag*, o acionamento retomou a velocidade nominal. Entre o desligamento e o restabelecimento da velocidade nominal do motor transcorreu um intervalo de cerca de 5 segundos. Pode-se, também, observar que há um pico de corrente no instante do evento 25% acima da nominal, o que poderia ter ocasionado acionamento do sistema de proteção.

Visualiza-se pela figura 5 (*Sag* tipo A 25 ciclos) que ocorreram desligamentos totais nos dois testes. Após cada evento, o *ASD a* não retomou a velocidade. Isto pode ser observado através das curvas de corrente, em que os níveis ficam bem abaixo daqueles ocorridos antes do distúrbio. A corrente visualizada após o *Sag* é a corrente de manutenção do *ASD*.

Nas figuras 4 e 5, observa-se que o *ASD a* mostrou-se susceptível aos distúrbios aplicados. No caso de 10 ciclos, houve apenas desligamento momentâneo, retomando a velocidade nominal em seguida. No caso

de 25 ciclos, houve desligamento total do *ASD*. Nestes casos, observa-se, pelos valores de corrente, que o desligamento ocorreu por falha do próprio *ASD* e não do sistema de proteção.

### 3.1.2 Avaliação do *ASD b*

O *ASD b* não demonstrou deficiência frente aos afundamentos de tensão de 60% e 90% aplicados. Na figura 6, com *Sag* de 10 ciclos, observam-se variações nos valores da corrente, mas, após o evento, ela normaliza.

Na figura 7, pode-se observar que também não houve alteração no funcionamento do *ASD b* após o *Sag*. A variação na corrente durante o evento se intensifica, mas retorna ao patamar de funcionamento nominal.

Nas figuras 6 e 7, observa-se que o *ASD b* não se mostrou susceptível aos distúrbios *Sag* aplicados. Porém, pelos valores de corrente na figura 7, verifica-se que o pico registrado aproxima-se de um valor 100% maior que a corrente nominal; isto pode acarretar em acionamento do sistema de proteção elétrica.

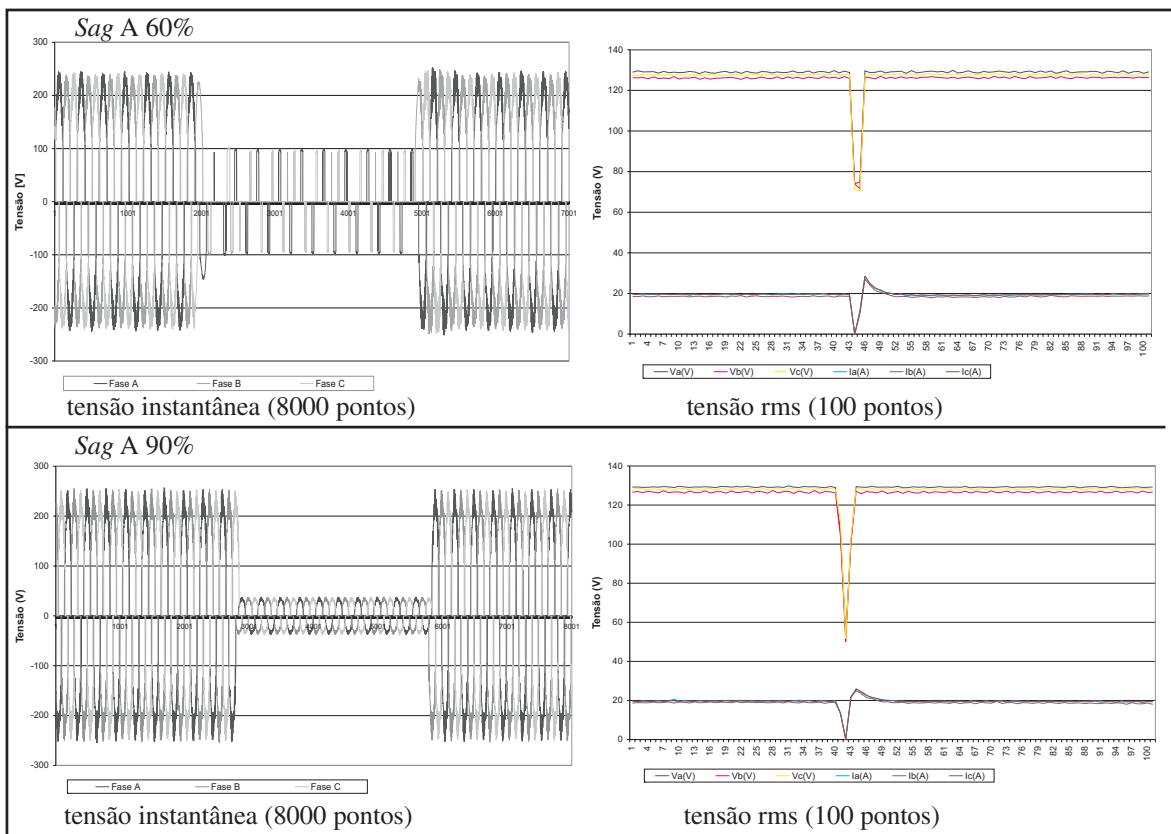


Figura 6 – *Sag* tipo A com 10 ciclos, aplicado ao *ASD b*

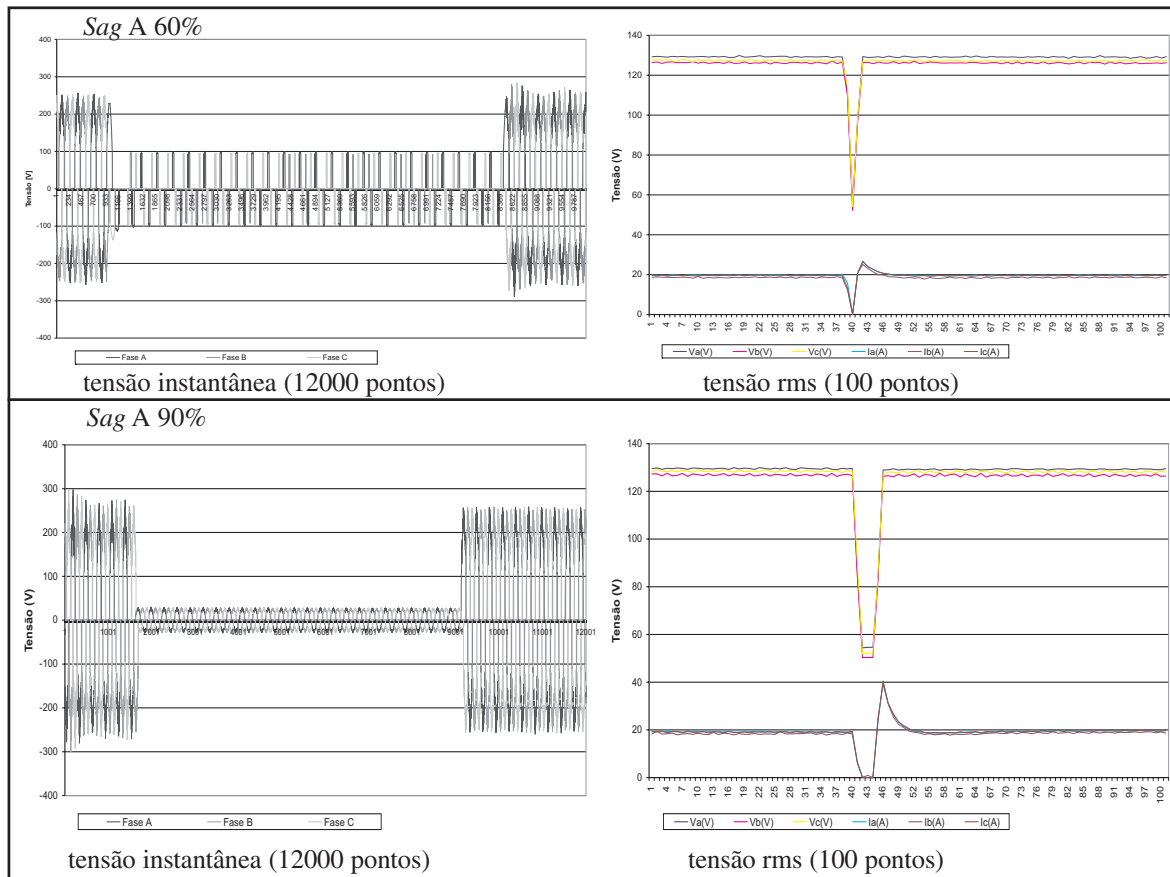


Figura 7 – Sag tipo A com 25 ciclos, aplicado ao ASD b

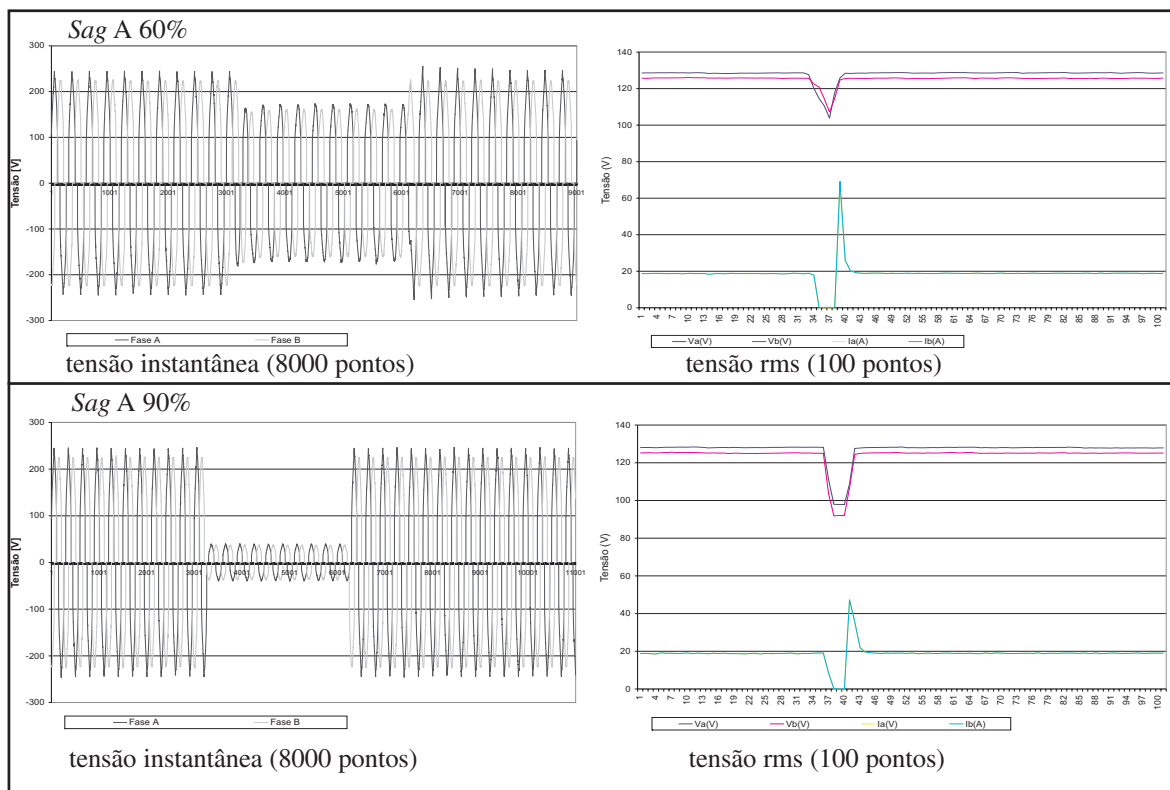


Figura 8 – Sag tipo A com 10 ciclos, aplicado ao ASD c

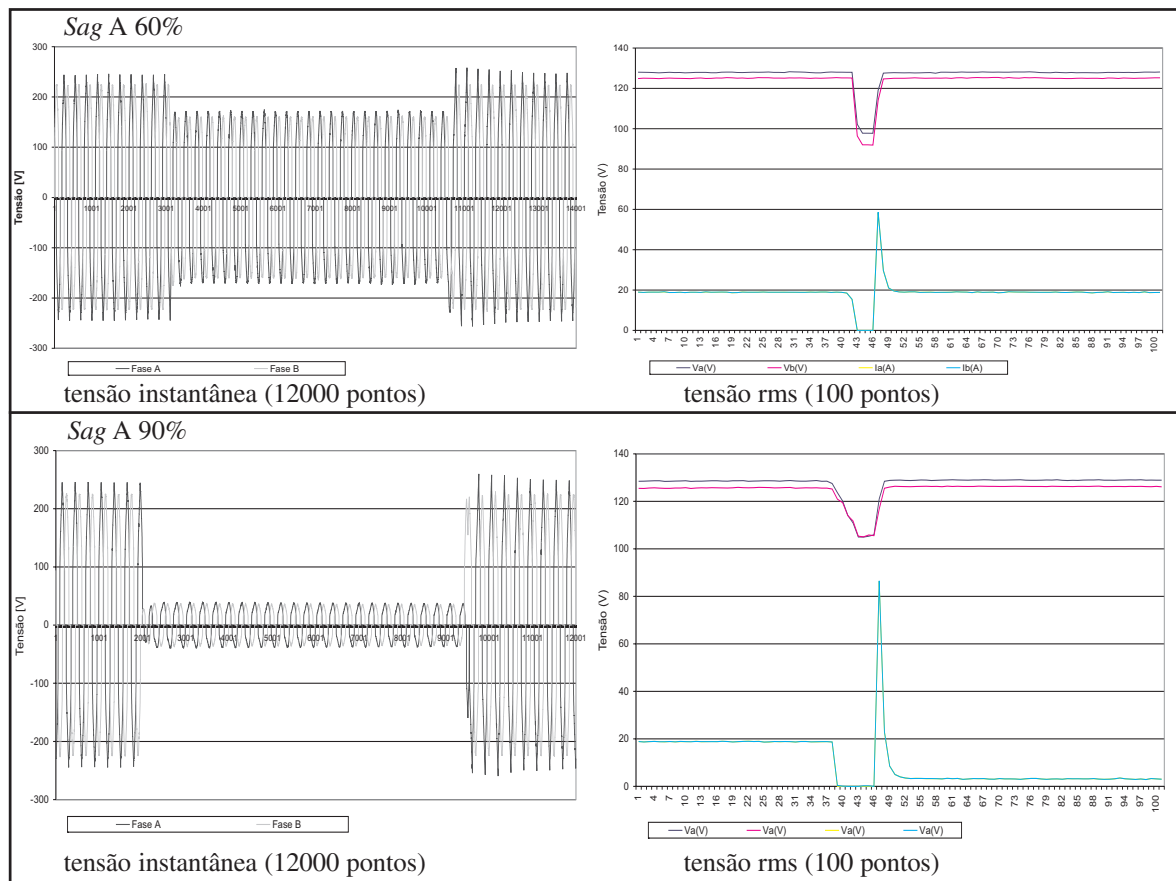


Figura 9 – Sag tipo A com 25 ciclos, aplicado ao ASD c

### 3.1.3 Avaliação do ASD c

Nas figuras 8 e 9, observa-se que o ASD c mostra-se pouco suscetível a Sags de 60% e 90%. Na figura 8, os valores de corrente medidos apresentam variações acima de 100% do valor nominal; isto pode acarretar no acionamento do sistema de proteção.

Na figura 9, observa-se um desligamento (*reset* do programa) no ensaio com amplitude de 90%. Apesar do pico de corrente ocorrido logo após o Sag, vale ressaltar que o desligamento se deu por problema do ASD c e não pelo sistema de segurança, uma vez que, após o Sag, permanece uma corrente de manutenção do ASD.

Mesmo sendo ocasionado pela suscetibilidade do próprio ASD, observa-se, na figura 9, que o desligamento poderia ter sido devido ao sistema de proteção elétrica. O pico de corrente sucedido no ensaio foi superior a 300% do valor observado anteriormente ao Sag. Em todos os testes com o ASD c, ocorreram picos de corrente superiores a 100%; o desligamento devido à proteção elétrica poderia ter sido visualizado em qualquer uma das situações de distúrbio.

## 4 Conclusões

A avaliação de três ASDs submetidos a eventos Sag demonstrou que cada dispositivo de acionamento reage ao evento de forma singular.

Quanto ao ASD a, pôde-se observar que, na maioria

dos eventos aplicados, ele mostrou-se bastante vulnerável ao Sag. O ASD b foi o mais estável e o único em que não ocorreram desligamentos. O ASD c apresentou casos de suscetibilidade ao evento Sag. Da mesma forma que no ASD a, não é desejável, pois paradas imprevistas ocasionam prejuízos. Pode-se, também, observar que o ASD c apresentou grande variação nos valores de corrente durante e logo após o evento; isto também foi evidenciado nos outros equipamentos testados, porém a variação no ASD c é mais pronunciada.

Em apenas 16% dos casos avaliados, houve variação inferior a 20% do valor nominal da corrente. Em 41% dos casos, houve variações entre 30% e 100% do valor nominal da corrente. Nos demais ensaios, registraram-se variações superiores a 100% logo após o evento Sag. Isto pode resultar em atuação do sistema de proteção elétrica, causando a falsa impressão de que o defeito tenha ocorrido em algum equipamento, ao invés da constatação da má qualidade do suprimento de energia.

A realização de ensaios desta natureza contribui para o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas para evitar o efeito do distúrbio Sag. É necessária uma avaliação mais criteriosa sobre os efeitos de distúrbios elétricos, provenientes do sistema de alimentação, em ASDs, devendo-se observar se o desligamento (*reset*) do acionamento se deu devido a problemas externos ou internos.

## Referências

- ABREU, J. P.; CARVALHO, J. M. C.; VILAS-BOAS, F. M. Medidas para Reduzir o Impacto de Depressões de Tensão na Produção. **Revista Eletricidade Moderna**, março, 1999, p. 100-108.
- BOLLEN, Math H. J. Characterisation of Voltage Sags Experienced by Three-Phase Adjustable Speed Drivers. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Vol. 12, N° 4, October 1997, p. 1.666-1.671.
- CUNHA, Carla C. M.; SILVA, Selênio R. Sensibilidade de Acionamentos a Velocidade Variável (ASD's) Frente a Voltage Sags: Análise. In: **SNPTEE**, Grupo XIII – GCQ-01, Uberlândia. Anais... Uberlândia: SNPTEE. 2003.
- IEEE. Voltage Sag Índices – Draft 2, **Working document for IEEE P1564**. NJ/EUA: IEEE Inc. 2001.
- JESUS, Nelson C.; NETO, João A. M.; COGO, João R. Análise da Influência de Variações Momentâneas de Tensão na Operação de Inversores de Frequência. In: **SNPTEE**, STE – SCQ/007, Campinas. Anais... Campinas: SNPTEE. 2001.
- MCEACHERN, Alex. **Voltage Sag Immunity Tests: Some Common Mistakes and How To Avoid Them**. California/EUA: 2004.
- ONS – **Operador Nacional do Sistema**. Submódulo 2.2 – Padrões de Desempenho da rede Básica. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em 10 jan. 2007.
- SANTOS, Rosana F. S.; SILVA, Selênio R. Estudo de Caso de Sensibilidade de Equipamentos Eletrônicos Industriais Frente a Afundamentos de Tensão. In: **SNPTEE**, Grupo XIII – GCQ-02. Uberlândia. Anais... Uberlândia: SNPTEE. 2003.
- SARMIENTO, Hector G.; ESTRADA, Eduardo. A Voltage Sag Study in an Industry with Adjustable Speed Drivers. **IEEE Industry Applications Magazine**. January/February: 1996, p. 16-19.
- YALÇINKAYA, Gülali; BOLLEN, Math H. J.; CROSSLEY, Peter A. Characterisation of Voltage Sags in Industrial Distribution Systems. **IEEE Transactions on Industry Applications**, Vol. 34, n°4, July/August, 1998, p. 682-688.