



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Impacto da transmissão da Copa do Mundo 2006 para a qualidade da energia elétrica nos sistemas de distribuição

José Rubens Macedo Jr.	Alessandro G. Martins	Jules Renato V. Carneiro
ENERGIAS DO BRASIL	ENERSUL	ESCELSA
jrmacedo@enbr.com.br	alessandro.martins@enbr.com.br	jules.carneiro@enbr.com.br
Maria Jovita V. Siqueira		
BANDEIRANTE		
jovita@enbr.com.br		

Palavras-chave

Distorção harmônica
Copa do Mundo 2006

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo promover uma análise técnica detalhada do impacto da transmissão dos jogos da Seleção Brasileira de Futebol, durante a Copa do Mundo FIFA 2006, para a qualidade da energia elétrica nos sistemas de distribuição, notadamente no que se refere às frequências harmônicas de corrente e tensão. Para este propósito foi realizada uma campanha de medição de parâmetros de qualidade de energia elétrica em três diferentes estados da federação, a saber: São Paulo (Guarulhos), Espírito Santo (Vitória) e Mato Grosso do Sul (Campo Grande).

1. Introdução

A televisão, sem dúvida alguma, é o principal meio de comunicação de massa do planeta. Mesmo com o advento da *internet*, é através da televisão que as notícias, assim como os grandes blocos de informação, chegam às pessoas diariamente, em todo o mundo. Originalmente, os aparelhos de TV eram compostos por fontes de alimentação do tipo linear, as quais consistiam de pesados transformadores e alguns componentes semicondutores simples como diodos e capacitores. Contudo, os televisores modernos são hoje compostos de complexas fontes chaveadas. As figuras 1 e 2 ilustram os esquemas básicos destes dois tipos de fontes de alimentação. Em geral, pela característica capacitiva de suas fontes de alimentação, os aparelhos de TV comportam-se como potenciais fontes de componentes harmônicas de tensão.

Assim, considerando-se o fato de que existem dezenas de milhões de aparelhos de TV em uso em todo o mundo, pode-se considerar que este aparelho específico é o maior injetor de

freqüências harmônicas nos sistemas elétricos de distribuição, não tanto pela potência individual, mas pela quantidade de equipamentos existentes.

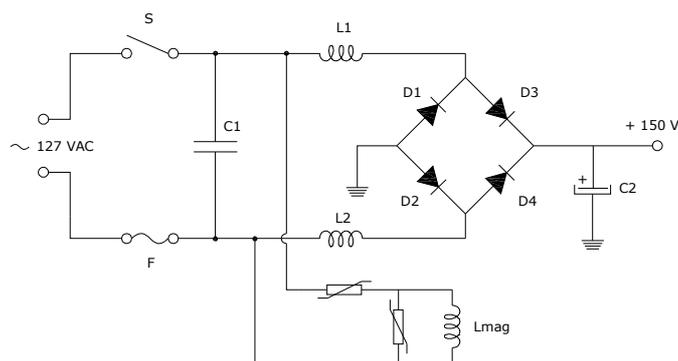


Figura 1 – Diagrama esquemático de uma fonte de alimentação de televisores antigos.

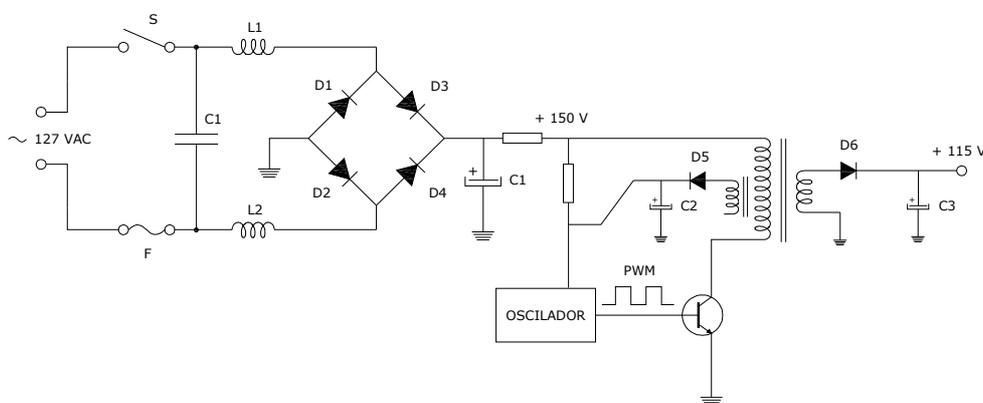


Figura 2 – Diagrama esquemático de uma fonte de alimentação de televisores modernos.

Neste sentido, a figura 3 apresenta a forma de onda da corrente de entrada de um moderno televisor alimentado por fonte chaveada, assim como o espectro harmônico associado. Com base na forma de onda da corrente mostrada na figura 3, observa-se uma predominância da característica capacitiva da carga, conferindo a mesma um comportamento como fonte de tensão.

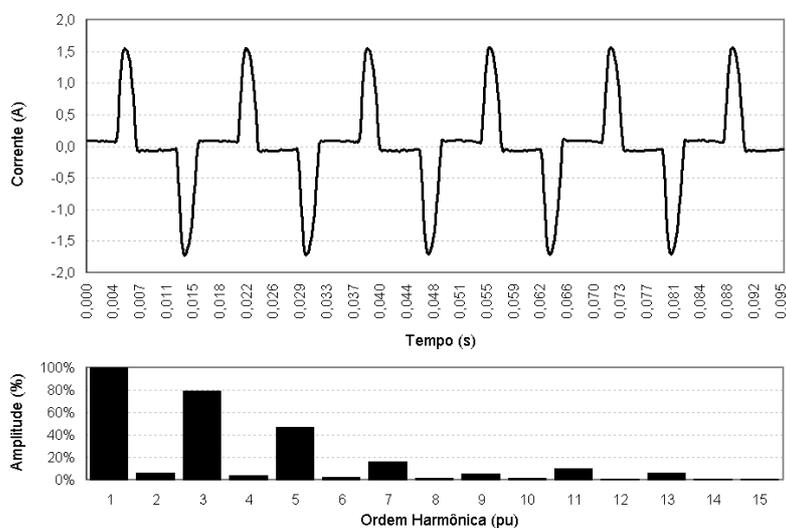


Figura 3 – (a) Forma de onda de alimentação de um televisor com fonte chaveada, (b) espectro harmônico da corrente de entrada.

Em função das características dos aparelhos de TV, existem situações específicas nas quais milhões de aparelhos televisores, conectados a um mesmo sistema elétrico, operam de forma simultânea, maximizando, em termos absolutos, as injeções harmônicas de corrente nas redes elétricas. Um exemplo típico desta situação é a transmissão dos jogos da seleção brasileira de futebol durante a Copa do Mundo da FIFA. No ano de 1986, também durante a Copa do Mundo, foi realizado um trabalho pioneiro sobre o assunto, o qual abordava medições de tensões e correntes em uma barra de 230 kV [2].

Diante do exposto, o presente trabalho apresentará os resultados de uma nova campanha de monitoração de parâmetros de qualidade da energia elétrica, notadamente relacionados a harmônicas, durante a Copa do Mundo 2006, em três diferentes cidades brasileiras, a saber: Vitória – ES, Guarulhos – SP e Campo Grande – MS.

2. Desenvolvimento

Os equipamentos de monitoração dos parâmetros de qualidade da energia elétrica foram instalados em circuitos de distribuição em 138 kV, os quais fornecem energia elétrica a regiões predominantemente residenciais nas cidades de Guarulhos (SP), Vitória (ES) e Campo Grande (MS).

Os resultados das monitorações são apresentados de forma a contemplar o comportamento das componentes harmônicas em dias com transmissão de jogos da Seleção Brasileira de Futebol, assim como em dias típicos, sem transmissão de jogos da Seleção Brasileira.

A figura 4, a seguir, ilustra a estratificação dos consumidores atendidos por cada um desses circuitos. De uma maneira geral, os referidos circuitos são compostos por mais de 80% de clientes residenciais.

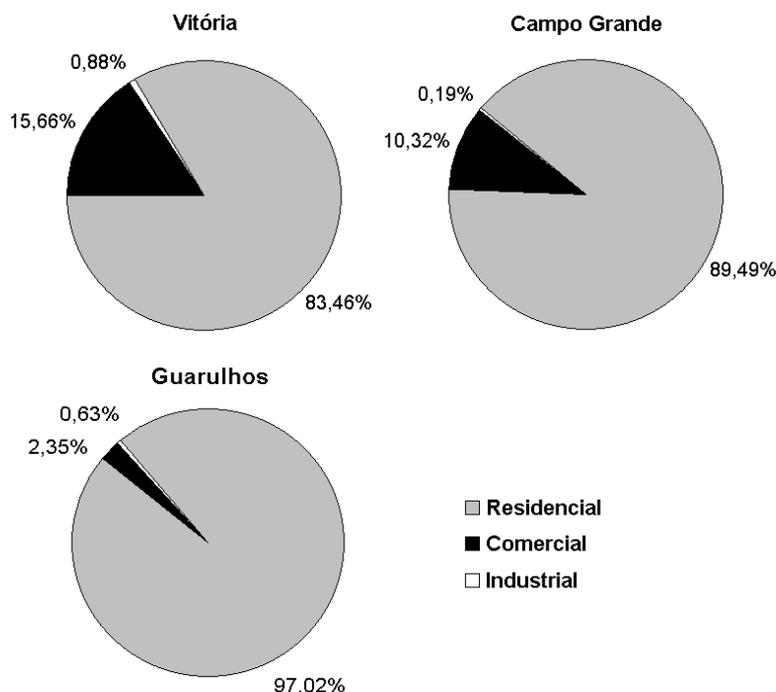


Figura 4 – Estratificação dos consumidores atendidos pelos circuitos de distribuição monitorados.

Para o caso específico do circuito que atende uma determinada região do município de Guarulhos (SP), o percentual de consumidores residenciais é de 97,02%.

A. Resultados da monitoração em Vitória (ES)

A figura 5 ilustra o comportamento da Distorção Harmônica Total de Tensão (*DHTV*) ao longo do dia 27/06/2007, quando o jogo Brasil 3 x 0 Gana foi transmitido a partir das 12h00. A mesma figura ilustra também o comportamento do mesmo indicador em um dia típico sem transmissão de jogos.

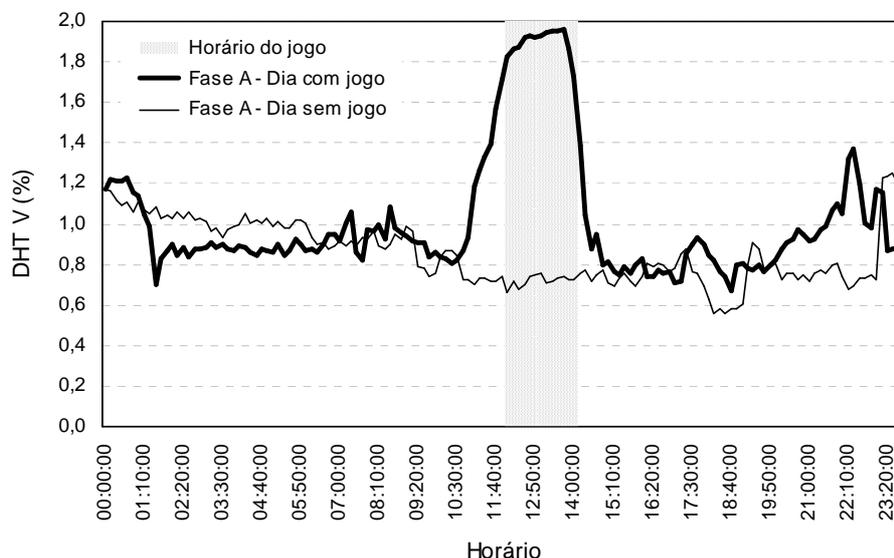


Figura 5 – Distorção Harmônica Total de Tensão

Conforme pode ser observado pela figura 5, durante o horário de transmissão do jogo os valores de *DHTV* crescem substancialmente, apesar do valor máximo registrado estar em total conformidade com os limites adotados em vários países do mundo. O comportamento da Distorção Harmônica Total de Corrente (*DHTI*) está indicado na figura 6.

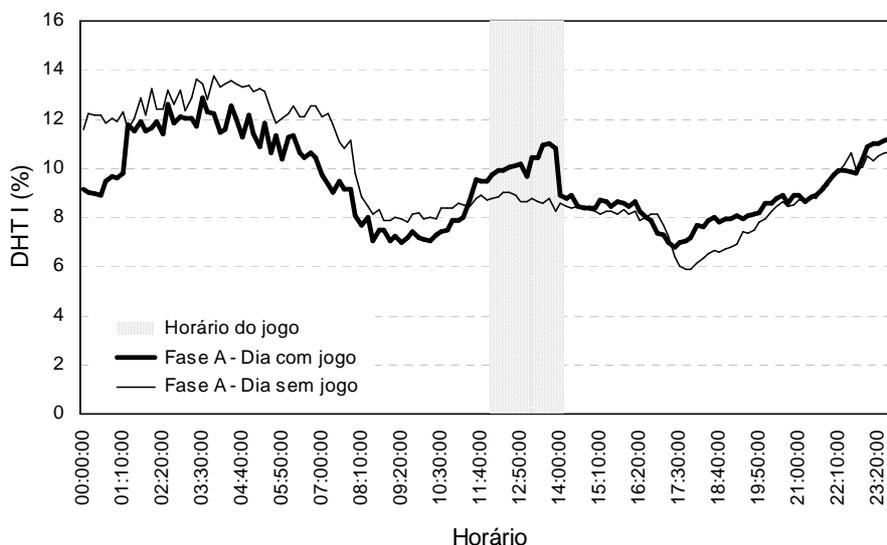


Figura 6 – Distorção Harmônica Total de Corrente

Para o caso da Distorção Harmônica Total de Corrente (*DHTI*), não se observou a mesma amplitude de variação observada para o *DHTV*, de tal forma que durante a transmissão do jogo da Seleção Brasileira no dia 27/06/2006, os valores registrados para este indicador foram apenas sensivelmente superiores, não representando impacto significativo para o sistema elétrico local. Para o caso específico indicado na figura 6, verifica-se também que os valores registrados de *DHTI* quando da

operação da rede elétrica em carga leve, durante o período da madrugada, são os maiores registrados ao longo de todo o dia, mesmo com a transmissão do jogo de futebol.

O comportamento da carga do sistema, representado pelo circuito 138 kV monitorado, está indicado na figura 7 através da corrente fundamental registrada. Pela análise dessa figura, observa-se uma considerável redução de carga durante o horário de transmissão do jogo.

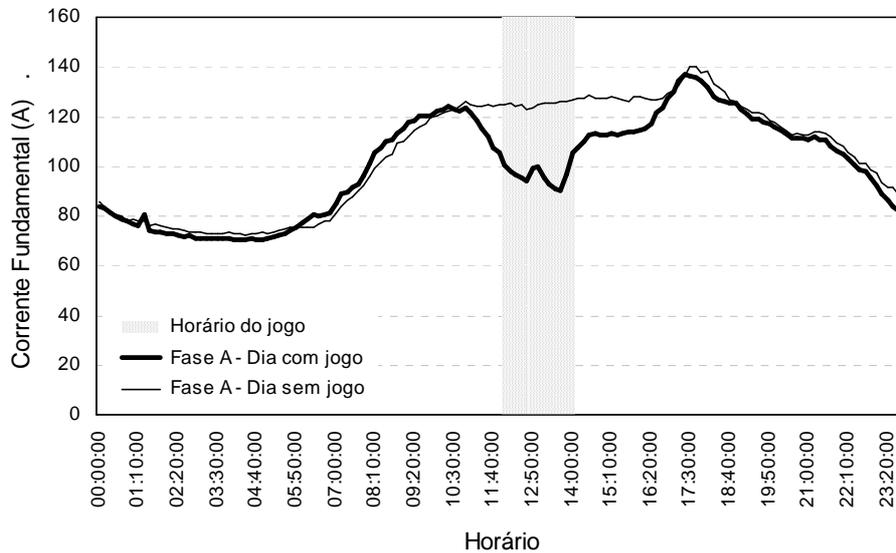


Figura 7 – Comportamento da carga do circuito

A figura 8 apresenta a estratificação das tensões harmônicas individuais registradas ao longo do dia 27/06/2006. Nesse sentido, como pode ser observado, a componente de tensão de 5ª harmônica (300 Hz) é dominante sobre as demais ordens harmônicas. O mesmo pode ser verificado para as correntes harmônicas individuais, conforme mostrado na figura 9.

Considerando-se que os aparelhos de TV, quando analisados individualmente, apresentam uma maior amplitude para as harmônicas de corrente de 3ª ordem, como mostrado na figura 3.b, pode-se supor que a maior parcela desta componente, apesar dos níveis de desequilíbrio observados nas redes de distribuição, fica confinada nas conexões em Delta dos transformadores de distribuição. Ressalta-se ainda que a parcela desta componente, que eventualmente se transfere para o lado de tensões mais elevadas, é de seqüência positiva ou negativa.

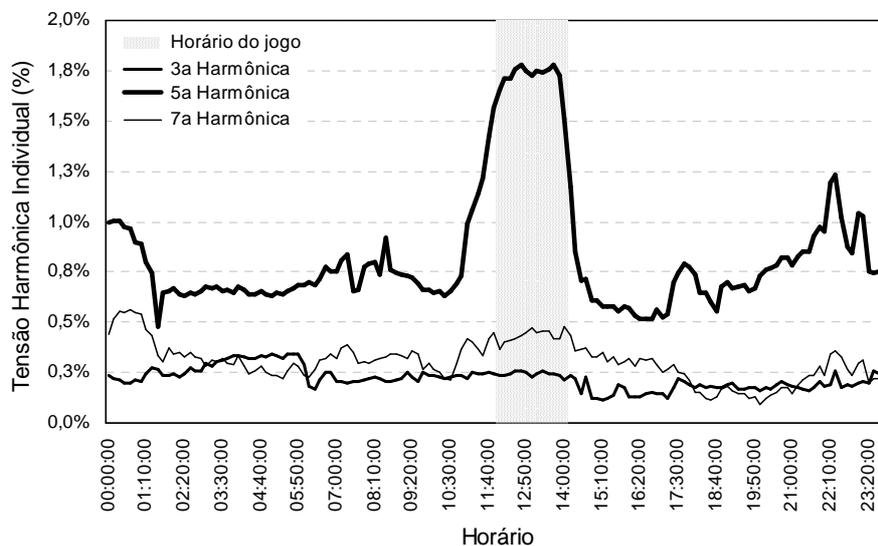


Figura 8 – Tensões harmônicas individuais

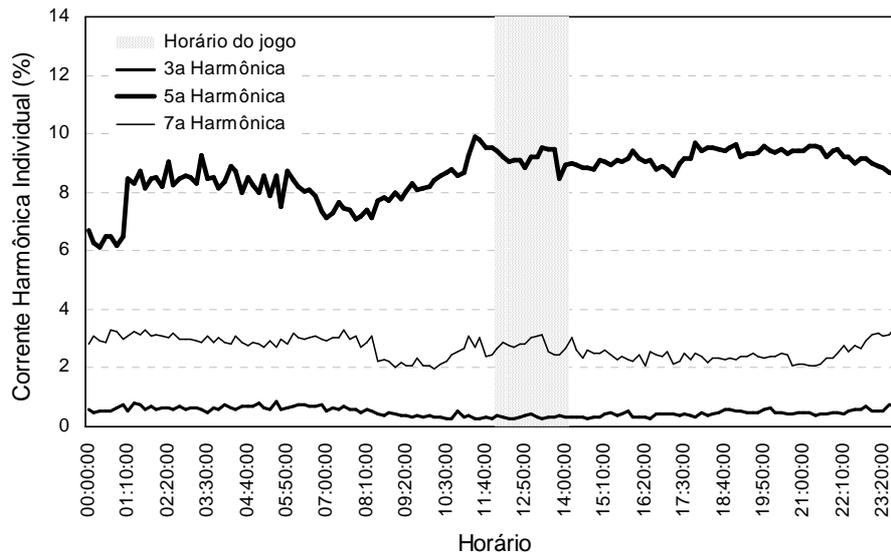


Figura 9 – Correntes harmônicas individuais

No tópico seguinte serão apresentados os resultados da monitoração realizada em um circuito de 138 kV o qual atende parte da cidade de Campo Grande (MS).

B. Resultados da monitoração em Campo Grande (MS)

Os resultados obtidos para a Distorção Harmônica Total de Tensão (*DHTV*), na cidade de Campo Grande (MS), apresentaram basicamente o mesmo comportamento observado na cidade de Vitória (ES), conforme mostrado no tópico anterior. Contudo, as variações da amplitude do indicador foram bastante inferiores, conforme mostrado na figura 10, a seguir.

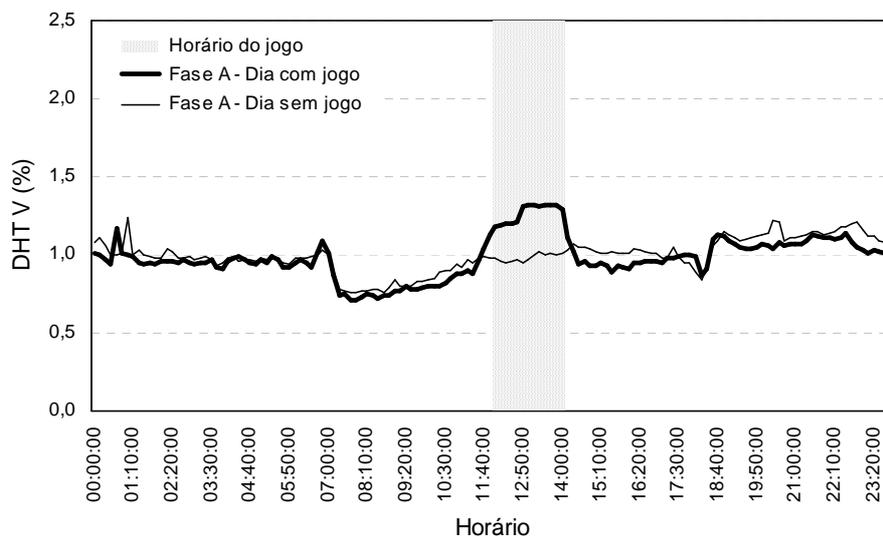


Figura 10 – Distorção Harmônica Total de Tensão

As diferentes topologias das matrizes de impedância, para as frequências harmônicas predominantes, dos circuitos 138 kV monitorados em cada cidade, podem representar um fator importante nas diferenças verificadas nas amplitudes dos indicadores monitorados. O comportamento registrado para a Distorção Harmônica Total de Corrente (*DHTI*) está indicado na figura 11.

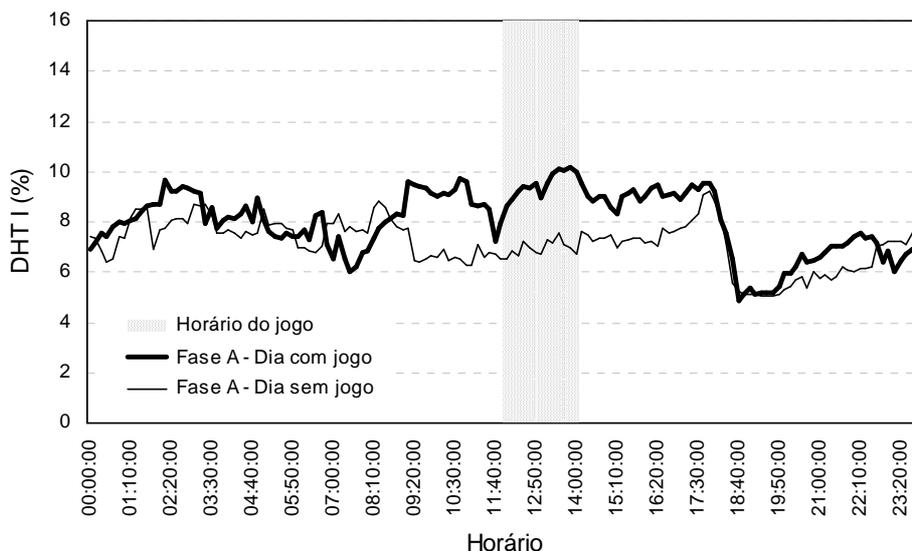


Figura 11 – Distorção Harmônica Total de Corrente

Em relação ao comportamento das componentes harmônicas individuais de tensão e corrente, para a medição de Campo Grande, tem-se que as mesmas apresentaram o mesmo comportamento verificado nas medições de Vitória, com predominância da harmônica de 5ª ordem, tanto para a tensão quanto para a corrente.

C. Resultados da monitoração em Guarulhos (SP)

Os resultados obtidos na monitoração dos indicadores *DHTV* e *DHTI* na cidade de Guarulhos apresentaram um comportamento inverso aos registrados nas cidades de Vitória (ES) e Campo Grande (SP). Assim, para o caso do circuito 138 kV de Guarulhos, a Distorção Harmônica Total de Tensão praticamente não apresentou variações quando da transmissão do jogo do dia 27/06/2006. Por outro lado, a Distorção Harmônica Total de Corrente apresentou variações bruscas quando da transmissão do jogo. As figuras 12 e 13 ilustram o comportamento destes indicadores.

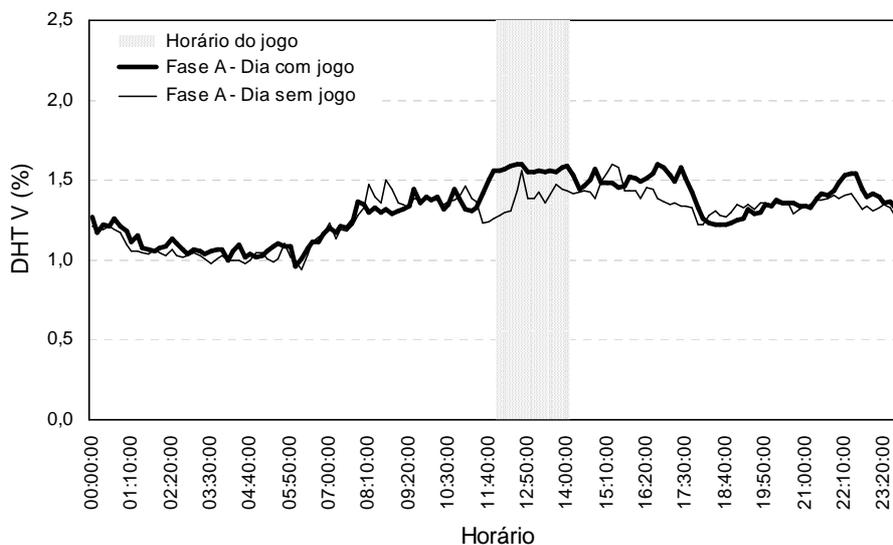


Figura 12 – Distorção Harmônica Total de Tensão

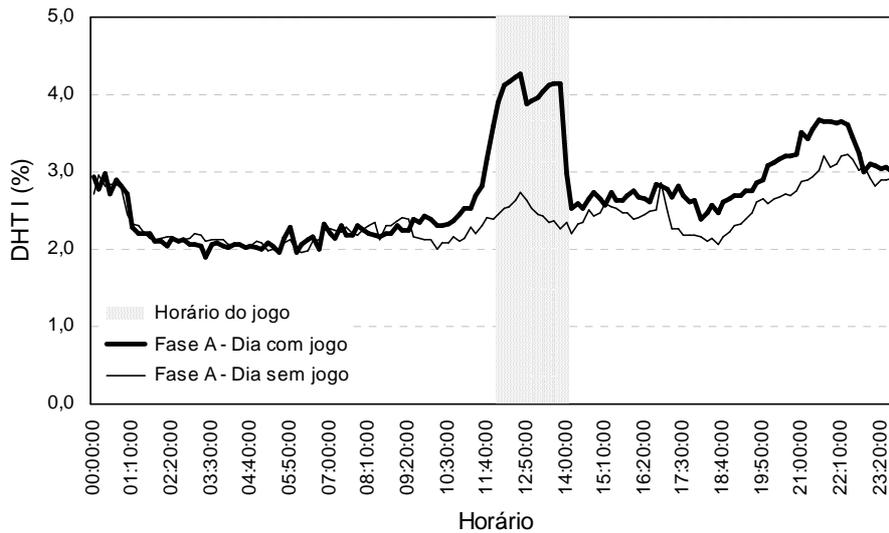


Figura 13 – Distorção Harmônica Total de Corrente

Diferentemente dos resultados obtidos para as medições realizadas em Vitória e Campo Grande, as componentes harmônicas individuais de tensão e corrente, para o caso da cidade Guarulhos, apresentaram uma predominância da componente harmônica de 3ª ordem, durante a transmissão dos jogos, conforme pode ser observado nas figuras 14 e 15, a seguir.

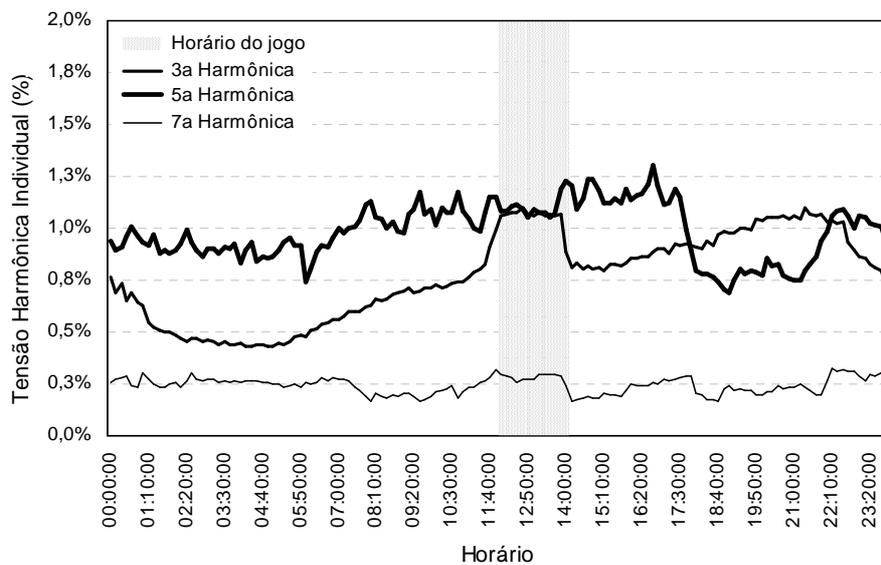


Figura 14 – Tensões harmônicas individuais

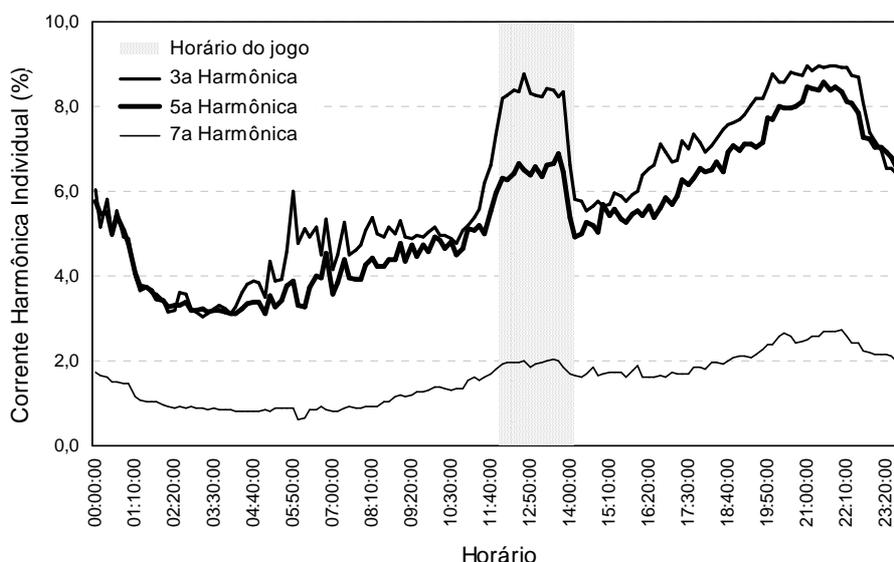


Figura 15 – Correntes harmônicas individuais

Como pode ser observado na figura 14, apenas a componente harmônica de tensão de 3ª ordem apresentou variação brusca durante a transmissão do jogo da Seleção Brasileira de Futebol. Em relação as correntes harmônicas individuais, mostradas na figura 15, tem-se que além da maior variação durante o período do jogo, a componente harmônica de 3ª ordem apresentou também a maior amplitude em relação as demais.

Essa diferença de comportamento, verificada nas medições realizadas em Guarulhos, pode ser explicada pelo fato de que o fornecimento em baixa tensão, para os consumidores daquela cidade, é realizado notadamente através de bancos de transformadores monofásicos com conexão em delta aberto, de tal forma que os níveis de desequilíbrio no sistema tornam-se relativamente expressivos. Assim, as componentes de corrente de 3ª harmônica (predominantes nos aparelhos de TV), apresentam uma maior facilidade para passagem para os níveis de tensão mais elevados, sendo as mesmas nesse caso, predominantemente, de seqüência positiva ou negativa no lado de 138 kV.

Um outro fato importante é que o sistema de 138 kV existente na região de Guarulhos, em São Paulo, é muito mais robusto e malhado que os sistemas em 138 kV das regiões de Vitória (ES) e Campo Grande (MS), o que certamente confere uma característica distinta para a matriz de impedâncias harmônicas do sistema de Guarulhos. Este fato, pelo menos em parte, pode também explicar parte das diferenças verificadas no comportamento dos indicadores.

O tópico seguinte apresentará um resumo comparativo das amplitudes registradas para a Distorção Harmônica Total de Tensão e Corrente em cada uma das três cidades monitoradas.

D. Comparativo das monitorações realizadas

A figura 16, abaixo, ilustra as diferenças, em termos de amplitude percentual, para a Distorção Harmônica Total de Tensão monitorada em cada uma das três cidades objeto deste trabalho. Notadamente, a maior amplitude para esse indicador foi registrada na cidade de Vitória (ES).

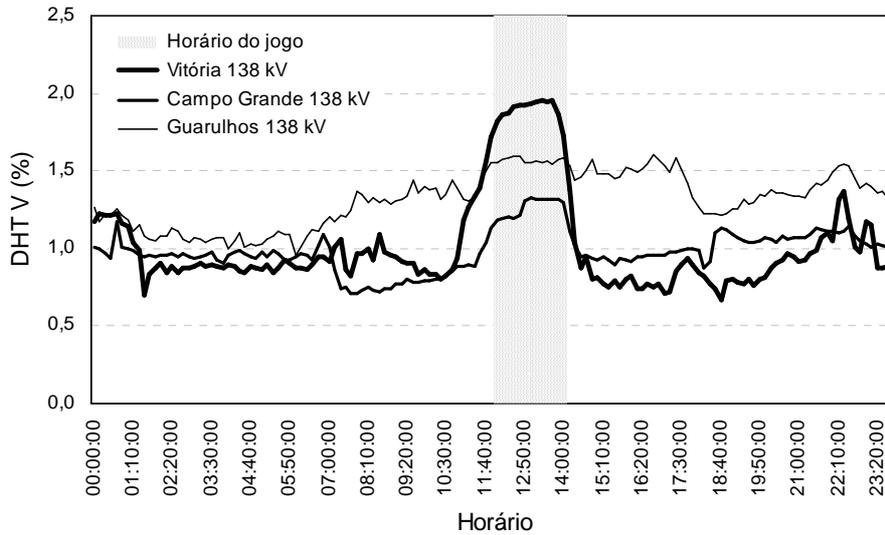


Figura 16 – Distorção Harmônica Total de Tensão

As diferenças, em termos de amplitudes percentuais, para a Distorção Harmônica Total de Corrente são mostradas na figura 17, a seguir.

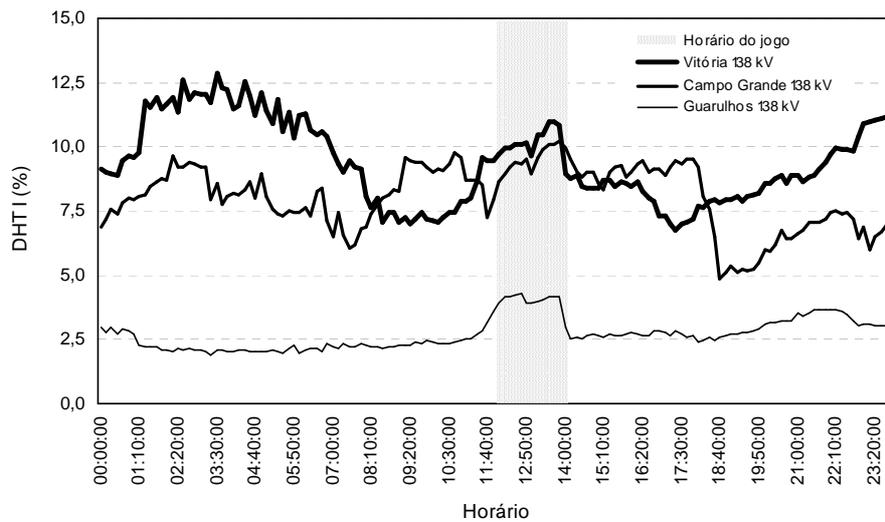


Figura 17 – Distorção Harmônica Total de Corrente

A maior carga, assim como a maior rampa de afundamento de carga durante a transmissão do jogo do dia 27/06/2006, foi também registrada para a cidade de Vitória, conforme mostrado na figura 18.

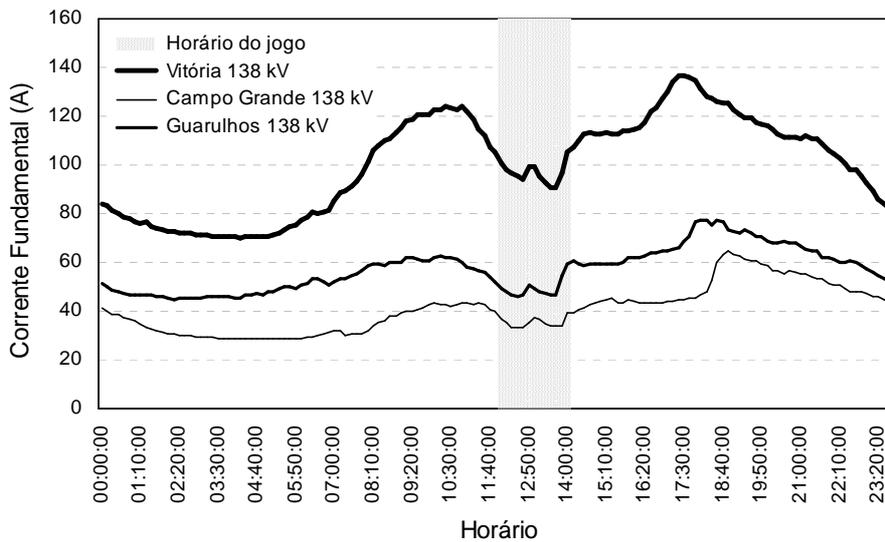


Figura 18 – Comportamento da carga do circuito

Finalmente, para o caso específico da monitoração realizada na cidade de Campo Grande (MS), um resultado não esperado foi observado no comportamento do desequilíbrio de tensão, calculado como sendo a relação entre a componente de tensão de seqüência negativa e a componente de tensão de seqüência positiva, onde este indicador apresentou uma queda brusca em sua amplitude durante o período de transmissão dos jogos da Seleção Brasileira de Futebol na Copa do Mundo 2006.

A figura 19, a seguir, ilustra o comportamento do indicador Desequilíbrio de Tensão durante a transmissão dos jogos da Seleção Brasileira de Futebol nos dias 13/06/2006 e 22/06/2006.

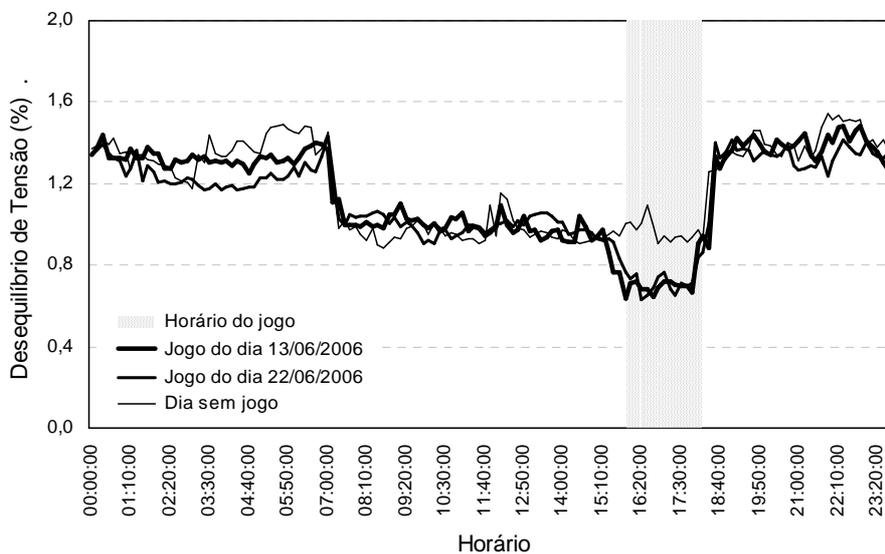


Figura 19 – Comportamento do Desequilíbrio de Tensão

Os demais indicadores associados à Qualidade da Energia Elétrica não apresentaram variações quando da transmissão dos jogos da Seleção Brasileira na Copa do Mundo 2006.

3. Conclusões

O presente trabalho mostrou que a utilização simultânea, e em massa, de aparelhos de TV, como observado durante os jogos da Seleção Brasileira na Copa do Mundo 2006, provoca alterações bruscas nas amplitudes das componentes harmônicas de tensão e corrente nos sistemas elétricos. Contudo, apesar das variações observadas, as amplitudes dessas componentes harmônicas permanecem dentro dos limites aceitáveis.

Foram observados também comportamentos distintos destas componentes harmônicas em cada uma das cidades monitoradas, refletindo a influência da topologia das redes elétricas locais nas amplitudes das componentes harmônicas de tensão e corrente.

4. Referências bibliográficas

- [1] WAKILEH, G. J. "*Power System Harmonics – Fundamental Analysis and Filter Design*", Springer, Germany, 2001.
- [2] RIBEIRO, P.F., FONSECA, L.C., NAVARRO, A., "Measurements and Analysis of Harmonics Due to a Static Compensator Operating in a Long Radial Transmission System (Brazil's Northeast)", III International Conference on Harmonics in Power Systems, September, 1988, Purdue University.