



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005
Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 06 7593
Tópico: Fontes de Distúrbios

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DE REATORES ELETRÔNICOS UTILIZADOS EM LÂMPADAS FLUORESCENTES TUBULARES

PAULO ANDRÉ C. XAVIER * ANÉSIO DE LELES F. FILHO MARCO A. G. DE OLIVEIRA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

RESUMO

Este artigo apresenta o estudo realizado com duas categorias de reatores eletrônicos utilizados para acionar duas lâmpadas fluorescentes tubulares do tipo T8. Utilizando-se uma fonte de tensão harmônica, os reatores foram submetidos a diferentes cenários de tensão, buscando-se reproduzir condições operativas próximas àquelas encontradas na prática. Foram levantadas as características elétricas e de distorção harmônica da corrente e os resultados foram confrontados com os valores declarados pelos fabricantes. Constatou-se que os parâmetros elétricos estão de acordo com as especificações e verificou-se grande semelhança entre os índices de distorção harmônica em equipamentos pertencentes a uma mesma categoria, apresentando características de superposição bem definidas [1].

PALAVRAS-CHAVE

Reator eletrônico, lâmpada fluorescente tubular, fator de potência, distorção harmônica total.

1.0 INTRODUÇÃO

Ao longo dos tempos, grandes esforços foram realizados para produzir sistemas de iluminação

mais eficientes e que pudessem substituir o sistema convencional, baseado na utilização de lâmpadas incandescentes. As lâmpadas de descargas a gás, particularmente, lâmpadas fluorescentes, surgiram na década de 1930 como uma possível solução para este propósito.

As lâmpadas fluorescentes precisam de um equipamento adicional para funcionarem de forma adequada, denominado reator, que possui duas funções principais: fornecer um nível de tensão adequado para a ignição e limitar a corrente durante a operação em regime.

Os primeiros reatores desenvolvidos foram os reatores eletromagnéticos. Baixa eficiência, baixo fator de potência, peso elevado, cintilação e presença de ruído audível são algumas de suas deficiências.

Com o aumento no nível de exigência por parte das Empresas Geradoras de Energia, no que tange à qualidade da energia elétrica, e pelos consumidores, que buscam sistemas de iluminação mais eficientes e com alto nível de conforto, foram desenvolvidos os reatores eletrônicos, que trouxeram melhorias em relação às principais deficiências presentes nos reatores eletromagnéticos.

Neste trabalho são estudados dois grupos de reatores eletrônicos encontrados à venda no comércio local e amplamente empregados em ambientes residenciais e comerciais:

- Reatores com baixo FP e alta DHT; e
- Reatores com alto FP e baixa DHT.

São avaliadas as características elétricas gerais e a distorção harmônica da corrente, para diferentes cenários de tensão de alimentação, além de um estudo sobre as características de superposição da corrente quando vários reatores são alimentados por um mesmo sistema.

No Brasil, com um processo de certificação compulsória, exige-se que, a partir de 2003, os reatores eletrônicos atendam às normas brasileiras relativas aos requisitos de segurança e desempenho (NBR 14417, NBR 14418) [2].

A Portaria N° 188 do INMETRO [3] proibiu a comercialização de reatores eletrônicos que possuem baixo fator de potência e consumo superior a 56 W a partir do dia 1° de janeiro de 2005.

2.0 METODOLOGIA

Para o estudo dos reatores eletrônicos foram necessárias etapas que envolveram: a determinação do objeto, a forma de aquisição das amostras e a realização dos ensaios.

2.1 Determinação do objeto

Partindo de uma proposta de trabalho que consistiu em obter as principais características dos reatores eletrônicos mais utilizados em ambientes residenciais e comerciais, disponíveis no comércio local, foi estabelecido que os reatores a serem estudados seriam os projetados para acionar duas lâmpadas fluorescentes tubulares do tipo T8, com potência de 32W cada.

2.2 Forma de aquisição das amostras

Foram adquiridas 3 amostras de reatores com baixo FP e alta DHT para cada fabricante, num total de 10 fabricantes, totalizando 30 reatores. A aquisição foi realizada no comércio local da Quadra 109/110 Sul, em Brasília-DF, em dezembro de 2003.

Para o estudo dos reatores eletrônicos com alto FP e baixa DHT, devido à ausência deste tipo de

reator no comércio local, na época da pesquisa, foram utilizadas quatro marcas obtidas pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília, junto aos fabricantes. Para cada marca foram coletadas 3 amostras, totalizando 12 reatores.

2.3 Realização dos ensaios

Foram ensaiados todos os reatores, individualmente e agrupados por fabricante, em condições de alimentação diversas, e os valores referentes a cada conjunto lâmpada+reator foram coletados e puderam ser analisados.

3.0 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Para a aquisição dos dados foi utilizada a fonte de alimentação da *California Instruments – série iX*, que possibilita ao pesquisador a definição da forma de onda da tensão de saída, além de possuir módulos de medição e gravação integrados. A aquisição dos dados foi dividida em duas etapas principais:

- Aquisição com alimentação senoidal pura; e
- Aquisição com alimentação distorcida.

Numa primeira etapa cada reator foi ensaiado de forma individual, conforme o esquema ilustrado na figura 3.1. Foi calculada a média aritmética por fabricante para cada grandeza analisada.

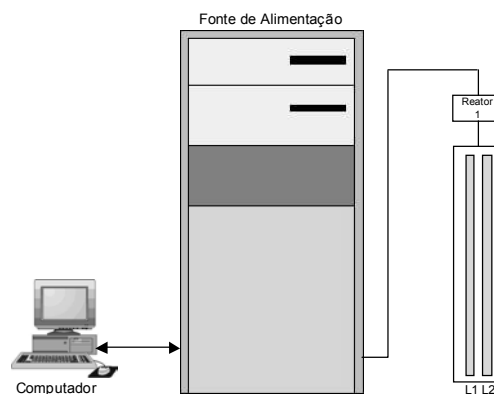


Figura 3.1 – Esquema de ligação dos reatores de forma individual

Numa segunda etapa, os 3 reatores pertencentes a um mesmo fabricante foram ligados simultaneamente com o objetivo de verificar se as características de superposição eram mantidas (figura 3.2). Os valores obtidos foram tratados de forma a estimar o valor médio por fabricante.

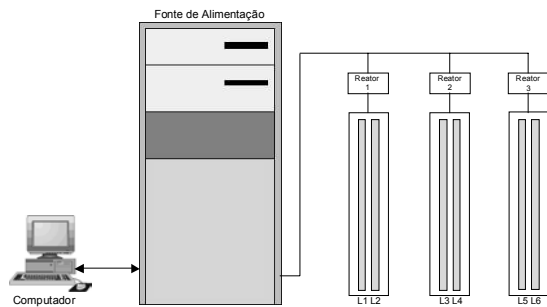


Figura 3.2 – Esquema de ligação dos reatores de forma conjunta

3.1 Aquisição com alimentação senoidal pura

Para a obtenção dos valores referentes à corrente, à potência ativa, à potência aparente e ao fator de potência, além do conteúdo harmônico da corrente, os reatores foram submetidos a uma tensão puramente senoidal, com amplitude igual a 220V, na frequência fundamental - 60Hz.

3.2 Aquisição com alimentação distorcida

Na análise com alimentação distorcida foram gerados 14 cenários de tensão distintos (tabela 3.1). Todos os equipamentos foram alimentados com essas tensões distorcidas e o conteúdo harmônico da corrente foi obtido para cada caso, gerando um perfil de comportamento para cada marca de reator analisado.

Tabela 3.1 – Cenários de tensões distorcidas

Cenário	Tensão Fundamental	Resistência Harmônica 3	Resistência Harmônica 5	Resistência Harmônica 7	Resistência Harmônica 11
1	100%	5%	-	-	-
2	100%	-	5%	-	-
3	100%	-	-	5%	-
4	100%	-	-	-	5%
5	100%	5%	5%	-	-
6	100%	5%	5%	5%	-
7	100%	5%	5%	5%	5%
8	100%	10%	-	-	-
9	100%	-	10%	-	-
10	100%	-	-	10%	-
11	100%	-	-	-	10%
12	100%	10%	10%	-	-
13	100%	10%	10%	10%	-
14	100%	10%	10%	10%	10%

4.0 ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise das características elétricas são apresentados os gráficos da corrente, da potência ativa, da potência aparente e do fator de potência. Para a análise das características de distorção harmônica de cada marca em estudo é apresentado o conteúdo harmônico da corrente em situações de alimentação distintas e, por último, um quadro comparativo entre as DHT de todos os equipamentos. Todos os valores apresentados referem-se aos reatores quando estão acionando, cada um, duas lâmpadas fluorescentes tubulares.

4.1 Características elétricas dos reatores com baixo fator de potência e alta distorção harmônica total

4.1.1 Corrente elétrica

A figura 4.1 apresenta os valores de corrente declarados e obtidos em laboratório referentes aos reatores com baixo FP e alta DHT, onde se constata que os valores são próximos em sua maioria. A média dos valores declarados pelos fabricantes foi 0,50A enquanto a média dos valores obtidos em laboratório foi 0,49A.

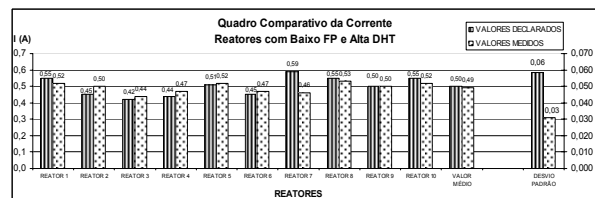


Figura 4.1 – Corrente elétrica nos reatores com baixo FP e alta DHT

4.1.2 Potência ativa

A figura 4.2 apresenta a comparação entre os valores de potência ativa. Em 90% das marcas avaliadas constatou-se que os valores medidos ficaram abaixo dos valores declarados. O valor médio medido ficou em 58W.

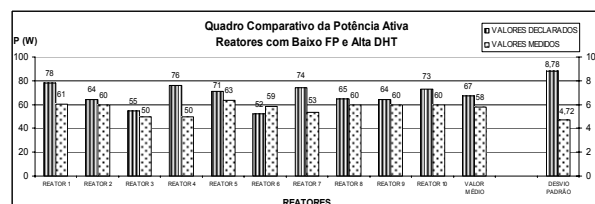


Figura 4.2 – Potência ativa nos reatores com baixo FP e alta DHT

4.1.3 Potência aparente

Constatou-se que os valores de potência aparente obtidos em laboratório ficaram bem próximos aos valores declarados (figura 4.3). Em média, o valor medido foi de 109,6VA contra os 110,2VA declarados.

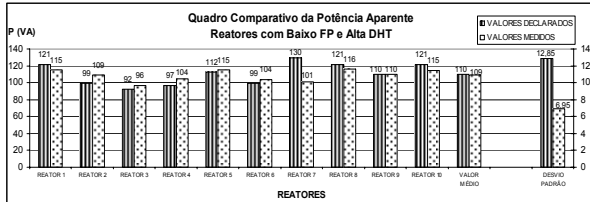


Figura 4.3 – Potência aparente nos reatores com baixo FP e alta DHT

4.1.4 Fator de potência

Na análise do fator de potência (figura 4.4) verificou-se que houve um comportamento semelhante em equipamentos de marcas diferentes. Todas as medidas do fator de potência ficaram próximas ao valor médio obtido, 0,58. Esses valores, apesar de estarem de acordo com as especificações dos fabricantes, são considerados baixos e indicam que há uma circulação adicional de corrente na rede elétrica sem a correspondente geração de trabalho.

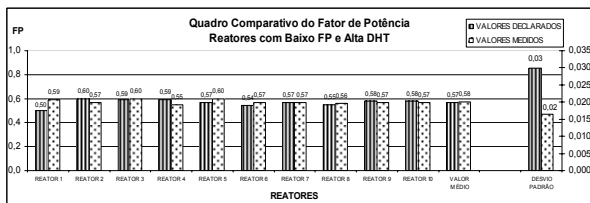


Figura 4.4 – Fator de potência nos reatores com baixo FP e alta DHT

4.2 Características elétricas dos reatores com alto fator de potência e baixa distorção harmônica total

4.2.1 Corrente elétrica

A média dos valores declarados foi de 0,30A, enquanto a média dos valores obtidos em laboratório ficou em 0,28A (figura 4.5).

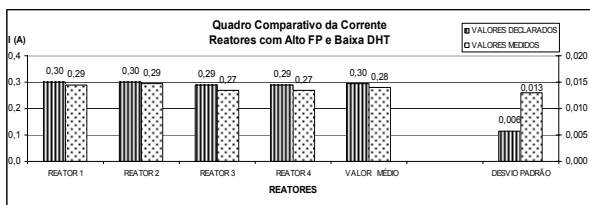


Figura 4.5 – Corrente elétrica nos reatores com alto FP e baixa DHT

Os valores ficaram próximos e foram bem menores que os obtidos nos reatores com baixo FP e alta DHT, que obtiveram média de corrente igual a 0,49A.

4.2.2 Potência ativa

Constatou-se que todos os valores medidos ficaram abaixo dos valores declarados (figura 4.6). A média dos valores declarados foi 65W enquanto a média dos valores obtidos no laboratório foi 55W. Em relação aos reatores com baixo FP e alta DHT, que obtiveram o valor médio de 58W, verifica-se que os valores foram próximos e sugere que ambos possuem níveis de eficiência bem parecidos.

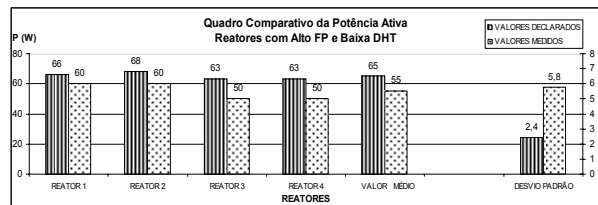


Figura 4.6 – Potência ativa nos reatores com alto FP e baixa DHT

4.2.3 Potência aparente

Verifica-se (figura 4.7) que os valores obtidos em laboratório ficaram próximos aos valores declarados. Em média, o valor declarado foi de 67VA enquanto o valor medido foi de 62VA. Já nos reatores com baixo FP e alta DHT, o valor médio medido ficou em 109,6VA, valor este muito elevado e que sobrecarrega a rede de alimentação.

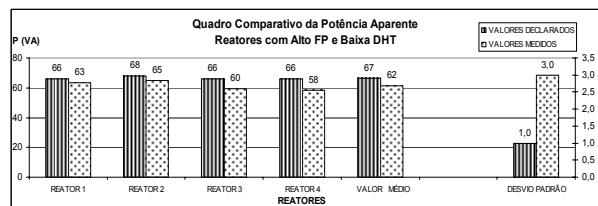


Figura 4.7 – Potência aparente nos reatores com alto FP e baixa DHT

4.2.4 Fator de potência

A média dos valores declarados foi 0,98 enquanto a média dos valores medidos ficou próximo a

0,97 (figura 4.8). Os valores obtidos são elevados e sugerem que estes equipamentos possuem características de linearidade elevadas. O valor médio do fator de potência obtido nos reatores com baixo FP e alta DHT ficou de 0,58, valor baixo e indesejável em redes de iluminação.

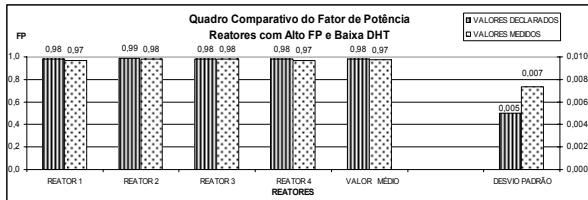
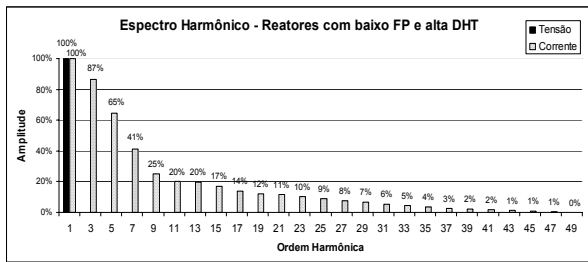


Figura 4.8 – Fator de potência nos reatores com alto FP e baixa DHT

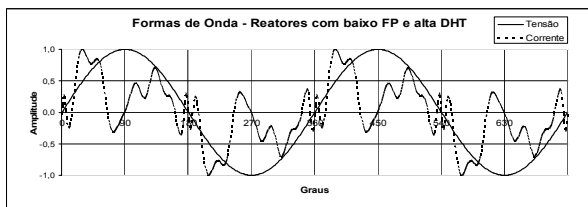
4.3 Características de distorção harmônica nos reatores com baixo fator de potência e alta distorção harmônica total

4.3.1 Conteúdo harmônico da corrente

Numa primeira etapa foi observado o espectro harmônico da corrente, quando os reatores estão alimentados com uma tensão puramente senoidal. Verificou-se que os conteúdos harmônicos em todas as marcas de reatores são semelhantes e foi traçado um perfil de comportamento médio (figura 4.9a). A figura 4.9b traz a forma de onda da corrente média gerada por esses reatores quando alimentados com uma tensão puramente senoidal.



(a)



(b)

Figura 4.9 – Conteúdo harmônico médio da corrente (a), formas de onda da tensão e da corrente (b).

Nota-se a presença de corrente de 3ª ordem harmônica com amplitude de 87% e na 23ª ordem harmônica superior a 10%, em relação a corrente fundamental. São valores elevados e que confirmam o grande potencial que estes reatores possuem para injetar poluições na rede elétrica.

4.3.2 Distorção harmônica total

A figura 4.10 ilustra os valores de DHT medidos em laboratório, onde é possível verificar que todas as marcas apresentam valores elevados, em torno do valor médio de 78%. Os valores observados estão, em sua maioria, próximos ao valor médio e podemos constatar uma regularidade nas características de funcionamento entre todos os fabricantes.

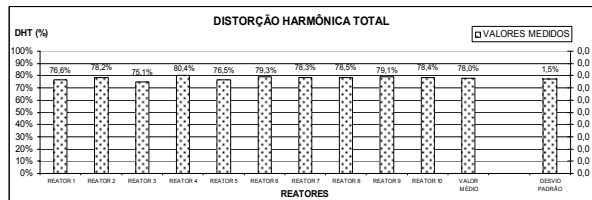


Figura 4.10 – Distorção Harmônica Total nos reatores com baixo FP e alta DHT

Quando os reatores foram submetidos a tensões de alimentação com conteúdo harmônico distorcido e variável, verificou-se que a DHT da corrente aumentou à medida que as distorções na tensão de alimentação aumentaram (figura 4.11). A exceção à regra foi verificada quando a tensão de alimentação possuía componentes harmônicas apenas na terceira harmônica, além da tensão fundamental (cenários 1 e 8, tabela 3.1).

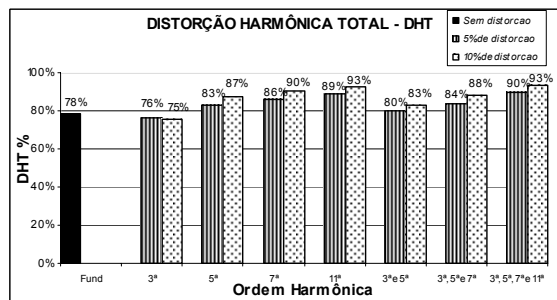


Figura 4.11 – DHT média da corrente nos reatores com baixo FP e alta DHT, quando os reatores são alimentados com tensões distorcidas

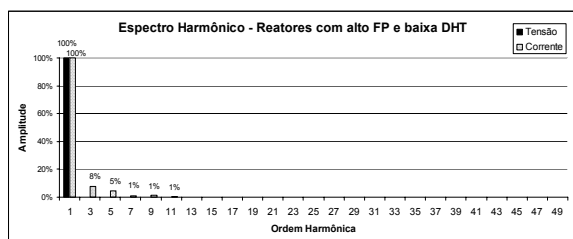
4.4 Características de distorção harmônica nos reatores com alto fator de potência e baixa distorção harmônica total

Observou-se o conteúdo harmônico da corrente dos reatores quando alimentados com uma tensão puramente senoidal e também com conteúdo harmônico variável e controlado. Foi traçado o gráfico da DHT obtida para cada fabricante, possibilitando uma comparação.

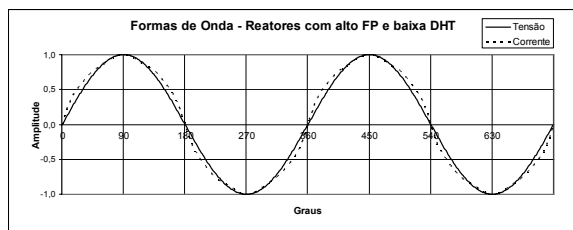
4.4.1 Conteúdo harmônico da corrente

A figura 4.12a apresenta o valor médio do conteúdo harmônico da corrente obtido entre as 4 marcas de reatores analisados, onde pode ser constatado que esses equipamentos apresentam características de distorção bem reduzidas. Verifica-se a presença de corrente de 3ª ordem harmônica com amplitude de 8% e na 5ª ordem de 5%, em relação a corrente fundamental. A última componente harmônica presente é a de ordem 11, que é igual a 1%, o que indica um baixo nível de distorção na corrente e, conseqüentemente, um baixo nível de poluição injetada na rede.

A figura 4.12b traz a forma de onda da corrente gerada por esses reatores quando alimentados com uma tensão puramente senoidal. Verifica-se que, diferente dos reatores com baixo FP e alta DHT, todos os reatores apresentaram formas de onda da corrente parecidas com a forma de onda da tensão de alimentação. Essa semelhança também foi verificada em todos os cenários de tensão de alimentação (tabela 3.1).



(a)



(b)

Figura 4.12 – Conteúdo harmônico médio da corrente (a), formas de onda da tensão e da corrente (b).

4.4.2 Distorção Harmônica Total

Em condições de alimentação senoidal pura foram levantados os valores da DHT para cada marca analisada.

Verificam-se na figura 4.13 os valores relativos à distorção harmônica total, anunciados pelos fabricantes nos respectivos equipamentos, e os valores obtidos nos ensaios realizados em laboratório. É possível verificar que todas as marcas apresentaram DHT baixas – em média 11,1% – e indicam que esses reatores são de qualidade superior, quando comparados com os reatores analisados na etapa anterior

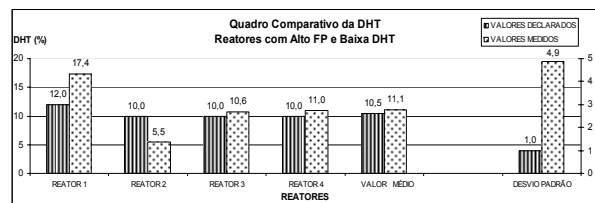


Figura 4.13 – Distorção Harmônica Total nos reatores com alto FP e baixa DHT

Numa etapa seguinte, quando os reatores são submetidos a tensões de alimentação distorcidas, verifica-se um aumento na DHT da corrente à medida que o conteúdo harmônico da tensão diversifica ou quando a amplitude das harmônicas já presentes aumenta, de forma cumulativa (figura 4.14).

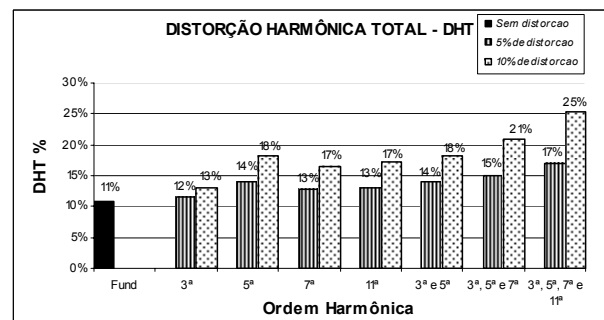


Figura 4.14 – DHT média da corrente nos reatores com alto FP e baixa DHT

5.0 CONCLUSÕES

Todos os parâmetros elétricos analisados em laboratório tiveram seus valores próximos aos valores declarados pelos fabricantes, em seus respectivos manuais de instalação.

Constatou-se nos reatores que possuem baixo FP e alta DHT um nível de distorção harmônica muito elevado. Já os reatores com alto FP e baixa DHT apresentaram índices de distorção

reduzidos e um comportamento típico de cargas lineares. Quando os reatores foram alimentados com tensões contendo conteúdo harmônico variado, verificou-se que a DHT tendeu a aumentar proporcionalmente à distorção aplicada.

Foram estudadas as características elétricas e de distorção harmônica em todas as marcas de reatores, quando alimentados de forma individual e de forma conjunta, e constatou-se que as características harmônicas da corrente obtidas em uma pequena amostra podem ser expandidas para grandes redes, devido à semelhança verificada nos conteúdos harmônicos da corrente em reatores pertencentes a um mesmo grupo.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] XAVIER, P.A.C. **Avaliação das características elétricas de reatores eletrônicos utilizados em lâmpadas fluorescentes tubulares**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.
- [2] OSRAM DO BRASIL. Reatores e Acessórios Eletrônicos. Disponível em: <<http://www.osram.com.br/produtos/reatores/>>. Acesso em: 03 de outubro de 2004.
- [3] INMETRO. Portaria Nº 188, de 09 de novembro de 2004. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso em: 15 de março de 2005.

