

---

# CONVERSORES DE FREQUÊNCIA VSI-PWM SUBMETIDOS A AFUNDAMENTOS TEMPORÁRIOS DE TENSÃO ("VOLTAGE SAGS")

Paulo C. A. Leão\*  
pcaleao@funrei.br

José C. de Oliveira†  
jcoliveira@ufu.br

Kleiber D. Rodrigues†  
kleiber@ufu.br

\*Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ,  
Praça Frei Orlando, 170, 36307-904 São João del-Rei MG, Fax: +55 32 33792552

†Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Uberlândia – UFU,  
Av. João Neves de Ávila, 2160, Santa Mônica, 384000-902 Uberlândia MG, Fax: +55 34 32365099

---

## ABSTRACT

This paper aims at analyzing the relationship between VSI-PWM frequency converters behavior and a very common type of power quality disturbance, i.e. the well known voltage sag effect. By using a proper model into the Saber Simulator, simulation results for a typical system under symmetrical and asymmetrical sag phenomenon conditions are shown. Experimental results are also given in order to validate the computational behaviour. The converter ride-through capability as well as the protection units interaction are also included into the analysis.

**KEYWORDS:** Power quality, frequency converters, voltage sag.

## RESUMO

Este artigo tem por objetivo analisar a interdependência entre a operação de conversores de frequência tipo VSI-PWM e uma das manifestações mais comuns para a perda de qualidade de um suprimento elétrico, qual seja, a ocorrência do fenômeno denominado por afundamento

temporário de tensão ou "voltage sag". São apresentados resultados de simulações, realizadas no Simulador Saber, de um sistema típico submetido a afundamentos de tensões simétricos e assimétricos. Resultados de ensaios em laboratório também são fornecidos com vistas à validação dos resultados computacionais. Aspectos relacionados com a capacidade "ride-through" dos conversores e correspondentes arranjos de proteção são também considerados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade de energia, conversores de frequência, afundamento temporário de tensão.

## 1 INTRODUÇÃO

Economia de energia, melhorias do processo de controle e aumento da eficiência são fatores que, dentre outros, têm influenciado fortemente na crescente utilização de sistemas de acionamentos a velocidade variável (ASD's – Adjustable Speed Drives), em instalações industriais, comerciais e até mesmo residenciais.

ASD's empregam conversores estáticos de tensão/frequência e, dentre os diversos tipos de sistemas disponíveis, acionamentos para motores CA, que utilizam inversores por tensão imposta (VSI - Voltage Source Inverters), com controle PWM senoidal, têm

---

Artigo submetido em 20/12/00

1a. Revisão em 08/03/02

Aceito sob recomendação do Ed. Assoc. Prof. Denizar C. Matins

side dos mais utilizados.

Diversas investigações têm sido realizadas com vistas a esclarecer seus princípios, operação e desempenho sob diferentes condições de suprimento e carga, bem como os conteúdos harmônicos produzidos pela operação dos ASD's [Bose, 1997].

No entanto, ainda são poucos os estudos realizados objetivando avaliar o desempenho destes equipamentos, quando submetidos a fontes de suprimento com padrão de qualidade comprometida.

Dentre os itens de comprometimento de qualidade do padrão de fornecimento, destacam-se:

- Desequilíbrios de fase;
- Distorções harmônicas;
- Afundamentos temporários da tensão de alimentação ("voltage sags"). Tendo em vista a inexistência de uma terminologia nacionalmente aceita para o efeito, ao longo do texto utilizar-se-á, com freqüência, a segunda designação;
- Elevações temporárias da tensão de alimentação ("voltage swells").

Dentre as várias possibilidades de investigações associadas aos temas supramencionados, este artigo é direcionado para o fenômeno caracterizado como "voltage sag". Esta escolha não é casual, mas sim fundamentada nas experiências de campo, as quais indicam que, dependendo do tipo de equipamento e do controle associado, este distúrbio pode causar mau funcionamento, desligamento ou danos permanentes ao equipamento propriamente dito ou ao sistema junto ao qual o mesmo se encontra conectado. De acordo com pesquisas relatadas na literatura, [Wagner et al., 1990] "voltage sags" constituem, de um modo geral, o principal fenômeno responsável pela interrupção parcial ou total de processos produtivos.

Reconhecendo, pois, os fatos acima citados, com o objetivo de desenvolver métodos que determinem o grau de suportabilidade admissível para a perda da qualidade da alimentação e melhorem o nível de imunidade operacional dos conversores de freqüência e de outros dispositivos, tornam-se imperativas investigações como as aqui descritas.

Para atingir tais metas, qual seja, o conhecimento do desempenho dos conversores VSI-PWM submetidos a afundamentos temporários de tensão, este artigo utiliza de uma modelagem computacional especialmente

desenvolvida para a representação destes equipamentos, a qual é implementada no simulador Saber. Este simulador permite a representação de componentes e sistemas no domínio do tempo e os modelos introduzidos possibilitam avaliar o desempenho conversor-suprimento de forma trifásica, com as fases independentemente representadas. Isto permite estudos da operação dos conversores sob situações individuais ou simultâneas de degradação do suprimento elétrico. Adicionalmente, com vistas a validar tais resultados, são realizados ensaios em laboratório.

## 2 AFUNDAMENTO DE TENSÃO ("VOLTAGE SAG")

O fenômeno "voltage sag" pode ser definido como um decréscimo entre 0,1 e 0,9 pu do valor nominal da tensão, com duração entre 0,5 ciclos e 1 minuto (IEEE, 1995). Estas variações estão associadas principalmente com faltas no sistema elétrico, mas podem também ser causadas por energização de cargas pesadas ou partidas de grandes motores.

Usualmente, "voltage sags" são caracterizados pela duração e amplitude e representados em gráficos bidimensionais que relacionam estas duas grandezas. Esta representação simplificada não considera as diferenças nas tensões individuais das fases (assimetria ou desequilíbrio da alimentação) e as variações do ângulo de fase que podem ocorrer devido à propagação do distúrbio.

As causas destas variações (em magnitude e ângulo de fase) são apresentadas por Bollen [1997], que propõe a seguinte classificação básica para as ocorrências de "voltage sags":

Tipo A: as três tensões trifásicas sofrem alterações iguais em magnitude;

Tipo B: apenas uma tensão tem decréscimo em magnitude;

Tipo C: duas tensões decaem em magnitude e sofrem alteração no ângulo de fase. A terceira não se altera;

Tipo D: novamente duas tensões decaem em magnitude e sofrem alterações no ângulo de fase. A terceira decai apenas em magnitude.

Os "sags" do tipo A são equilibrados e dos tipos B, C e D são desequilibrados.

Os "voltage sags" experimentados por cargas conectadas em delta podem ser representados através dos diagramas fasoriais mostrados na figura 1, onde as tensões de linha

nos terminais de entrada do conversor estão indicadas nas situações pré-afundamento (linha fina) e durante a ocorrência do evento (linha cheia).

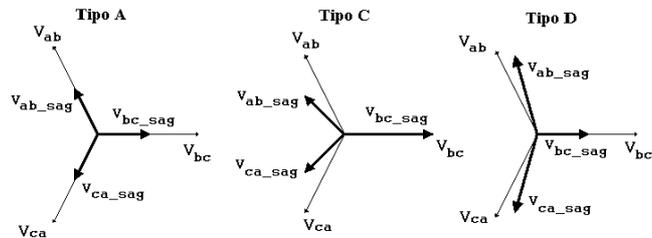


Figura 1: Afundamentos de tensão experimentados pelo conversor VSI.

### 3 CONVERSOR VSI-PWM

A figura 2 mostra a configuração básica de um conversor de frequência para aplicações em acionamentos elétricos. A estrutura em questão é composta por um retificador trifásico não-controlado, um barramento CC (com filtro LC) e um inversor de tensão PWM.

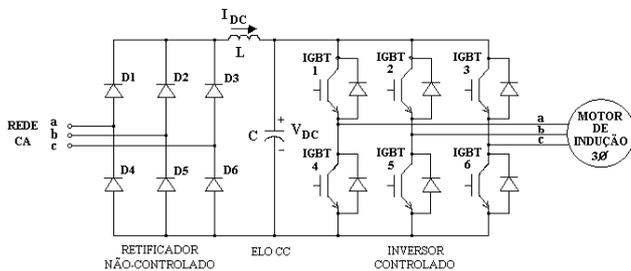


Figura 2: Conversor VSI-PWM.

Para muitas aplicações, dependendo do nível de curto-circuito da rede no ponto de alimentação do conversor, torna-se necessária a inclusão de indutores em série na conexão do retificador com a rede CA. Tais indutores reduzem o pico de corrente nos diodos da ponte retificadora e, por conseguinte, reduz a fadiga e aumenta sua vida útil. Alguns fabricantes especificam os indutores adicionais, compatibilizando-os com os dispositivos de proteção contra sobrecorrente na ponte retificadora. A presença de indutores adicionais traz outras vantagens, como, por exemplo, a melhoria da forma de onda de corrente de entrada (menor distorção harmônica) e o aumento da vida útil do capacitor do filtro. Por outro lado, isto incrementa a influência de um "voltage sag" na tensão do barramento CC [Durán-Gómez et al., 1998].

Durante a operação normal, é necessário que haja tensão suficiente no barramento CC, para que o inversor possa sintetizar o vetor de tensão adequado imposto pela ma-

lha de controle, a fim de suprir os requisitos de conjugado demandado pelo sistema. A presença de um afundamento de tensão na entrada do conversor pode restringir a faixa de vetores de tensão possíveis de serem sintetizados pelo controle, afetando o desempenho dinâmico do sistema para determinadas condições de carga.

Mesmo que tal restrição não afete a condição de operação vigente do acionamento, a compensação da redução de tensão no barramento CC, realizada pela malha de controle de tensão na saída do inversor, implica a elevação dos níveis de corrente de entrada, podendo provocar a atuação da proteção. Estes resultados operacionais serão considerados em mais detalhes no item 5 deste artigo.

### 4 SUPORTABILIDADE DOS CONVERSORES QUANTO AOS AFUNDAMENTOS TEMPORÁRIOS DE TENSÃO

Para minimizar o impacto dos distúrbios do sistema elétrico na operação dos conversores, é importante dotá-los de imunidade, ou pelo menos com alguma capacidade de suportabilidade ("ride through") a estes distúrbios. Várias formas de propiciar esta característica aos conversores VSI durante afundamentos e interrupções de tensão momentâneas são relatadas na literatura [Von Jouanne et al., 1998, Epperly et al., 1997] e têm sido implementadas industrialmente.

Dentre as soluções mais comumente conhecidas e implementadas pelos fabricantes e consumidores, destacam-se:

- Manutenção do suprimento de entrada: através da utilização de UPS (Uninterruptible Power Supply) ou de fontes paralelas de potência que poderiam suprir o inversor via um alimentador em separado;
- Armazenamento de energia CC: através de capacitores adicionais, baterias, grupo motor-gerador, ou sistemas de armazenamento de energia magnética via supercondutores;
- Operação funcional do conversor: utilizando-se da inércia da carga, operando em velocidade e/ou carga reduzida ou utilizando um motor com tensão inferior à nominal do conversor;
- Modificações na configuração do conversor: utilizando-se de conversores "boost", com ou sem baterias.

As vantagens e desvantagens de cada método, bem como

seu detalhamento, podem ser encontradas na literatura citada.

## 5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE

Para a implementação dos modelos próprios aos estudos aqui enfocados, como já mencionado anteriormente, foi utilizado um simulador no domínio do tempo, qual seja, o simulador SABER. A estratégia utilizada fundamentou-se na representação trifásica do sistema, conforme mostrado na figura 2, com a adição do correspondente sistema de controle, motor e carga mecânica.

Os principais parâmetros relacionados com o sistema simulado são:

- Sistema de alimentação CA: sob condições ideais, com tensão eficaz de linha  $V_L$  igual a 220 V, e impedância interna constituída de resistência de  $0,7 \Omega$  e indutância de  $0,01 \text{ mH}$ ;
- Conversor de frequência: VSI, com sistema de controle PWM senoidal,  $2,7 \text{ kVA}$ , frequência de chaveamento de  $2440 \text{ Hz}$ , indutância do elo CC de  $0,1 \text{ mH}$  e capacitância de  $2200 \mu\text{F}$ ;
- Motor de indução: trifásico, com rotor tipo gaiola de esquilo,  $2 \text{ CV}$ , 4 pólos,  $60 \text{ Hz}$ ,  $r_1=3,29 \Omega$ ,  $x_1=2,87 \Omega$ ,  $r_2=2,36 \Omega$ ,  $x_2=2,91 \Omega$ ,  $x_m=85,45 \Omega$ ;
- Carga: tipo torque constante.

As chaves do conversor foram consideradas ideais, com circuitos “snubber” para proteção contra picos de tensão. A unidade inversora do conversor contem os IGBT’s e a respectiva lógica de disparo. O modelo do motor é baseado nas equações de fluxo enlaçados nos enrolamentos e na equação de equilíbrio do conjugado e é descrito por um conjunto de equações diferenciais na representação abc [Alvarenga, 1993].

A validação da modelagem foi verificada através da comparação entre os resultados de simulações e resultados experimentais, obtidos a partir de ensaios com um conversor comercial [Rodrigues & Oliveira, 2000].

Com o sistema operando em regime permanente, na tensão nominal, aplicou-se afundamentos temporários de tensão, no instante  $t=0,5\text{s}$  e, após 6 ciclos, as condições nominais de tensão foram restauradas. Dentro destas características, diversas simulações foram realizadas, para diferentes magnitudes de “sags” e de percentuais de carga aplicada ao eixo do motor, considerando-se dois tipos de “sags”, tipo A e tipo C.

As formas de onda de tensão e corrente na entrada, barramento CC e saída do conversor, para a condição de 80% de carga no motor, e “sags” do tipo C e do tipo A, são apresentadas e analisadas a seguir.

### Caso 1 Aplicação de um “sag” tipo C

A figura 3 mostra as tensões de alimentação do conversor na presença de um afundamento temporário de tensão para 50% da magnitude da tensão na fase *a*, aplicado em  $t=0,5\text{s}$ , com duração de 6 ciclos. Por motivos conhecidos, este efeito se reflete nas tensões de linha  $V_{ab}$  e  $V_{ca}$ , caracterizando um afundamento tipo C nos terminais do conversor. Durante a ocorrência do afundamento de tensão na fase *a*, os diodos D1 e D4 ficam reversamente polarizados, pois a tensão do barramento CC é superior às respectivas tensões de linha  $V_{ab}$  e  $V_{ca}$ . Conseqüentemente, o retificador de entrada passa a operar como um retificador monofásico em ponte, alimentado através da tensão  $V_{bc}$ , que permanece em seu valor nominal.

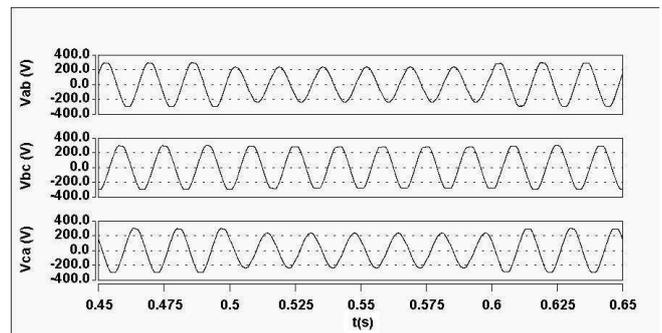


Figura 3: Tensões de entrada do conversor - “sag” tipo C.

A figura 4 mostra a corrente de entrada do retificador para as três fases. Como pode ser observado, os diodos D1 e D4 não conduzem e a corrente na fase *a* durante o “voltage sag” é nula. A potência entregue ao inversor passa a ser suprida somente pela tensão  $V_{bc}$ , o que implica uma elevação das correntes nas linhas *b* e *c*. Pode-se notar que as correntes  $I_b$  e  $I_c$  apresentam uma fase relativa de 180 graus durante o afundamento de tensão. Observando os resultados, constata-se que a operação do conjunto numa situação de “voltage sag” determina que novos requisitos de corrente sejam considerados na especificação dos diodos da ponte retificadora.

A tensão e a corrente do elo CC são mostradas na figura 5. Observa-se uma redução na tensão média do barramento CC e a presença de um “ripple” de tensão significativo. De uma maneira geral, pode-se dizer que a corrente média circula pela carga e sua componente alternada circula pelo capacitor de filtro. Neste caso, o

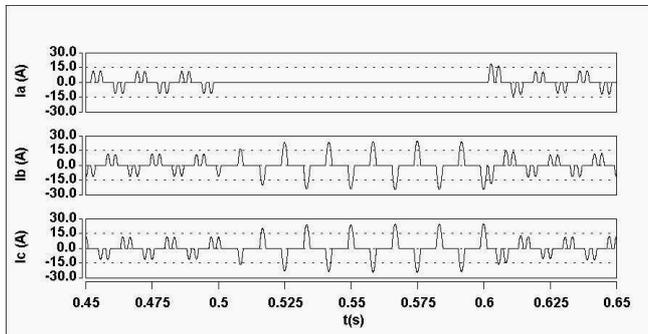


Figura 4: Correntes de entrada do conversor - "sag" tipo C

capacitor de filtro opera com uma corrente eficaz superior à situação normal, o que pode comprometer a sua durabilidade.

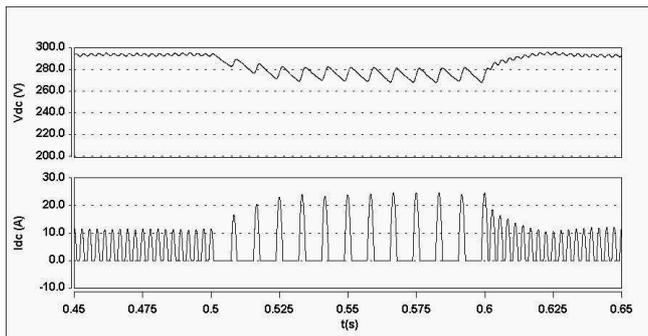


Figura 5: Tensão e corrente no elo CC - "sag" tipo C

Deve-se observar que o retificador entra em operação monofásica para afundamentos com determinadas magnitudes. Este limite é definido em função da impedância de entrada, capacitor de filtro e condição de carga [Durán-Gómez, 1998]. Ultrapassado este limite, a magnitude do "sag" é irrelevante ao processo.

A figura 6 mostra as tensões de saída PWM do inversor. A influência do afundamento de tensão na fase *a* de entrada é quase imperceptível nas tensões de saída, devido à pouca redução da tensão no barramento CC. O mesmo observa-se para as correntes de saída do inversor, figura 7. Considerando como referência a amplitude da componente fundamental, ocorre, durante o "sag", uma redução de cerca de 5% na componente da tensão e um aumento de igual percentual na componente da corrente.

Na simulação em questão, o inversor opera em malha aberta. Se for considerada uma malha de realimentação da tensão de saída, os efeitos do "voltage sag" seriam insignificantes na forma de onda da corrente de saída do inversor, pois estas malhas são projetadas com uma

banda passante bem superior à fundamental da tensão que se deseja reproduzir na saída do inversor. Isto determina uma dinâmica suficiente para corrigir o afundamento de tensão na entrada, desde que o nível de redução da tensão do barramento CC permita sintetizar os vetores de tensão impostos por possíveis malhas externas de controle de velocidade e conjugado.

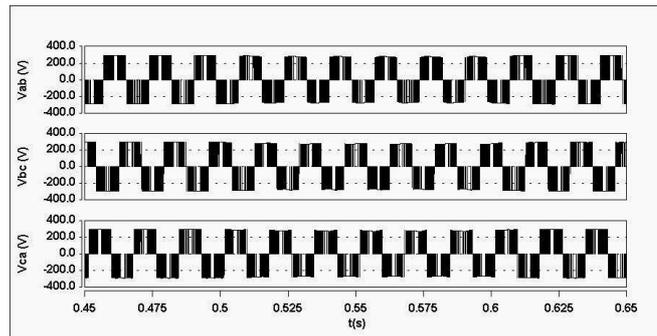


Figura 6: Tensões de saída do conversor - "sag" tipo C

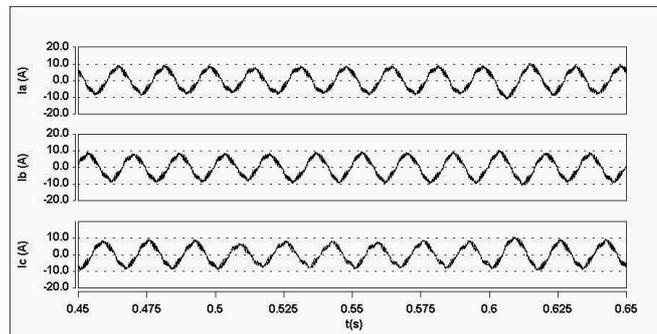


Figura 7: Correntes de saída do conversor - "sag" tipo C

A continuidade da operação do sistema durante o afundamento da tensão depende da capacidade de corrente dos dispositivos eletrônicos envolvidos e do respectivo limite de proteção imposto. A figura 8 mostra a elevação da corrente de entrada do conversor, em pu, para a operação normal e para uma situação de "voltage sag", em função do fator de carga. Se um limite de sobrecorrente de entrada ("trip") de 1,5 pu for considerado, a proteção atuará para fatores de carga superiores a 75%, como pode-se observar.

### Caso 2 Aplicação de um "sag" tipo A

A figura 9 mostra as tensões de linha resultantes de um "voltage sag" trifásico (tipo A), aplicado ao mesmo sistema do estudo mostrado na seção anterior, em  $t=0,5s$ , com duração de 6 ciclos, para 70% da tensão nominal de fase.

Neste caso, tem-se uma interrupção de corrente nas três

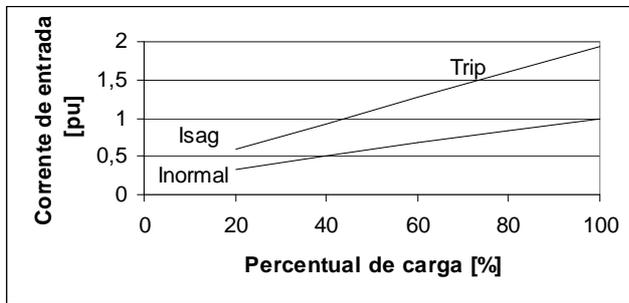


Figura 8: Relação entre corrente de entrada do conversor e fator de carga para operação normal e sob afundamento - "sag" tipo C.

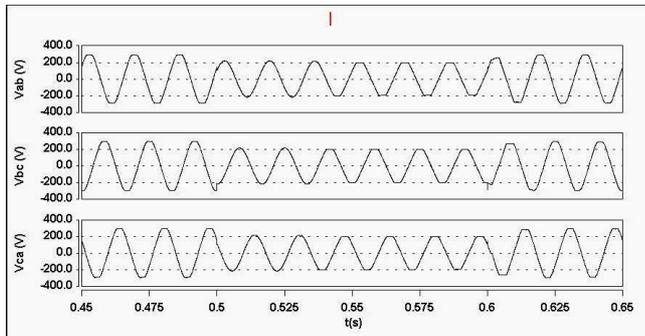


Figura 9: Tensões de entrada do conversor - "sag" tipo A.

fases, conforme mostrado na figura 10, até que a tensão do barramento CC se reduza ao nível de afundamento da tensão de entrada, polarizando diretamente os diodos da ponte retificadora. A duração do bloqueio dos diodos depende da capacitância e requisito de carga do sistema. O nível de corrente de entrada durante o "voltage sag" dependerá dos requisitos de carga. Para o caso de sistemas realimentados, a carga terá um comportamento de resistência negativa, elevando substancialmente a corrente de entrada.

O retorno da tensão de entrada a seus valores nominais implica elevados picos de corrente, os quais, dependendo da suportabilidade dos semicondutores, podem comprometer os diodos da ponte.

A tensão e corrente no elo CC são mostradas na figura 11. Observa-se uma redução mais drástica da tensão no barramento CC. Por outro lado, na recondução dos diodos, a ponte continua em operação trifásica e, conseqüentemente, a tensão do barramento apresenta um menor "ripple".

As figuras 12 e 13 mostram as tensões e as correntes

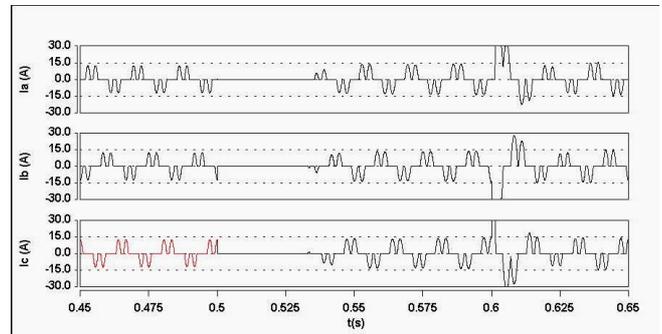


Figura 10: Correntes de entrada do conversor - "sag" tipo A

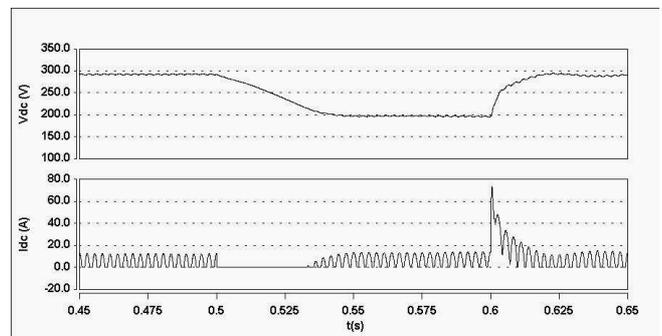


Figura 11: Tensão e corrente no elo CC - "sag" tipo A

de saída do inversor, onde pode-se verificar o efeito da transferência do "sag" para a saída. Considerando como referência a amplitude da componente fundamental, durante a ocorrência do "sag", há uma redução de aproximadamente 30% na componente da tensão, enquanto a componente da corrente tende para um valor cerca de 20% superior. Os efeitos nos sinais podem ser eliminados através da realimentação, fato este que poderia trazer maiores requisitos para a corrente de entrada.

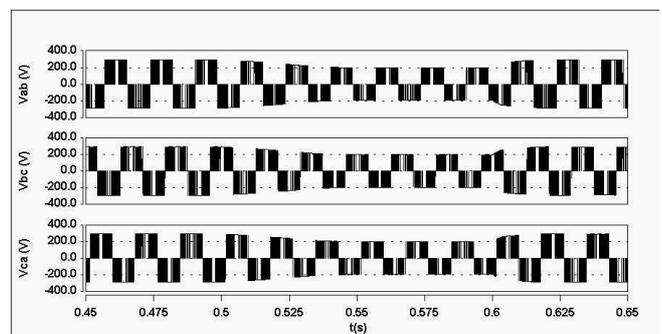


Figura 12: Tensões de saída do conversor - "sag" tipo A

Usualmente, os fabricantes dos conversores impõem limites para subtensão no elo CC (entre 0,7 e 0,85 pu do

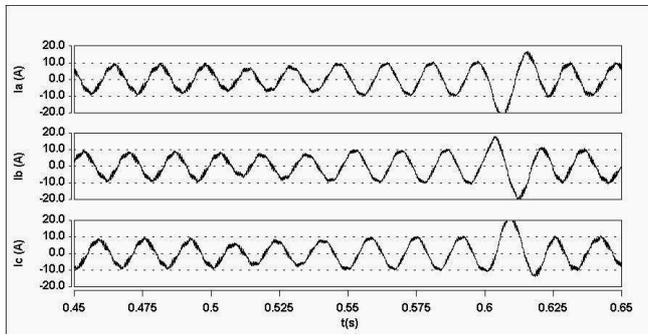


Figura 13: Correntes de saída do conversor - "sag" tipo A

valor teórico de regime no capacitor, no caso 297 V, considerado como 1 pu). A figura 14 mostra a tensão no elo CC, em pu, para a operação normal e para afundamentos de tensão de diferentes intensidades, em função do fator de carga. Pode-se observar que, diferentemente do "sag" tipo C, o nível de intensidade de "sag" influencia fortemente o desempenho do sistema.

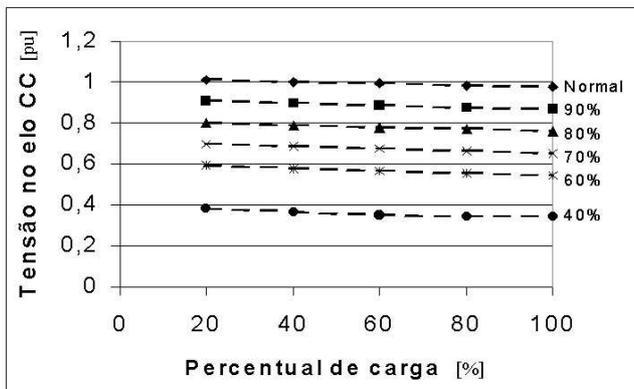


Figura 14: Relação entre tensão no elo CC e fator de carga para operação normal e sob "sags" de diferentes intensidades - "sag" tipo A

## 6 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O sistema utilizado em laboratório para validação da modelagem e verificação do desempenho dos conversores foi constituído por uma fonte programável destinada a reproduzir alimentações ideais e não-ideais; um conversor de frequência comercial; carga motora e instrumentos de medição e aquisição de dados. O arranjo é mostrado na figura 15.

As diversas condições de operação empregadas para as simulações computacionais para os conversores foram também implementadas nos ensaios de laboratório. A

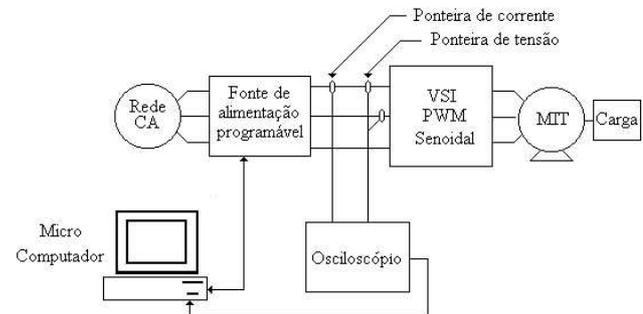


Figura 15: Arranjo laboratorial para realização dos ensaios

análise dos resultados experimentais ratifica a qualidade do modelo desenvolvido e implementado no simulador Saber. As formas de onda de tensão e corrente de entrada e saída, bem com a forma de onda de tensão no elo CC, para um determinado caso particular de ensaio, são mostradas a seguir. Esta situação utiliza um afundamento de tensão trifásico tipo A, com duração de 6 ciclos, para 70% da tensão de fase da entrada.

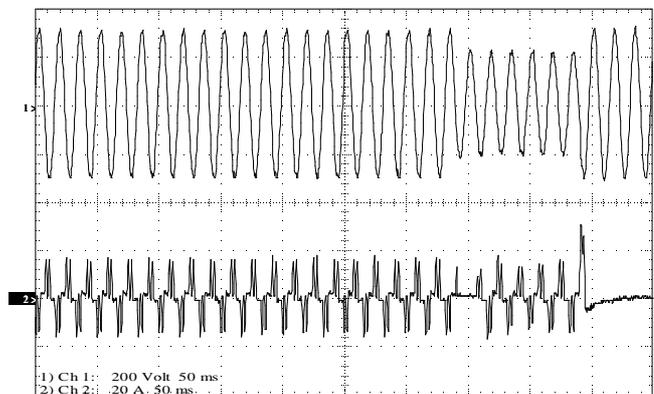


Figura 16: Tensão de entrada do conversor ( $V_{ab}$ ) e corrente de entrada na linha - "sag" tipo A

Para o caso ilustrado, a proteção contra sobrecorrente do conversor atuou ao término do "sag", devido ao pico de corrente imposto no retorno às condições normais de operação, desabilitando o equipamento. Em outras situações em que ocorreu a desabilitação, a proteção atuou devido à subtensão presente no barramento CC.

Os ensaios realizados permitiram também avaliar o grau de suportabilidade dos conversores a afundamentos temporários de tensão, expresso em curvas de tolerância, relacionando intensidade e tempo de duração dos "sags".

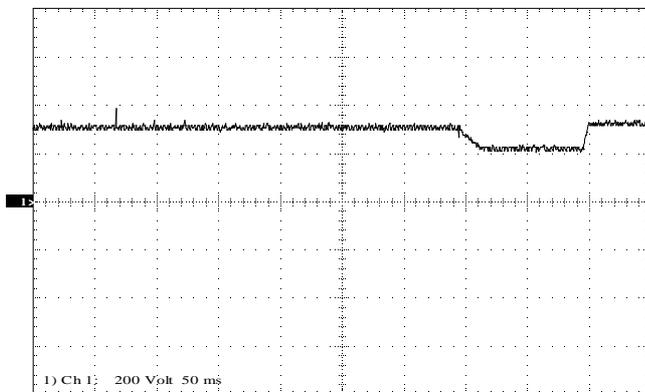


Figura 17: Tensão no elo CC - "sag" tipo A

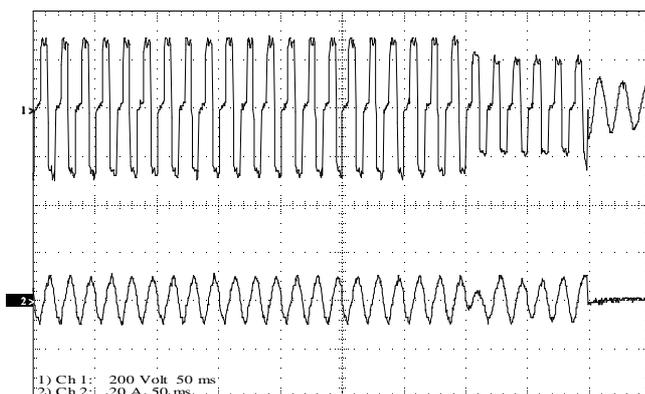


Figura 18: Tensão de saída do conversor ( $V_{ab}$ ) e corrente de saída na linha  $a$  - "sag" tipo A

## 7 CONCLUSÕES

Dentre os fenômenos relativos à Qualidade da Energia Elétrica, os chamados afundamentos temporários de tensão são responsáveis pelo maior índice de interrupção nos processos produtivos, com conseqüente prejuízo econômico na indústria. Por este motivo, os estudos de desempenho dos equipamentos inseridos em qualquer complexo industrial ou outro devem, necessariamente, incluir tal análise de qualidade.

O presente trabalho, além de oferecer uma fundamentação para o conhecimento e reflexos dos efeitos dos "voltage sags" sobre os sistemas de acionamentos elétricos industriais, permite, ainda, identificar em quais subsistemas o efeito do afundamento na tensão da rede é mais crítico, facilitando o estabelecimento de uma melhor solução de compromisso entre limites de proteção elétrica e a continuidade de operação do sistema sob um "voltage sag".

Além desses aspectos, uma comparação entre os resultados computacionais e experimentais permitiu verificar, com clareza, a validade da ferramenta computacional para os estudos aqui considerados. Embora apenas uma síntese tenha sido apresentada para os trabalhos laboratoriais, vale ressaltar que vários outros foram conduzidos com vistas a consubstanciar esta afirmativa.

## REFERÊNCIAS

- Alvarenga, B.P. (1993). *Modelo para Cálculo de Conjugado de uma Máquina de Indução Incluindo os Efeitos de Enrolamento e Saturação Magnética*. UFU (Dissertação, Mestrado em Engenharia Elétrica).
- Bollen, M.H.J. (1997). Characterisation of Voltage Sags Experienced by Three-Phase Adjustable-Speed Drives. *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 12, No. 4, pp. 1666-1671.
- Bose, B.K. (1997). *Power Electronics and Variable Frequency Drives. Technology and Applications*. IEEE PRESS, New York.
- Durán-Gómez, J.L. Enjeti, P.N., Woo, B.O. (1998). Effect of Voltage Sags on Adjustable Speed Drives - A Critical Evaluation and an Approach to Improve its Performance. *Proceedings of the IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, [CD-ROM].
- Epperly, R.A., Hoadley, F.L., Piefer, R.W. (1997). Considerations When Applying ASD's in Continuous Processes. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 33, No. 2, pp. 389-396.
- IEEE Std 1159 (1995). *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*.
- Rodrigues, K.D., Oliveira, J.C. (2000). Computational and Experimental Investigation of VSI-PWM Frequency Converter Performance in the Context of Power Quality. *Proceedings of the International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring, and Power Technologies*, pp. 73-78.
- Von Jouanne, A., Enjeti, P., Banerjee, B. (1998). Assessment of Ride-Through Alternatives for Adjustable Speed Drives. *Proceedings of the IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, pp. 1538-1545.
- Wagner, V.E., Andreshak, A.A., Staniak, J.P. (1990). Power Quality and Factory Automation. *IEEE Transactions on Industry Application*, Vol. 26, No. 4, pp. 620-626.