



V SBQEE

Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica

17 a 20 de Agosto de 2003

Aracaju – Sergipe – Brasil



Código: AJU 04 148

Tópico: Análise, Diagnósticos e Soluções

DESEMPENHO DE FILTRO HARMÔNICO EM PLANTA SIDERÚRGICA

Keyla Sampaio Câmara*
COELCE

Ruth Pastôra Saraiva Leão
UFC

Kleber Rodrigues de Andrade Júnior
UFU

RESUMO

Este trabalho apresenta o resultado de medições de tensão e corrente e a avaliação dos níveis de harmônicos individuais e de distorção harmônica total no ponto de conexão da Indústria Siderúrgica Nacional GERDAU com o sistema da Companhia Energética do Ceará (COELCE) e no ponto de entrega em 69 kV da referida indústria. As medições foram realizadas em diferentes condições de operação do forno elétrico a arco visando constatar o desempenho do filtro harmônico passivo instalado na planta da GERDAU, comparando os dados obtidos com os limites adotados pelo IEEE, IEC e ONS. As medições de harmônicos foram efetuadas com e sem o filtro inserido na planta, nos estágios de fusão e de refinamento do forno elétrico.

PALAVRAS-CHAVE

Harmônicos. Filtros de harmônicos passivos. Forno a arco. Diagnóstico.

1.0 - INTRODUÇÃO

Atualmente, problemas envolvendo a qualidade de energia elétrica ocorrem com significativa frequência em função da natureza e sensibilidade dos modernos equipamentos utilizados na automação industrial. Caracteriza-se como um problema de qualidade de energia elétrica qualquer distúrbio ou ocorrência manifestada nos níveis de tensão, nas formas de onda de tensão e/ou corrente que resulte em falha ou má operação de equipamentos ou sistemas elétricos. Os harmônicos causam deformações na forma de onda de um sinal periódico podendo resultar em

má operação, sobreaquecimento, falha ou defeito permanente em equipamentos de um sistema elétrico [1].

Os harmônicos estão associados ao crescente uso de equipamentos de tecnologia da informação, de acionamentos eletrônicos de velocidade variável, e outros dispositivos eletrônicos que fazem uso de interruptores eletrônicos como sistemas de iluminação baseados em lâmpadas de descarga com reatores eletrônicos. Os harmônicos também podem ser causados por cargas não-lineares como transformadores saturados, motores de indução saturados, fornos a arco, dentre outras cargas ditas convencionais. Uma carga não linear drena corrente não senoidal quando alimentada por uma fonte de tensão senoidal [2], [3].

Neste sentido, a proposta deste trabalho é apresentar o resultado de um estudo sobre o desempenho de filtros harmônicos passivos instalados na indústria siderúrgica cearense GERDAU com o objetivo de avaliar o desempenho dos filtros e o comportamento do sistema de distribuição da concessionária mediante a presença de carga perturbadora com e sem a presença de filtro harmônico.

2.0 - HARMÔNICOS EM SISTEMA DE POTÊNCIA

A análise dos efeitos causados pela geração de harmônicos se revela de extrema importância na quantificação dos transtornos causados aos demais consumidores ligados no ponto de acoplamento comum da concessionária de energia elétrica.

* Rua Barão do Rio Branco, 2955 - Centro - CEP 60.025-062 - Fortaleza - CE - BRASIL
Tel.: +55 (085) 216-4106 - FAX: +55 (085) 216-4179 - E-mail: keyla@coelce.com.br

No âmbito do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), o indicador para avaliar o desempenho global quanto a harmônicos nos barramentos da rede básica corresponde aos limites individuais de harmônicos e à distorção harmônica total.

A distorção de tensão harmônica total (DTHT) é definida pela Equação 1[4].

$$DTHT\% = \left(\frac{1}{V_1} \cdot \sqrt{\sum_{h=2}^N V_h^2} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Em que:

- V_h é o valor RMS da tensão harmônica de ordem h
- V_1 é a tensão RMS da componente fundamental
- N é a ordem máxima do harmônico – para o ONS $N = 50$.

A expressão que mensura a distorção de corrente harmônica total é semelhante a da Equação 1, com valores de corrente invés de tensão.

2.1 - Critérios de limitação de distorção harmônica de corrente e tensão

Para definição dos limites individuais e globais de harmônicos além da experiência de inúmeros países foram agregados resultados de simulações e medições de perturbações, especialmente pelas empresas e órgãos regulamentadores do setor elétrico brasileiro.

A seguir são apresentados os limites de distorção harmônica segundo o ONS, IEEE e IEC.

Os limites aceitáveis segundo o ONS para as tensões harmônicas individuais e distorção de tensão harmônica total (DTHT) estão representados na Tabela 1 [4].

Tabela 1. Limites individuais e globais de tensão.

Tensão ≥ 69 kV				Tensão < 69 kV			
Ímpares		Pares		Ímpares		Pares	
Ordem	Valor	Ordem	Valor	Ordem	Valor	Ordem	Valor
3, 5, 7	2 %			3, 5, 7	5 %		
		2, 4, 6	1 %			2, 4, 6	2 %
9, 11, 13	1,5 %			9, 11, 13	3 %		
		≥ 8	0,5 %			≥ 8	1 %
15 a 25	1 %			15 a 25	2 %		
≥ 27	0,5 %			≥ 27	1 %		
DTHT = 3 % da tensão fundamental				DTHT = 6 % da tensão fundamental			

Os limites estabelecidos pelo ONS devem ser entendidos como níveis de compatibilidade e não devem ser excedidos em nenhum ponto do sistema elétrico. Os limites são aplicáveis à conexão de consumidores com cargas que provocam distorções harmônicas em sistemas de transmissão e sub-transmissão.

As recomendações do IEEE 519-1992 oferecem orientação para concessionárias e seus consumidores.

Os procedimentos estabelecidos nesta norma são destinados a limitar as correntes harmônicas dos consumidores individuais e equipamentos, de modo que os níveis de tensões harmônicas no sistema de potência como um todo seja aceitável.

Nas Tabelas 2 e 3 constam os valores limites de distorção de tensão e corrente recomendados pela IEEE Std.519-1992 [5].

Tabela 2. Limite percentual de distorção de corrente para sistema de distribuição (120 a 69000 V).

Isc/I _L	< 11	11 ≤ h h < 17	17 ≤ h h < 23	23 ≤ h h < 35	DIHT
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,05	20,0

Onde:

- I_{sc} é a corrente máxima de curto-circuito no ponto de acoplamento
- I_L é a média da máxima corrente de demanda de carga no ponto de acoplamento
- DIHT é a distorção de corrente harmônica total de corrente
- Os harmônicos pares estão limitados a 25% dos limites dos harmônicos ímpares imediatamente superior.

A concessionária deve utilizar para as suas análises, os valores limites de distorção individual de tensão da Tabela 3.

Tabela 3. Valores limites de distorção de tensão para concessionária.

Tensão de Barra	Limite individual distorção (%)	DTHT (%)
≤ 69kV	3,0	5,0
115 kV a 161 kV	1,5	2,5
> 161 kV	1,0	1,5

A concessionária é responsável pelo controle da distorção de tensão no ponto de entrega. Para a maioria dos sistemas (abaixo de 69 kV), a DTHT deve ser menor que 5%. Isto significa que a concessionária deve assegurar que as condições de carga do sistema não resultem em níveis de distorção de tensão fora dos limites, mesmo que todos os seus consumidores estejam dentro dos valores de geração de correntes harmônicas recomendados [5].

A Tabela 4 indica os Níveis de Compatibilidade de Tensões Harmônicas pares e ímpares, triplas e não triplas, para sistemas de baixa tensão (BT), média tensão (MT) e alta tensão (AT), estabelecidos pela norma IEC 61000-3-2 [6].

Tabela 4. Níveis de compatibilidade de tensões harmônicas.

Harmônicos Ímpares						Harmônicos Pares		
Não triplas			Triplas			Ordem h	Harmônicos tensão %	
Ordem h	Harmônicos de tensão %		Ordem h	Harmônicos de tensão %			BT - MT	AT
	BT - MT	AT		BT - MT	AT			
5	6	2	3	5	2	2	2	2
7	5	2	9	1,5	1	4	1	1
11	3,5	1,5	15	0,3	0,3	6	0,5	0,5
13	3	1,5	21	0,2	0,2	8	0,5	0,5
17	2	1	> 21	0,2	0,2	10	0,2	0,2
19	1,5	1				12	0,2	0,2
23	1,5	0,7				> 12	0,2	0,2
25	1,5	0,7						
> 25	0,2+	0,2+						
	1,3 (25/h)	0,5 (25/h)						

Limite de TDH = 8% para sistema BT-MT

3.0 - FORNOS A ARCO

Os fornos a arco são equipamentos usados no processo de fundição e refinamento de metais, principalmente ferro, na produção de aço.

Os fornos a arco direto (arco entre os três eletrodos verticais e a carga de resíduos) são os mais empregados para a produção do aço, em que a temperatura do arco pode alcançar 3000°C e até mais [7].

Os fornos elétricos possuem três estágios distintos de operação. O primeiro destes é o estágio no qual o arco elétrico é iniciado. Este é realizado baixando os eletrodos na caldeira com sucata de aço. O segundo é o estágio de fusão, no qual o arco aplicado aquece a superfície da caldeira, e o caminho da corrente na caldeira resulta no aquecimento por I^2R . Neste estágio a corrente em geral é bastante alta e a forma de onda da corrente bastante irregular e randômica, visto que os caminhos da corrente são rapidamente alterados. No 1º e 2º estágios a sucata de ferro é fundida. O terceiro estágio é chamado estágio de refinamento. Neste estágio, os materiais contidos na caldeira atingem estado pastoso. Aquecidos à alta temperatura, o conteúdo espúrio fica concentrado no fundo, no topo da caldeira, ou é vaporizado. No estágio de refinamento são introduzidos aditivos ao metal fundido.

Os harmônicos produzidos por fornos elétricos a arco para produção de aço são imprevisíveis devido à variação do arco nos vários estágios de operação do forno, em particular no início da fusão. O espectro de frequências é contínuo denotando a presença de harmônicos e interharmônicos. Entretanto, os harmônicos de baixa ordem, entre 2ª e 7ª ordem, predominam sobre os de ordem não inteira. À medida que o estágio de fusão avança, o arco torna-se mais

estável, com correntes mais próximas de regime com menos distorções e menos harmônicas [5].

A Tabela 5 ilustra o conteúdo típico da corrente de forno a arco nos estágios de fusão e de refino [5].

Tabela 5. Conteúdo harmônico típico de corrente de forno a arco.

Estágios de Operação	Correntes harmônicas % da fundamental				
	Ordem dos harmônicos				
	2	3	4	5	7
Início da fusão	7,7	5,8	2,5	4,2	3,1
Refino	0,0	2,0	0,0	2,1	0,0

A Siderúrgica Cearense GERDAU, alimentada em 69kV pela Companhia Energética do Ceará (COELCE), possui uma potência nominal instalada de 36 MVA e tem como principal carga dois fornos elétricos alimentados por dois transformadores de 2,5MVA cada, em paralelo.

Em 1988 a GERDAU instalou em sua planta filtros passivos em decorrência de perturbações na própria planta e no sistema COELCE. Em 2002 um novo diagnóstico foi realizado na planta GERDAU com o propósito de avaliar as condições da instalação do filtro no tocante à presença de harmônicos e ao desempenho do filtro, cujo resultado é apresentado neste artigo.

4.0 - FILTROS DE HARMÔNICOS

Filtro é um circuito projetado para selecionar frequências de modo a permitir a passagem de sinais em uma dada frequência (filtro sintonizado) ou faixa de frequências (filtro de banda) e bloquear ou introduzir atenuação considerável para outras frequências. Um filtro passivo caracteriza-se pelo uso tão somente de elementos passivos, resistores, indutores e capacitores, no processo de filtragem de sinais. Os filtros passivos têm tradicionalmente sido usados para absorver correntes harmônicas geradas por grandes cargas industriais devido ao baixo custo e alta eficiência.

Existem quatro tipos diferentes de filtros de harmônicos passivos: *notch* ou corte (indutor em paralelo com o capacitor), 1ª ordem (capacitor em série com resistor), 2ª ordem (resistor em paralelo com indutor e ambos em série com capacitor), 3ª ordem (resistor em série com capacitor, ambos em paralelo com o indutor, e todos em série com o capacitor) [8].

Os filtros de harmônicos além de reduzir os problemas dos harmônicos podem ser usados para melhorar o fator de potência, reduzir a corrente de retorno pelo neutro, minimizar o impacto dos harmônicos nos transformadores de distribuição, e liberar capacidade de distribuição [9].

Os filtros em plantas industriais são utilizados principalmente quando há necessidade de limitar componentes de correntes harmônicas individuais, controlar os níveis de distorção harmônica total de modo a não causar distorções na tensão no ponto de conexão, e eliminar ressonâncias.

5.0 - MONITORAMENTO DOS HARMÔNICOS

O instrumento utilizado para o monitoramento de harmônicos na planta Siderúrgica da GERDAU foi o aparelho 3720 ACM da *Power Measurement*, projetado para uso na indústria, comércio e concessionárias de distribuição [10]. O aparelho 3720 ACM opera com um software para processamento de informação em tempo real, denominado MSCADA. O aplicativo MSCADA possui um sistema de diagramas que pode ser usado para mostrar os dados em tempo real usando gráficos coloridos com os unifilares da instalação de cada local monitorado.

Com o analisador de distúrbios 3720 ACM foram medidos espectro de frequência da corrente, magnitude de tensão e corrente harmônicas, DTHT e DIHT, formas de onda de tensões e correntes nas subestações da COELCE e da GERDAU, para as condições de operação com filtro desligado e filtro ligado, e ainda nos estágios de fusão e refino do forno elétrico.

As medições para análise do desempenho do filtro foram realizadas no período da manhã no intervalo de maior demanda da planta.

6.0 – ESPECIFICAÇÃO E APLICAÇÃO FILTRO HARMÔNICO PASSIVO - ESTUDO DE CASO

6.1 Descrição das SE Gerdau e DID II

A Subestação Distrito Industrial II (SE DID II) da COELCE possui dois transformadores de 20/26,6 MVA, em 69/13,8kV, alimentando dez consumidores do grupo A dentre eles a GERDAU, alimentada por uma saída de linha em 69kV.

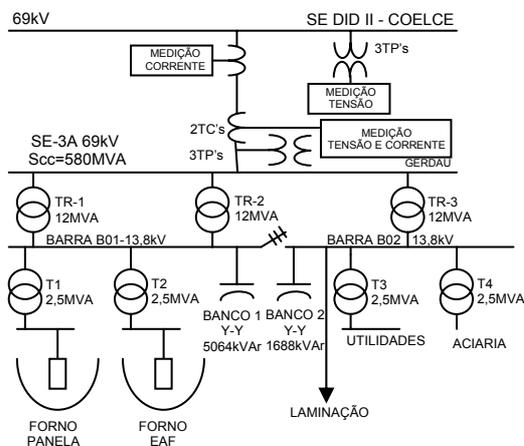


Figura 2: Diagrama Unifilar Simplificado do Sistema de Alimentação da GERDAU

A SE GERDAU dispõe de três transformadores de 12/15MVA, 69/13,8kV, Δ -Y aterrada, os quais alimentam uma barra seccionada de 13,8 kV e cargas como fornos, laminação e aquecedor indutivo, bancos de capacitores, aciaria, utilidades e escritório. Na Figura 2 é apresentado o diagrama unifilar simplificado da SE GERDAU.

Os transformadores TR-1 e TR-2 suprem a barra perturbadora B01 em 13,8 kV que alimenta somente cargas não lineares como o forno elétrico a arco para fusão do material, denominado EAF (*Electric Arc Furnace*), e o forno elétrico tipo Painela para refino, objetos do estudo. O transformador TR-3 supre a barra B02 de 13,8 kV que alimenta cargas também produtoras de correntes harmônicas, porém de menor impacto.

Na barra B01 está instalado com o banco de capacitor BC-1 um filtro de frequência de sintonia de 270Hz, e na barra B02 outro filtro de 306Hz instalado no banco de capacitores BC-2.

6.2 Especificação técnica dos filtros

O filtro passivo instalado na planta da GERDAU foi projetado e instalado por uma empresa de consultoria contratada pela GERDAU. A empresa de consultoria realizou medição de corrente e de suas harmônicas nos circuitos de alimentação do forno elétrico EBT, forno painela e laminação.

Com base no espectro de correntes medidas, a empresa de consultoria realizou simulação computacional utilizando o software SABER encontrando valores de DTHT na barra em 69kV de 12,84%, e nas barras em 13,8kV, B01 e B02, DTHT de 31,05% e 24,42%, respectivamente. Conforme Tabelas 1 e 3 os valores calculados de DTHT violam os limites estabelecidos pelo ONS e IEEE. A simulação mostrou ainda condição de ressonância para as harmônicas de 5ª e 6ª ordem [11].

Para o projeto do filtro a empresa consultora utilizou as expressões 2-4 que definem a indutância L_F , o fator de qualidade Q , e a resistência R do filtro.

$$L_F = \frac{1}{C \cdot (377 \cdot n)^2} \quad (2)$$

Onde:

- L_F é indutância do filtro para o harmônico de ordem n
- C a capacitância do banco de capacitores [μF]
- n a ordem harmônica de sintonia

$$Q = \frac{377 \cdot n \cdot L_F}{R} \quad (3)$$

$$R = \frac{377 \cdot n \cdot L_F}{Q} \quad (4)$$

Os parâmetros especificados para o filtro passivo da GERDAU são apresentados na Tabela 6 [9].

Tabela 6. Especificação dos filtros da SE GERDAU.

Parâmetros dos filtros passivos sintonizados		
Local a ser instalado	Barra B01	Barra B02
Tipo do filtro	270 Hz ordem 4,5	306 Hz ordem 5,1
Potência B. Capacitor	5,064 Mvar	1,688 Mvar
Conexão B. Capacitor	DuplaY isolada	Dupla Y isolada
V isolamento do banco	16,45 kV _{RMS}	16,45 kV _{RMS}
Corrente carregamento	250 A _{RMS}	250 A _{RMS}
Capacitância (C)	70,53 µF	23,51 µF
Valor da indutância (L)	4,95 mH	11,44 mH
Varição do indutor	±10%, 10 tapes	±10%, 10 tapes
V isolamento indutor	16 kV _{RMS}	16 kV _{RMS}
I carregamento indutor	250 A _{RMS}	110 A _{RMS}
Quantidade de indutor	03 (1 por fase)	03 (1 por fase)
Valor resistência (R)	0,21 Ω	0,55 Ω
V isolamento resistor	16 kV _{RMS}	16 kV _{RMS}
I carregamento resistor	250 A _{RMS}	110 A _{RMS}
Quantidade de resistor	03 (1 por fase)	03 (1 por fase)

Ainda que diferentes configurações de filtros sejam possíveis, a topologia dos filtros instalados é do tipo RLC série, ambos conectados em paralelo nas barras B01 e B02. A topologia dos filtros instalados na SE GERDAU está representada no diagrama da Figura 3.

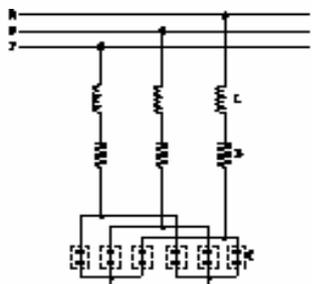


Figura 3: Arranjo físico de conexão dos filtros da SE GERDAU.

Após a instalação dos filtros verificou-se, segundo a empresa consultora, uma redução de até 90% nos valores de DTHT calculados, de onde se conclui que os filtros exerceram uma ação mitigadora nos harmônicos mostrando-se, portanto, eficazes.

7.0 – ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS FILTROS HARMÔNICOS NA SE GERDAU

As medições deste estudo realizadas em abril/2002 foram feitas em duas etapas distintas: medições efetuadas no secundário dos TC e TP de 69 kV na SE GERDAU, no ponto de entrega, e na SE DID II, no ponto de conexão. As medições

nas duas subestações foram realizadas para as condições de operação do forno a arco nos estágios de fusão e refinamento, com e sem a inserção do filtro passivo para cada estágio de operação.

Com o valor de potência medido na barra de 69kV na SE GERDAU igual a S=19,7MVA na condição de demanda máxima, a corrente de carga da instalação foi calculada em I_L=164,84A. Para valores de corrente de curto circuito trifásico na SE DID II e GERDAU de I_{CC}=8.213,02A e I_{CC}=6.946,86A, respectivamente, a relação I_{CC}/I_L, calculada foi de 49,80 para a barra da SE DID II e 42,14 para a barra da GERDAU.

As Figuras 4 a 7 apresentam um resumo das medições realizadas na SE DID II e SE GERDAU em 69kV para avaliação do desempenho dos filtros da siderúrgica GERDAU. Os diferentes estágios de avaliação estão representados pelos grupos: FSF - fusão sem filtro, RSF - refinamento sem filtro, FCF - fusão com filtro, e RCF - refinamento com filtro.

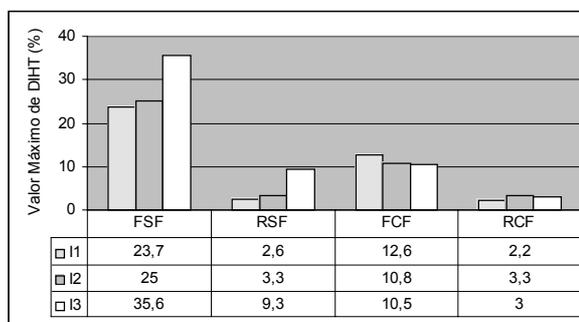


Figura 4 - Valores de DIHT de correntes de linha na SE DID II.

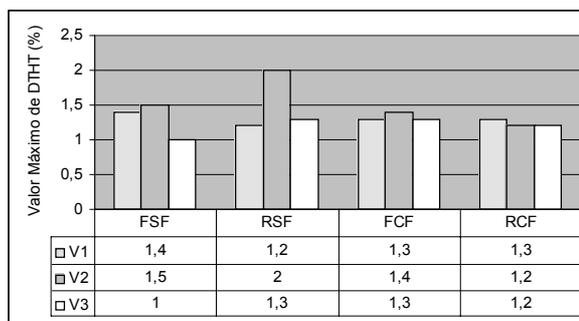


Figura 5 - Valores de DTHT de tensões de linha na SE DID II.

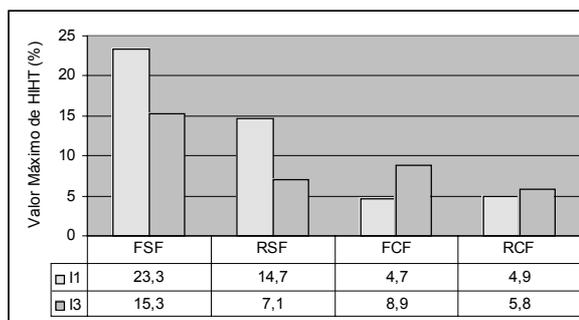


Figura 6 - Valores de DIHT de correntes de linha na SE GERDAU.

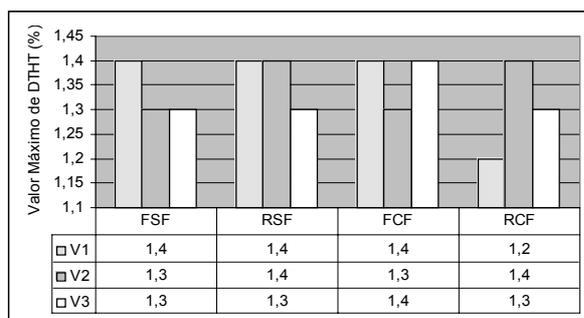


Figura 7 - Valores de DTHT de tensões de linha na SE GERDAU.

Pelos gráficos apresentados verifica-se um desequilíbrio na tensão e corrente nos dois pontos de medição (SE DID II e SE GERDAU), e ainda que no estágio de fusão a distorção da corrente é bem maior que no refino, exercendo o filtro uma mitigação significativa nos diferentes estágios de operação.

Segundo a recomendação do IEEE 519, o limite de DIHT para valor de I_{CC}/I_L entre 20 e 50 é de 8%, e para distorções individuais de corrente $h < 11$, o limite de corrente é igual a 7%. Para DTHT o limite é de 5% e o limite individual é de 3%. Segundo o ONS o limite de DTHT é de 3% e o limite individual para $h \leq 7$ é de 2%.

Com base nas medições não foi verificada violação na distorção de tensão harmônica total. No entanto, verificou-se violação de DIHT mesmo na condição de operação com filtro (Figura 4 e 6) violando as recomendações de 8% do IEEE.

Para as distorções individuais de corrente houve violação para a componente de 3ª ordem na condição FSF e RSF com valores máximos medidos de 13% e 10,9% na SE GERDAU. Na SE DID II o valor máximo medido no estágio FSF para a componente de 5ª ordem foi de 7,2% e o valor máximo medido no estágio FCF para a componente de 3ª ordem foi de 7,8%, em todos os casos violando as recomendações do IEEE de 7% [2].

8.0 – CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentadas as medições de harmônicos nas instalações do sistema COELCE e GERDAU visando verificar o desempenho dos filtros harmônicos na melhoria da qualidade de energia.

Concluiu-se que o forno a arco apresenta valores de DHT diferenciados para os diferentes estágios de operação, sendo a fusão o mais solicitante, e com violação de limites.

As medições realizadas comprovam que o forno no estado de fusão, sem a conexão dos filtros de harmônicos passivos, resultou em DIHT de corrente na ordem de 35,6% valor máximo, e no processo de refinamento, carga leve, também sem a conexão do filtro, DIHT na ordem de 9,3% máximo, violando o estabelecido pelo IEEE-519 de 8%.

A aplicação de filtros passivos contribuiu para a mitigação de harmônicos de corrente minimizando os efeitos provocados no sistema elétrico da concessionária.

Há de se notar que as medições para análise do desempenho do filtro, embora realizadas no período de maior demanda da planta, os valores apresentados não são representativos de uma campanha de medição de 1 dia (24 horas) e sete dias consecutivos. Portanto, as violações podem representar situações pontuais. Contudo, Neste trabalho está evidente a eficácia dos filtros harmônicos passivos na mitigação das distorções harmônicas tendo em vista a eficiência técnica, a simplicidade na engenharia e a praticidade de montagem.

O Operador Nacional do Sistema até então estabelece os níveis aceitáveis de distorções de tensão, definindo responsabilidades e em breve deve ser regulamentada a cobrança de multa por este tipo de perturbação excedente aos limites estabelecidos.

9.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DUGAN, Roger at al. Electrical Power System Quality. ISBN 0-07-018031-8. McGraw-Hill, 1996.
- [2] CÂMARA, K.S. Desempenho de Filtro Harmônico Passivo em Planta Siderúrgica. 2002. Monografia. Universidade de Fortaleza.
- [3] KASSICK, E.V. Harmônicas em Sistemas Industriais de Baixa Tensão. Universidade de Santa Catarina. Florianópolis. p. 107, set, 1997.
- [4] Operador Nacional de Sistema Elétrico ONS. Procedimentos de Rede. Submódulo 2.2 – Padrões de Desempenho da rede Básica. P.11-13, out, 2000; Submódulo 3.8 – Requisitos Técnicos para a conexão à Rede Básica. P. 20-21, abril, 2001.
- [5] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. Industry Applications Society/Power Engineering Society. Std 519. p. 76-79, April, 1992.
- [6] IEC Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment. Part 3, Section 2: Harmonic. Publication 61000 -3 -2. P.26-27, 1995.
- [7] STASI, Luigi di Forni Elettrici traduzido por Engº. Leonardo T. Leme. Fornos Elétricos. São Paulo. Hemus, p. 3-13, 1981.
- [8] KUSKO, A. Design of Power Harmonic Filters. Power Quality Proceedings. Paris, France. pp. 339-346, November, 1990.
- [9] TRIEL Projetos e Montagens Ltda. Sobreensões Harmônicas e Especificação Básica de Filtros. Relatório de Estudo da Subestação GERDAU da siderúrgica do Ceará. São Paulo. p.27, março, 1998.
- [10] User Manual 3720 ACM da Power Measurements. Power Measurement. MRP 70000-0004 Canadá, 230p, 1994.
- [11] WALLER'S, Mark. Harmonics. A field Handbook for the professional and the novice. Prompt. p.132, 1994.