METRÔ - DF	ENGEVIX	CODIFICAÇÃO ENGEVIX P00160_01-5F-RL-0701-0

SETOR	
ENDEREÇO	
PROPRIETÁRIO	METRÔ - DF
AUTOR DO PROJETO	IDYLIO THOMAZINI FILHO
RESPONSÁVEL TÉCNICO	

METRÔ - DF

IDYLIO THOMAZINI FILHO CREA N° 5060007017

CREA N°

METRÔ - DF

SISTEMA	ENERGIA
SUBSISTEMA	FILTRO DE HARMÔNICAS
LOCAL	GERAL
COMPONENTES /TIPO DE DOCUMENTO	MEDIÇÕES DE HARMÔNICAS RELATÓRIO TÉCNICO
AREA DE CONST.	-
CODIFICAÇÃO	**RT.4/EX.99/11.701**
REVISÃO	**1**

VISTO: ELJ/RLJ	DATA: 20/08/14
APROVADO: OOP	DATA: 08/09/14
ESCALA	ETAPA DO PROJ.: Básico
N MICROFILME	FOLHA: 1/60

1	APROVADO CONFORME PARECER Nº 488/14 TEN	08/09/14	FRG	ECoA	ITF	ELJ/RJF	OOP
0	EMISSÃO INICIAL	20/08/14	FRG	ECoA	ITF	ELJ/RJF	OOP
N°	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROVO	VERIF.	APROV
		CONTRATADA				**METRÔ - DF**	
R E V I S Õ E S							

METRÔ-DF
RT.4/EX.99/11.701

MEDIÇÕES DE HARMÔNICAS

SISTEMA DE ENERGIA
PROJETO BÁSICO

SUMÁRIO

1 OBJETIVO 3
2 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM CAMPO 3
3 SUBESTAÇÃO BRASÍLIA CENTRO 3
4 SUBESTAÇÃO ÁGUAS CLARAS 12
5 SUBESTAÇÃO CEILÂNDIA SUL 21
6 SUBESTAÇÃO RETIFICADORA SR02 30
7 SUBESTAÇÃO RETIFICADORA SR07 (MEDIÇÃO 01) 39
8 SUBESTAÇÃO RETIFICADORA SR07 (MEDIÇÃO 02) 48
9 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS 58

1 OBJETIVO

O presente relatório tem como objetivo apresentar os resultados das medições de tensões e correntes harmônicas nas barras de alimentação do METRÔ DF nas subestações Brasília Centro, Águas Claras e Ceilândia Sul, bem os resultados também monitorados nas SRs 02 e 07.

Estas medições visam permitir uma modelagem mais fiel das fontes geradoras de harmônicos tanto no sistema atual do Metrô DF quanto para as futuras ampliações previstas.

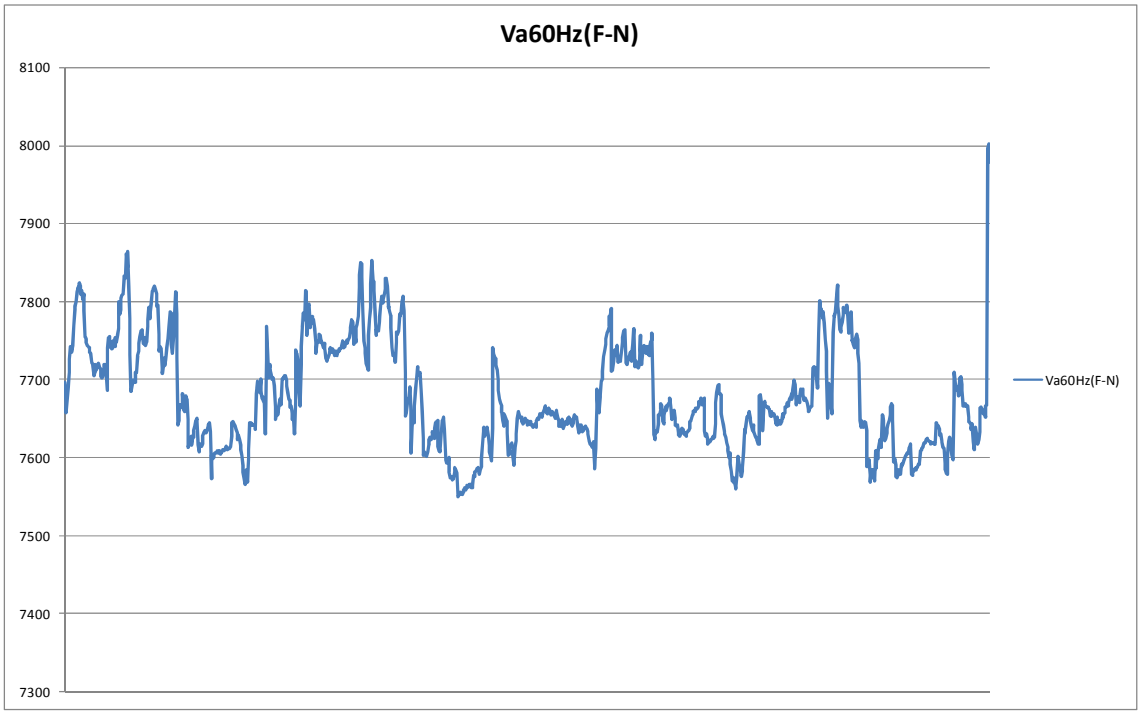
Também ter por objetivo a especificação técnica dos equipamentos de compensação reativa e filtragem de harmônicos que deverão ser instalados em cada subestação do Metrô - DF, visando atender aos limites de correção do FP e os limites de distorção de tensão recomendado pela norma IEEE 519/1992.

2 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM CAMPO

3 Subestação Brasília Centro

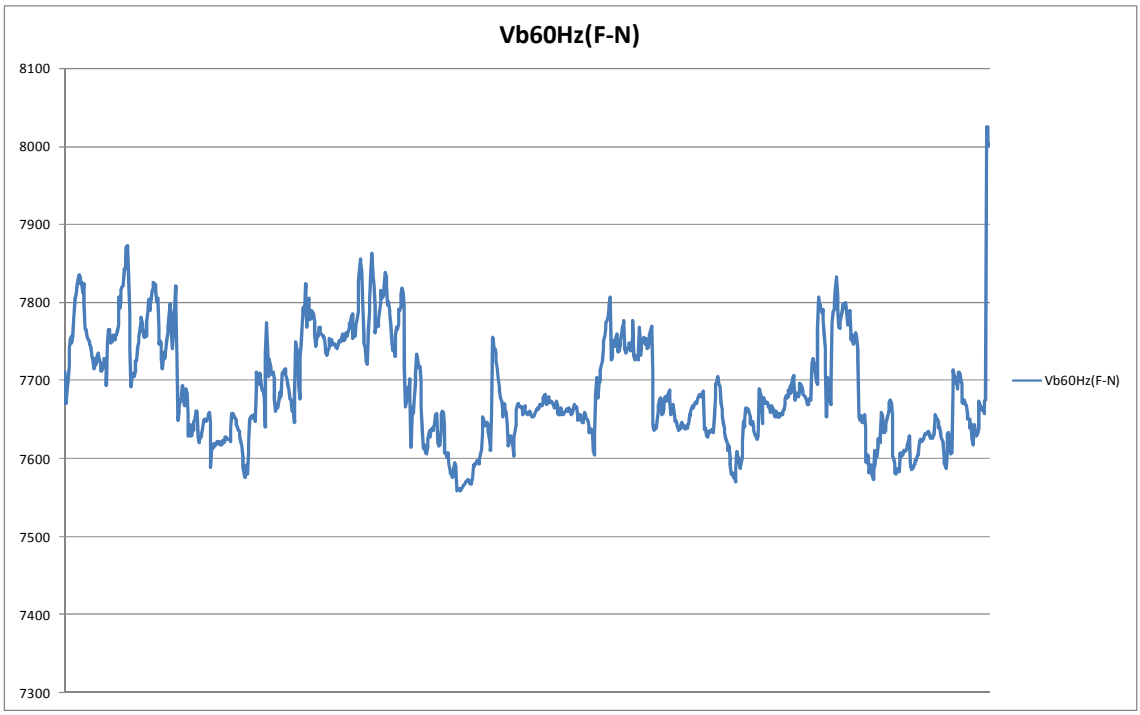
a) Tensões RMS Fase-Neutro em Volts:

- Fase A:



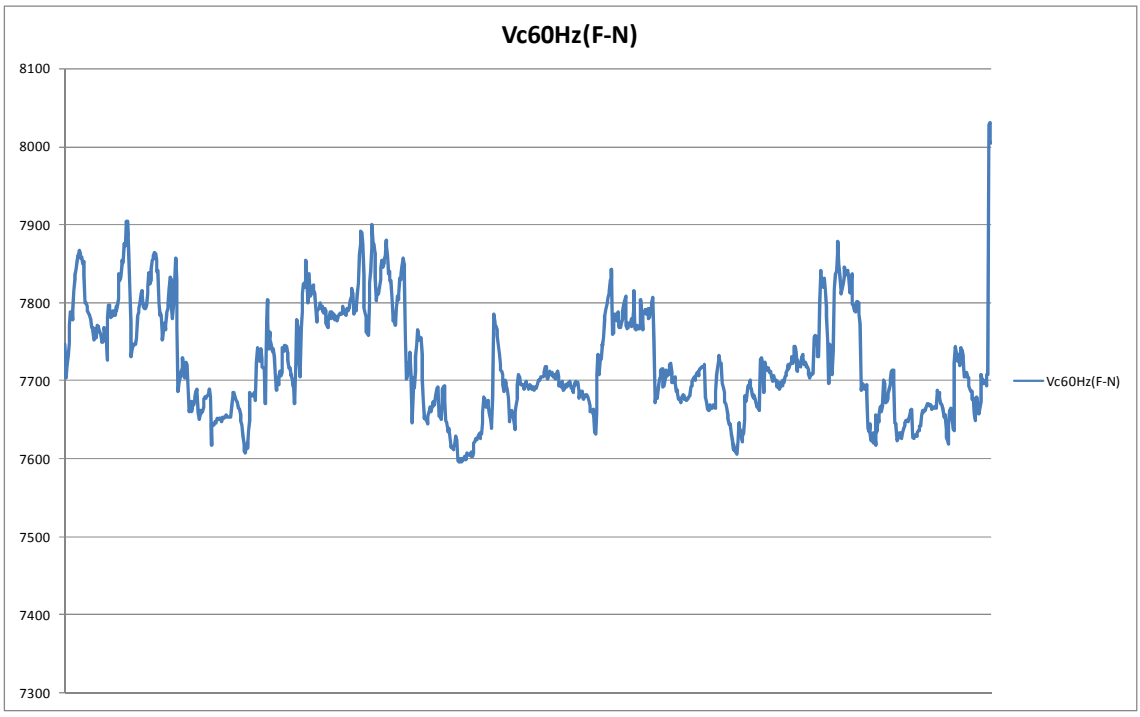
Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

- Fase B:



Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

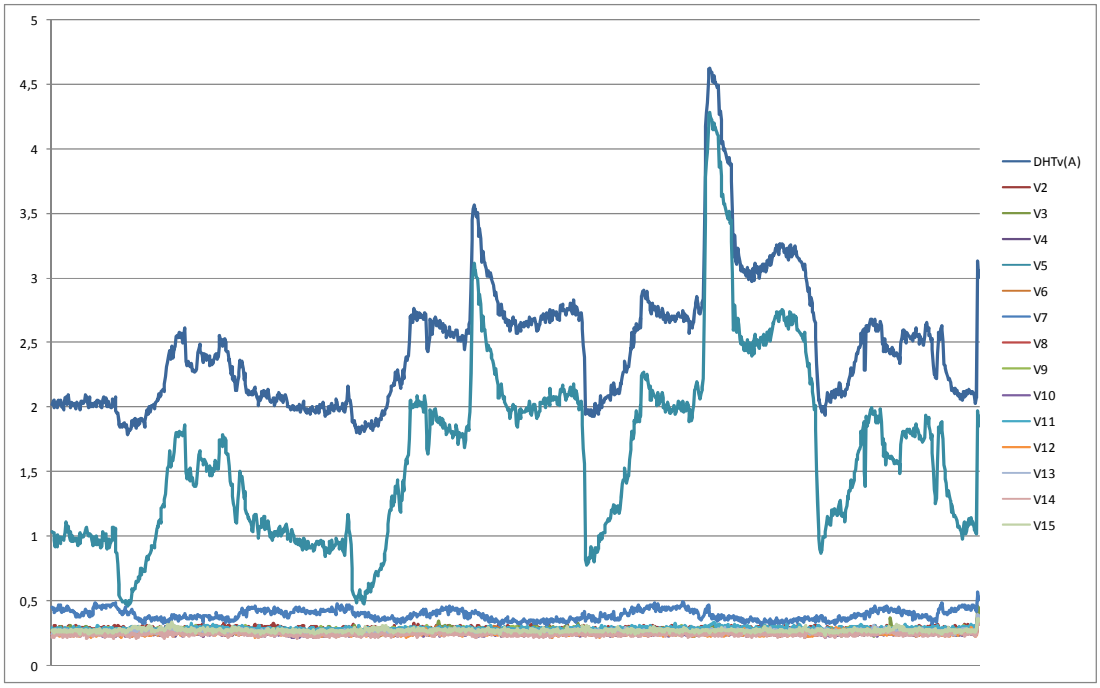
- Fase C:



Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

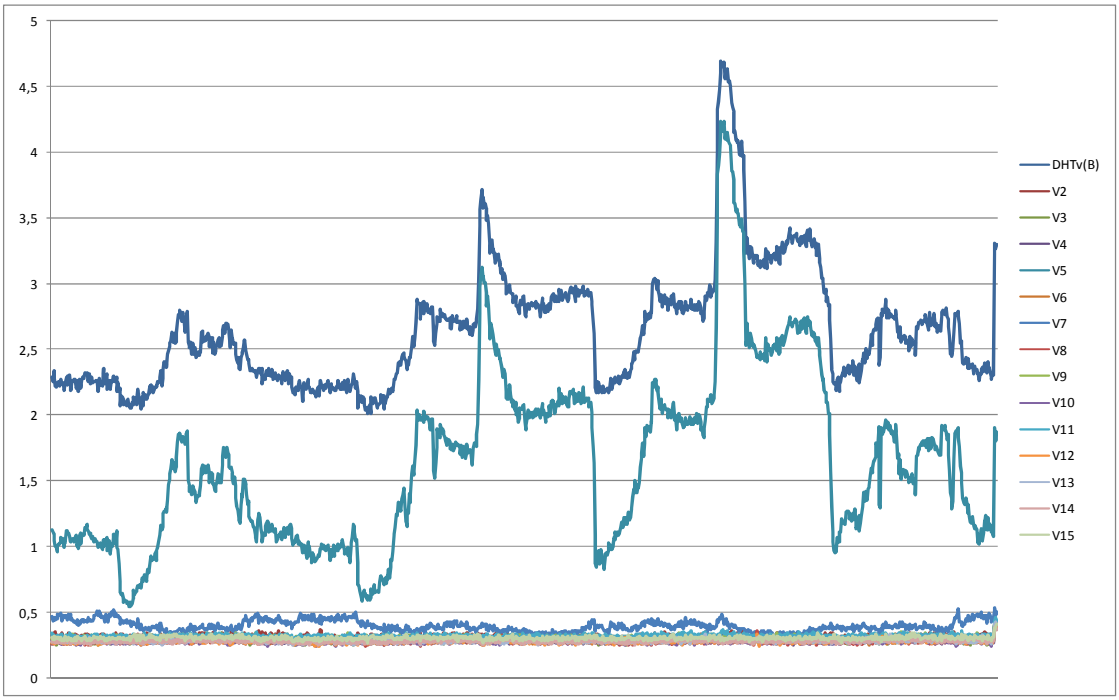
b) Distorções de Tensão Fase-Neutro Totais e Individuais (DHTv e Vh) em %:

- Fase A:



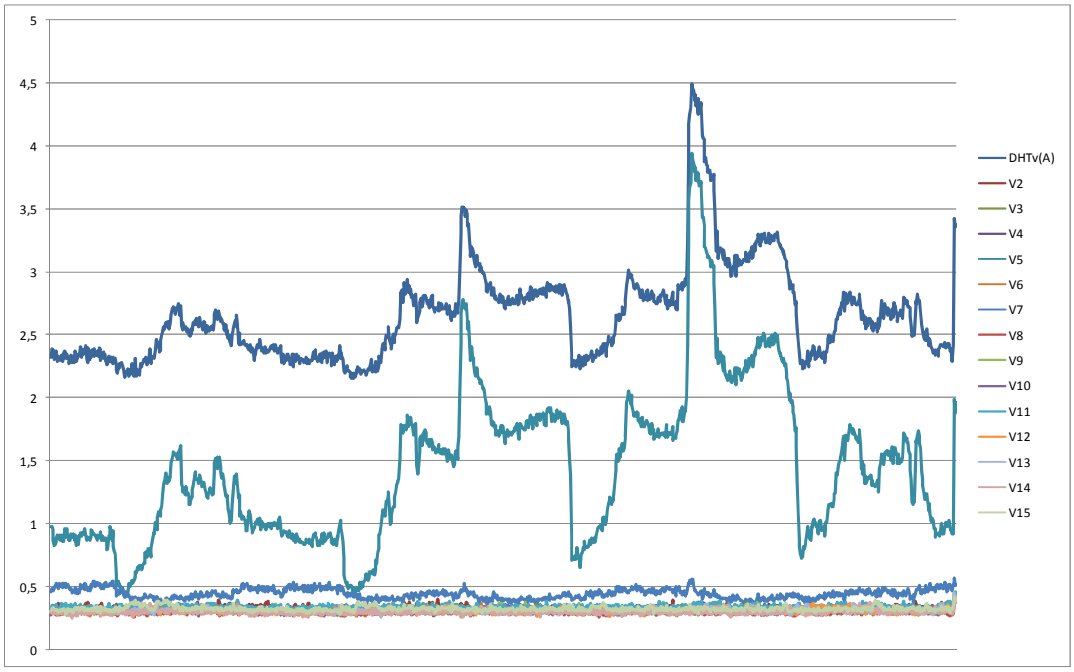
Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH)

- Fase B:



Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH)

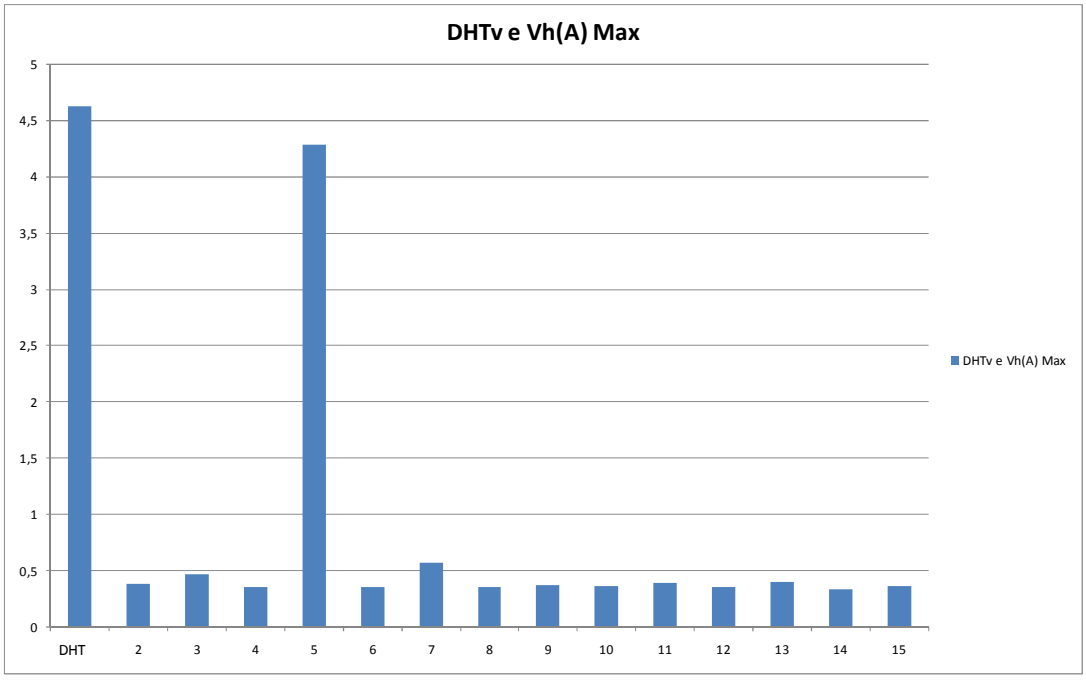
- Fase C:



Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH)

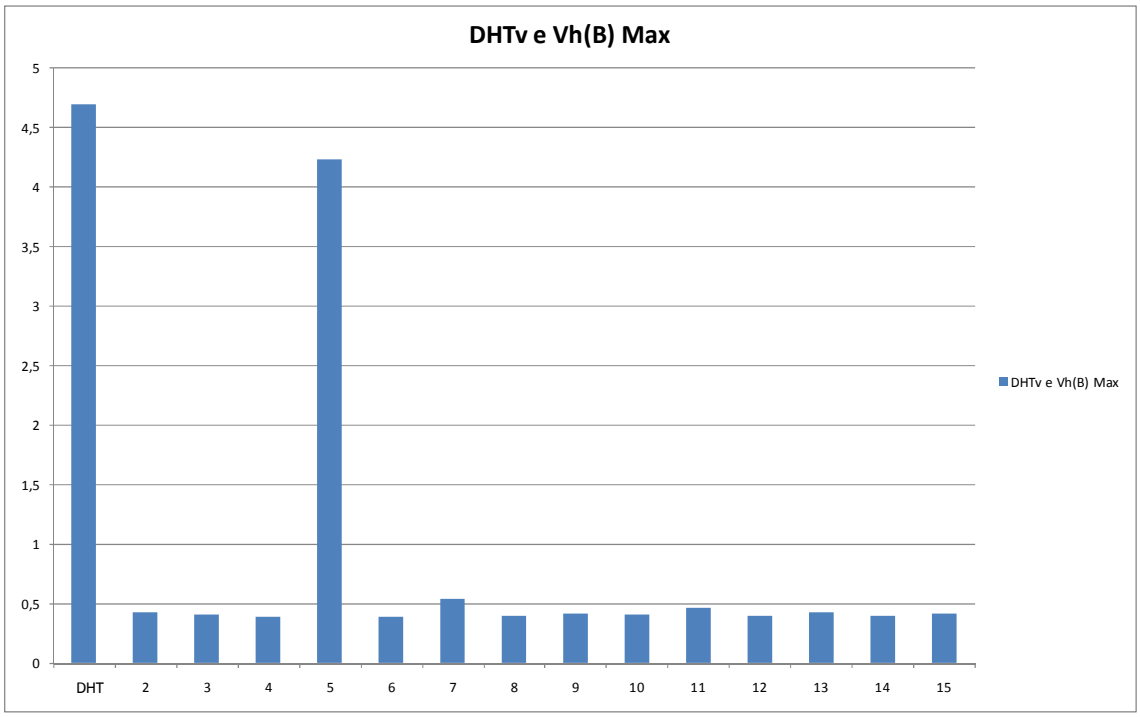
c) Espectro Harmônico Máximo de Tensão:

- Fase A:



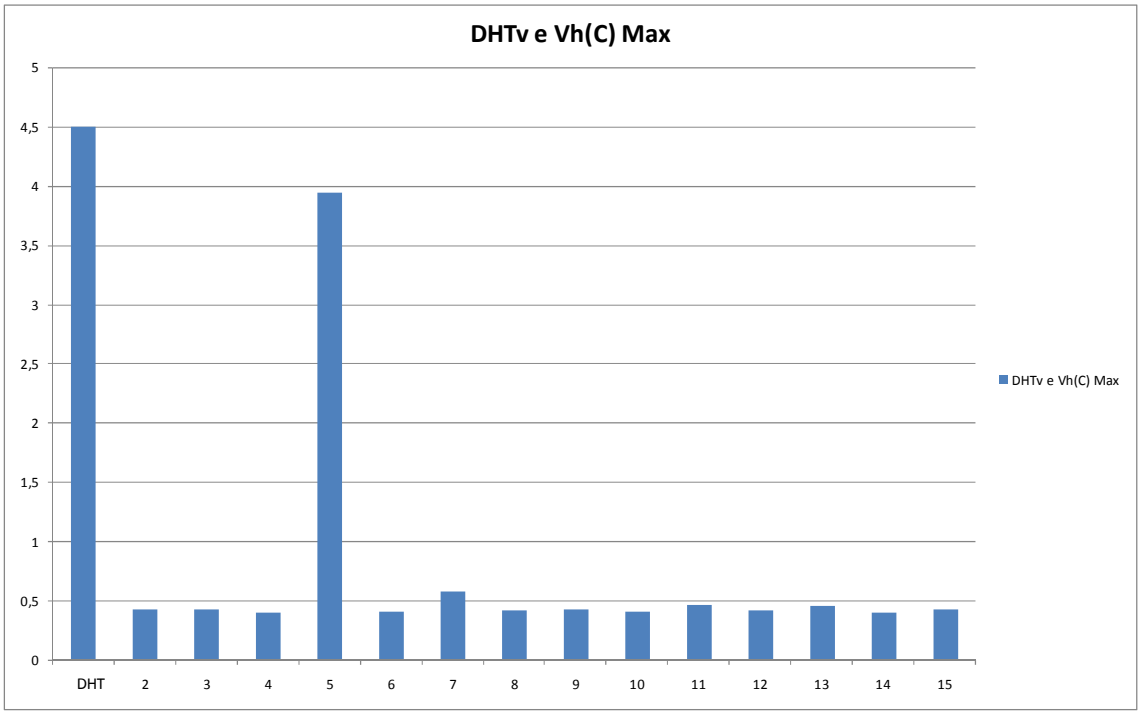
Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

- Fase B:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

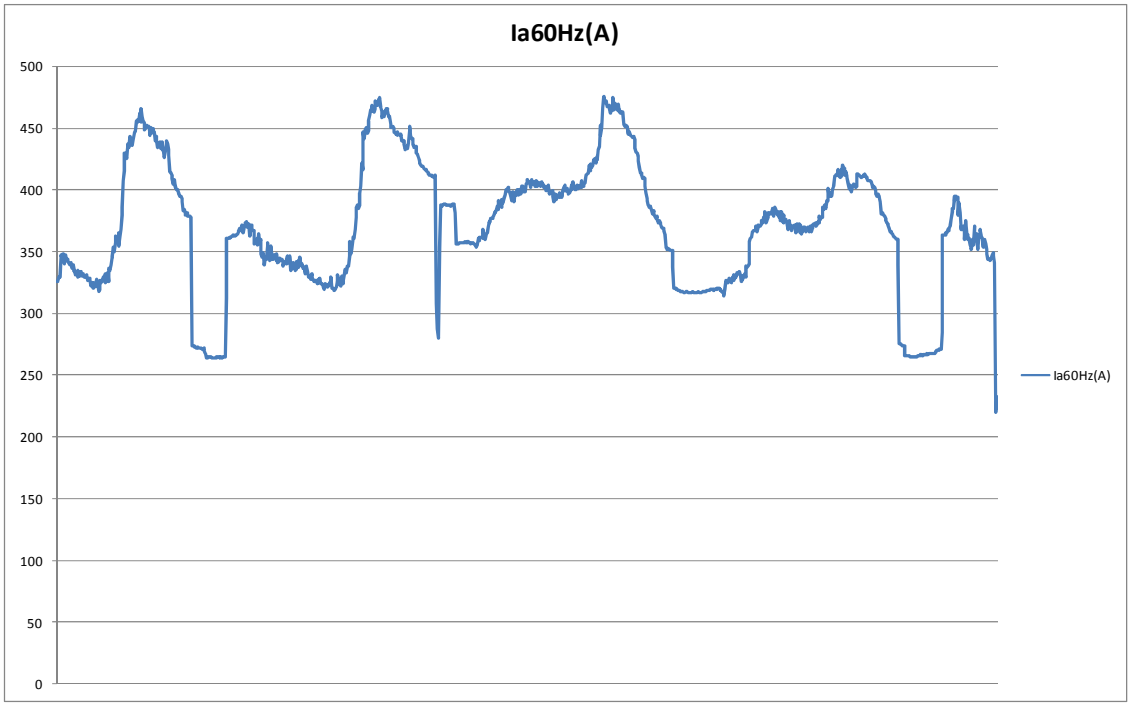
- Fase C:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

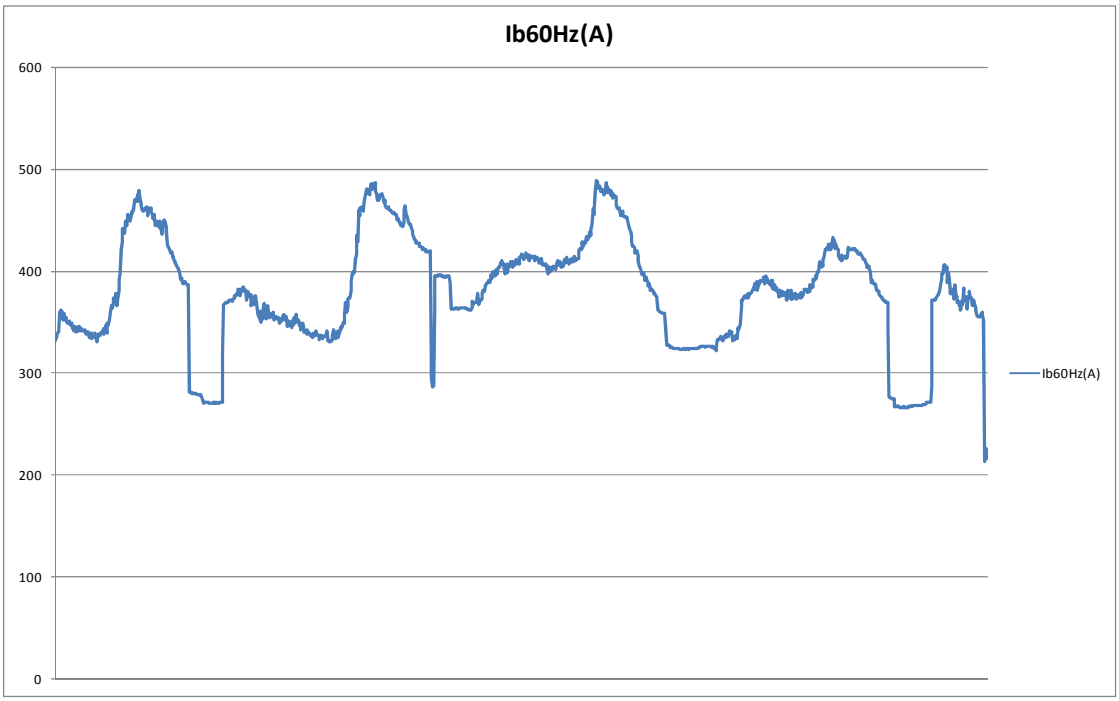
d) Correntes RMS em Amperes:

- Fase A:



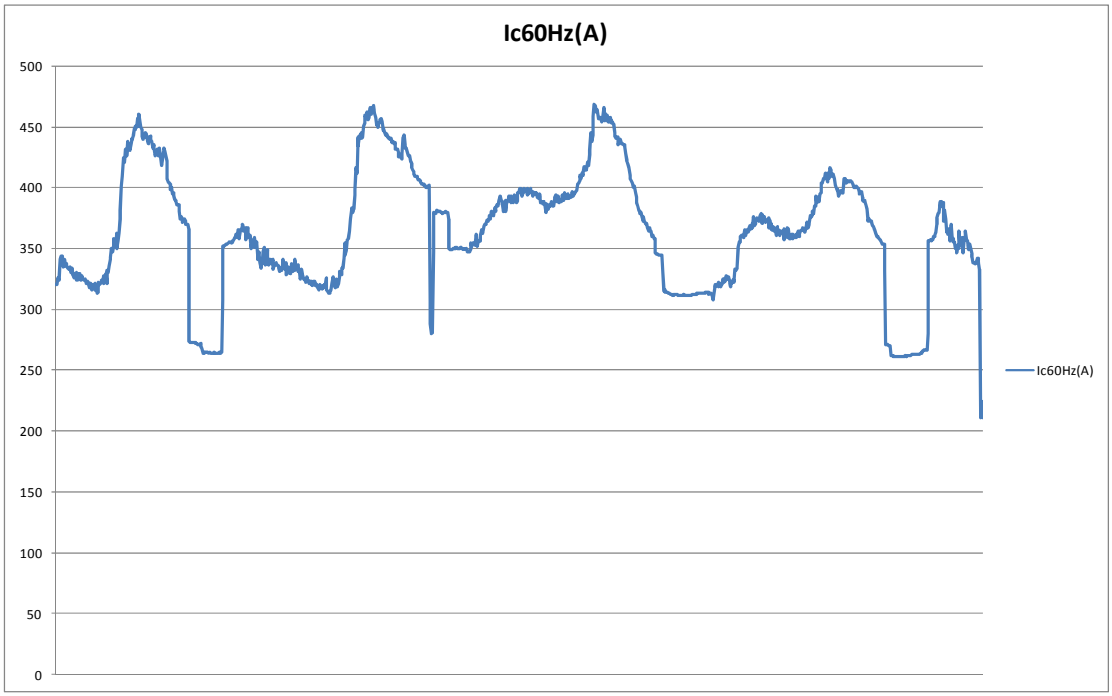
Observação: Variação da corrente rms com a carga.

- Fase B:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

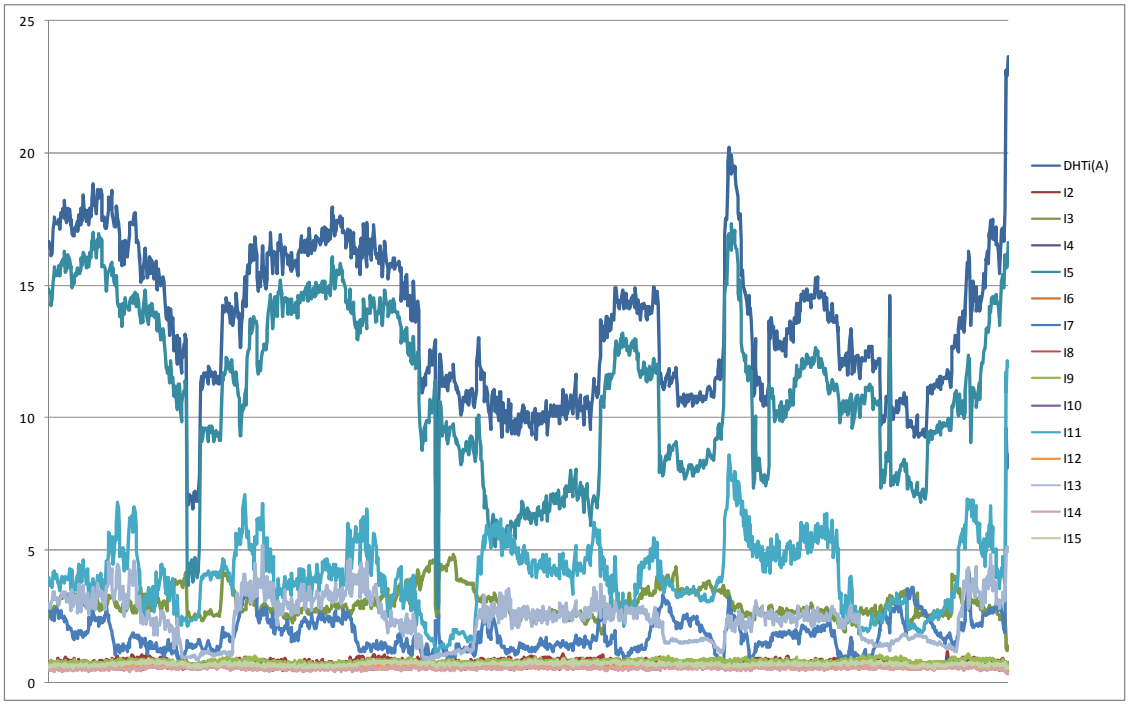
- Fase C:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

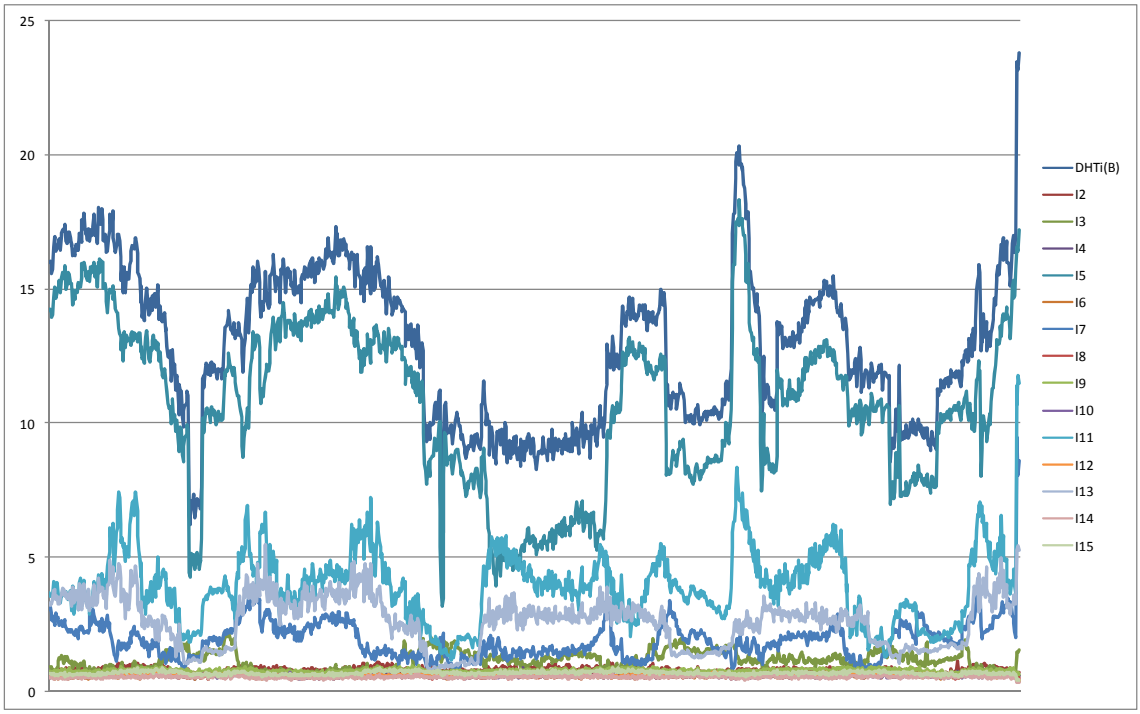
e) Distorções de Corrente Totais e Individuais (DHTi e Ih) em Amperes:

- Fase A:



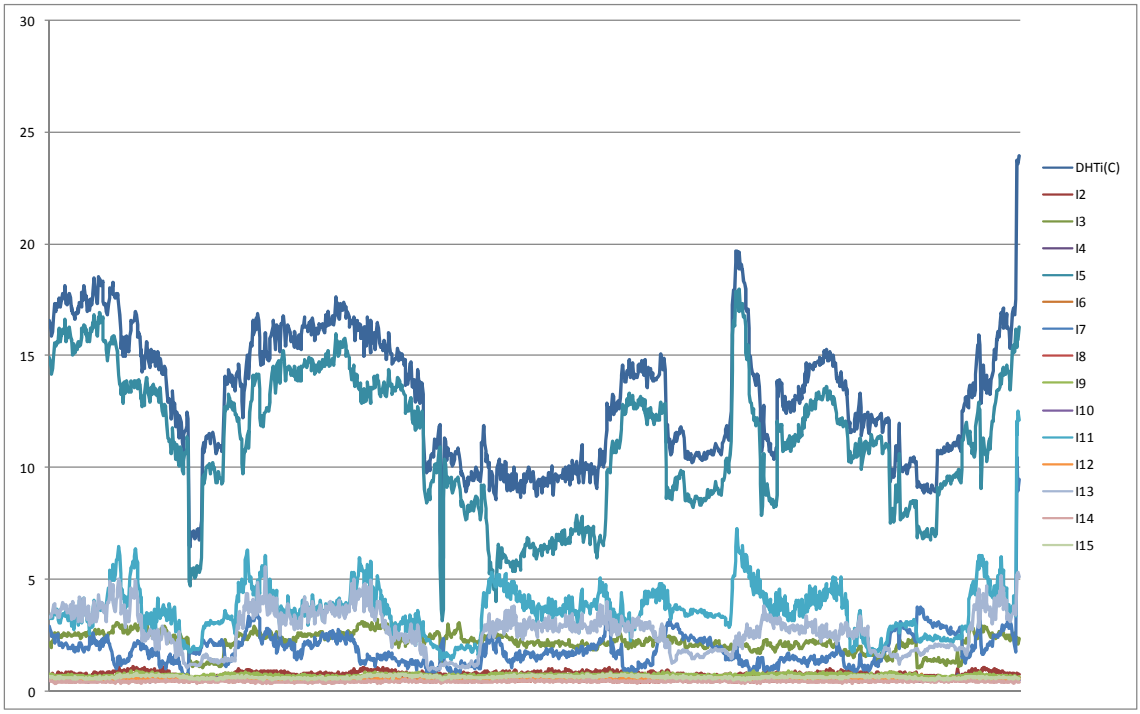
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens

- Fase B:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens

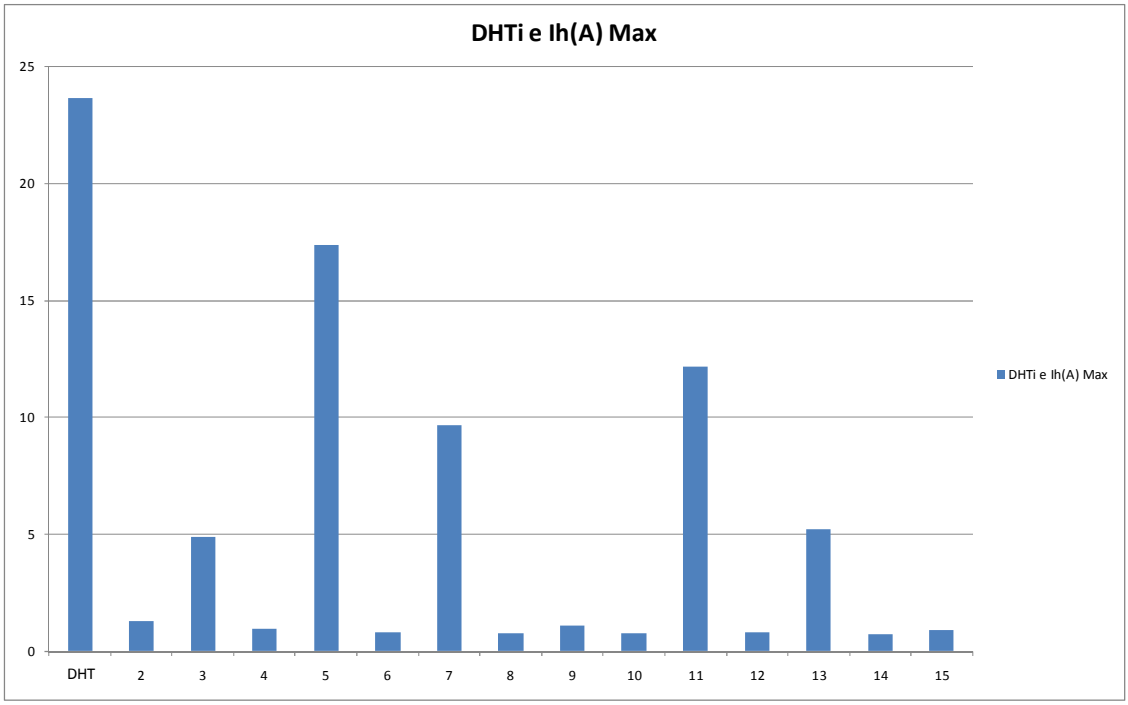
- Fase C:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens

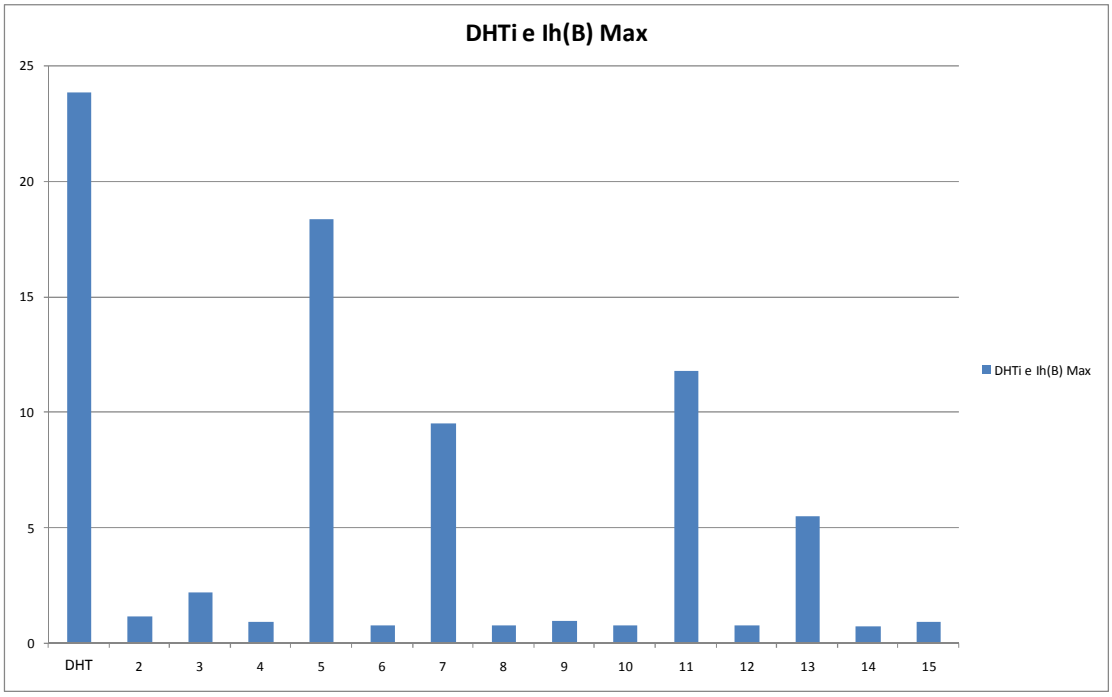
f) Espectro Harmônico Máximo de Corrente em Amperes:

- Fase A:



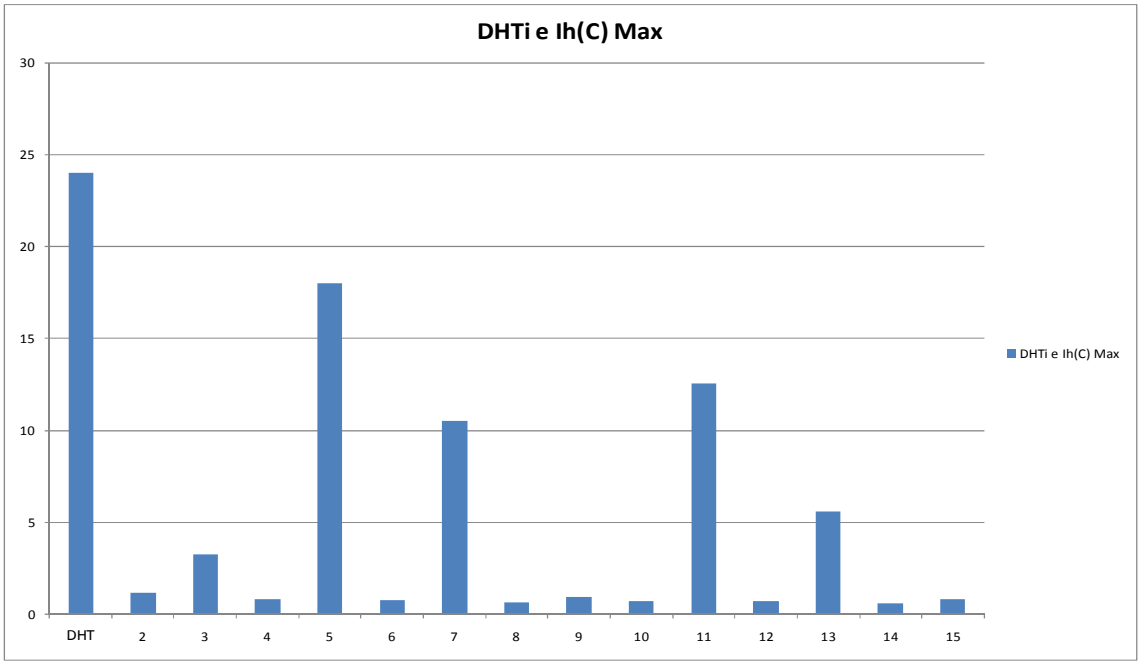
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens

- Fase B:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens

- Fase C:

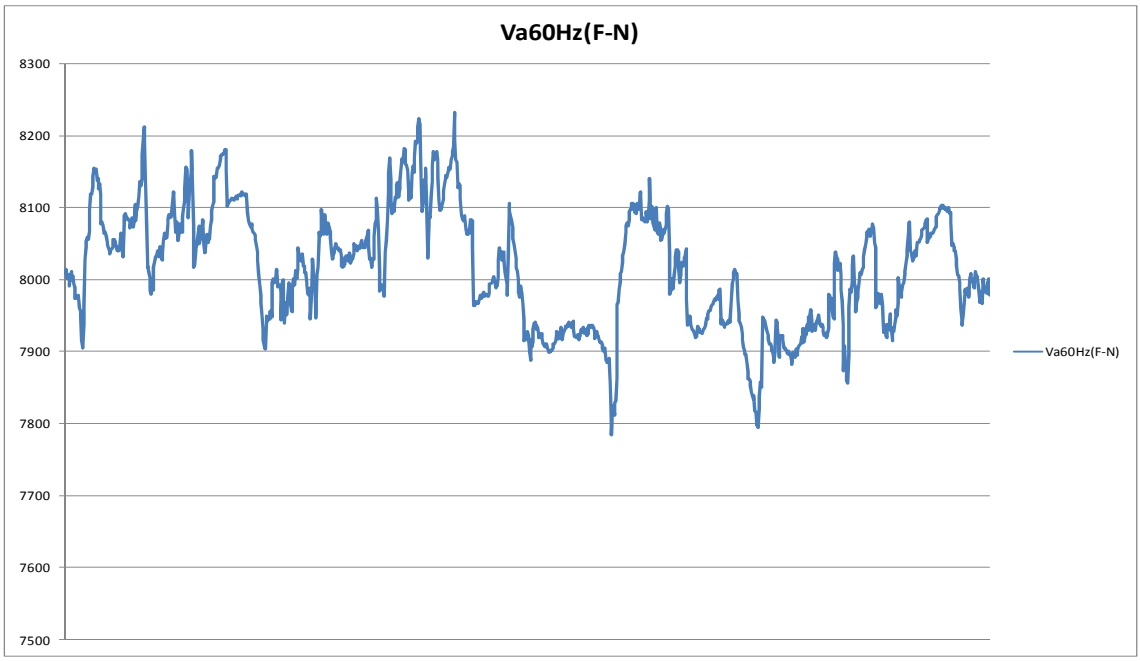


Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens

4 Subestação Águas Claras

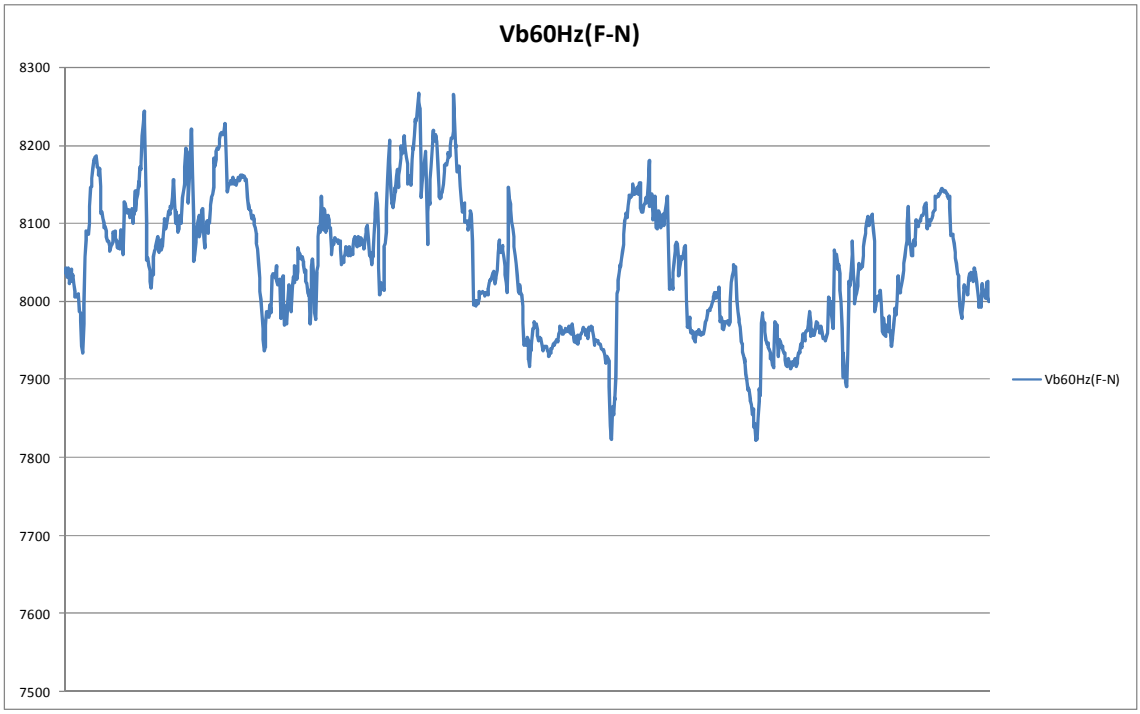
a) Tensões RMS Fase-Neutro em Volts:

- Fase A:



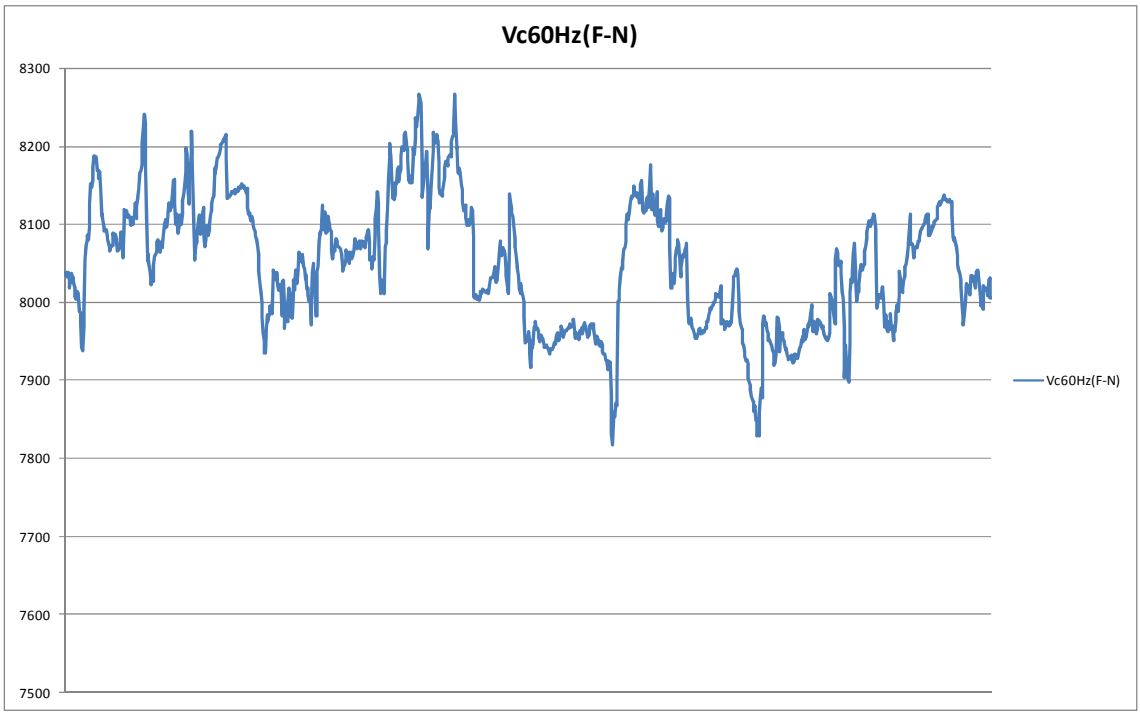
Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

- Fase B:



Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

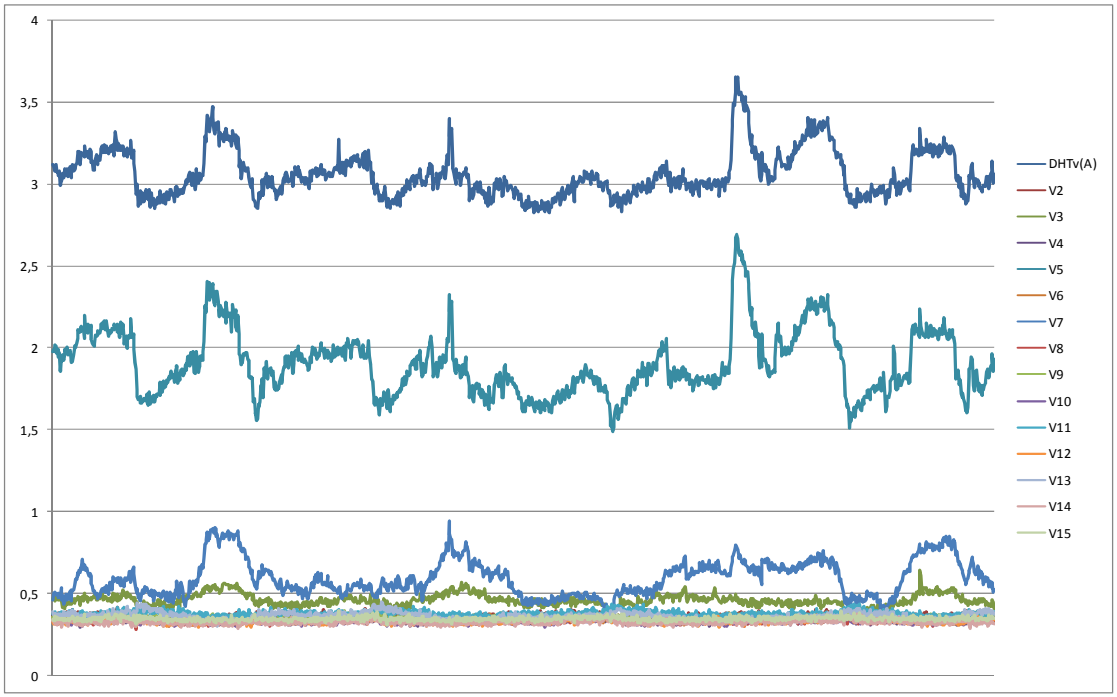
- Fase C:



Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

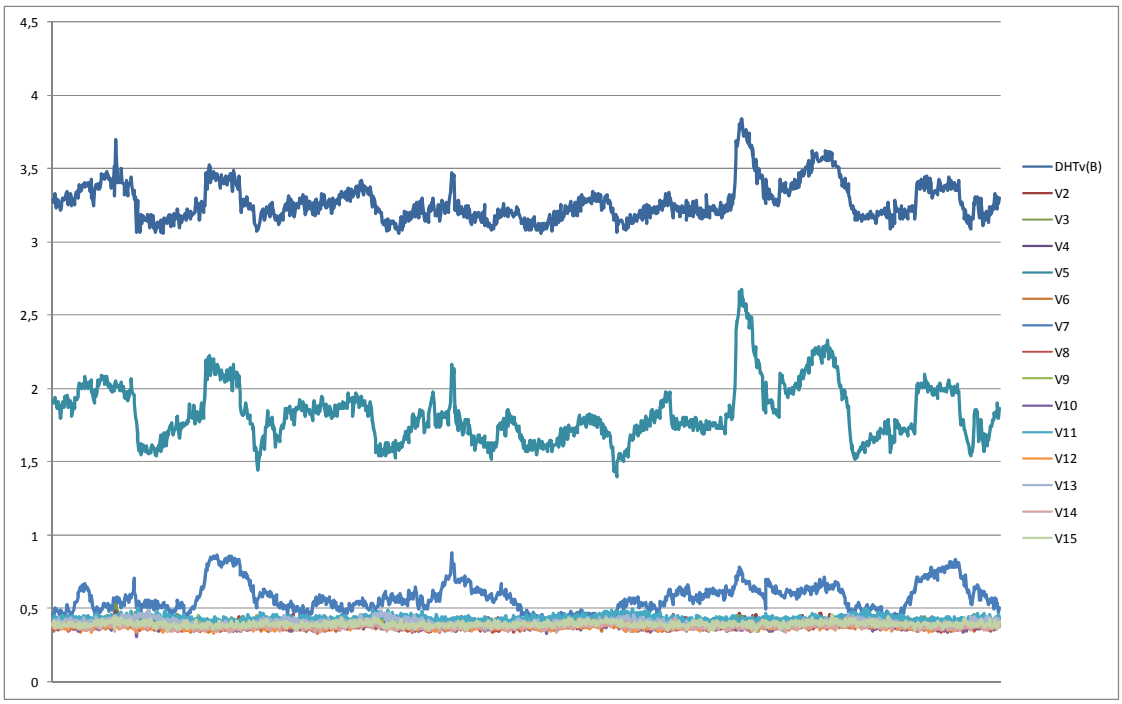
b) Distorções de Tensão Fase-Neutro Totais e Individuais (DHTv e Vh) em %:

- Fase A:



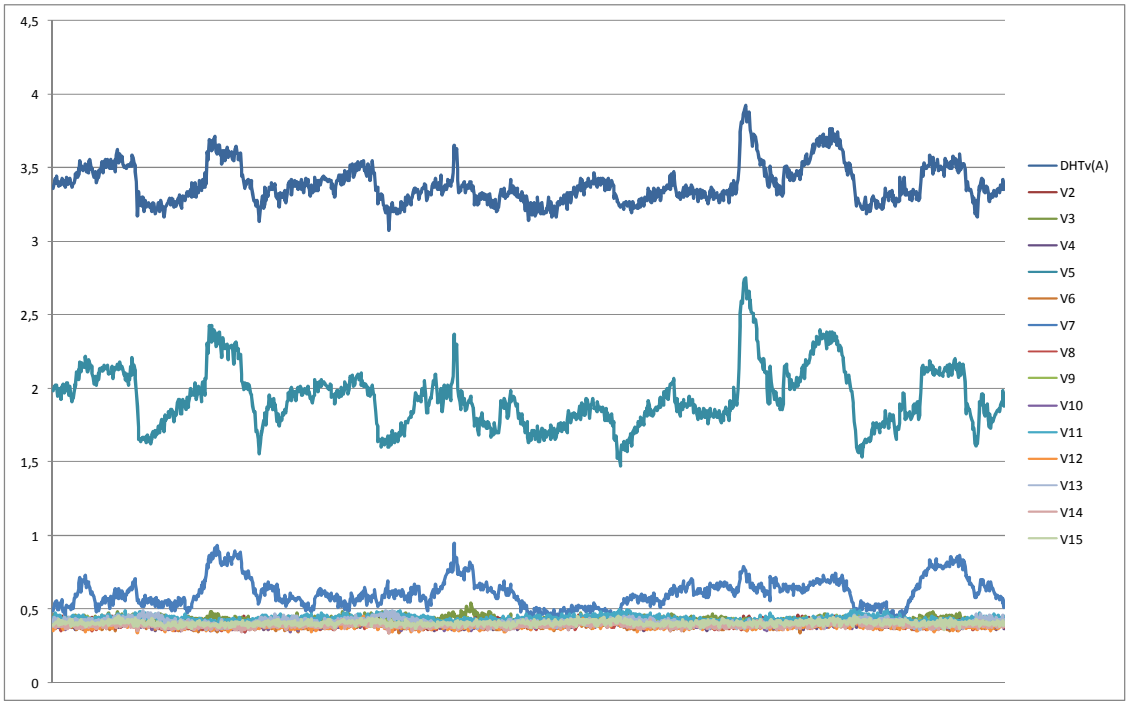
Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

- Fase B:



Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH)

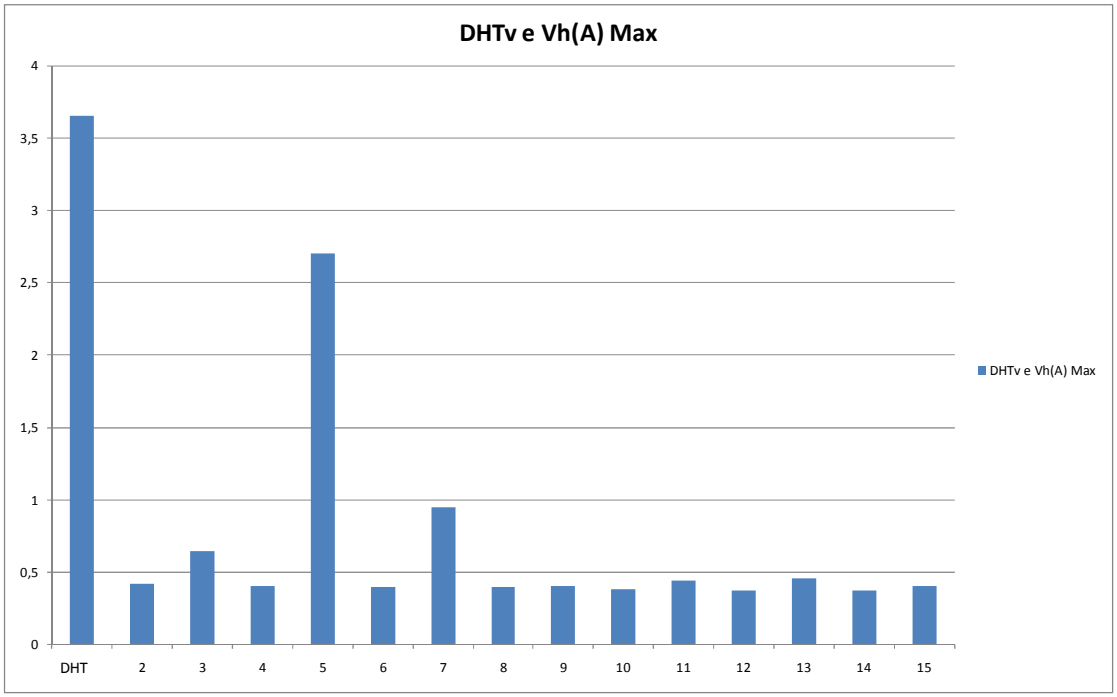
- Fase C:



Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH)

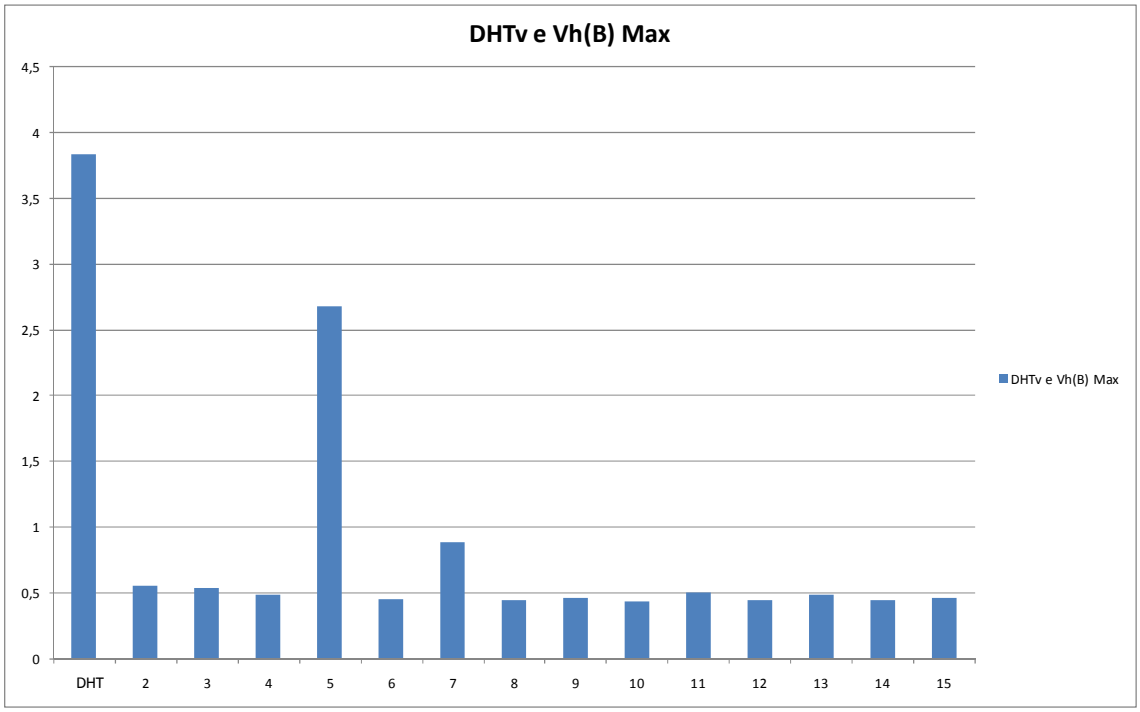
c) Espectro Harmônico Máximo de Tensão:

- Fase A:



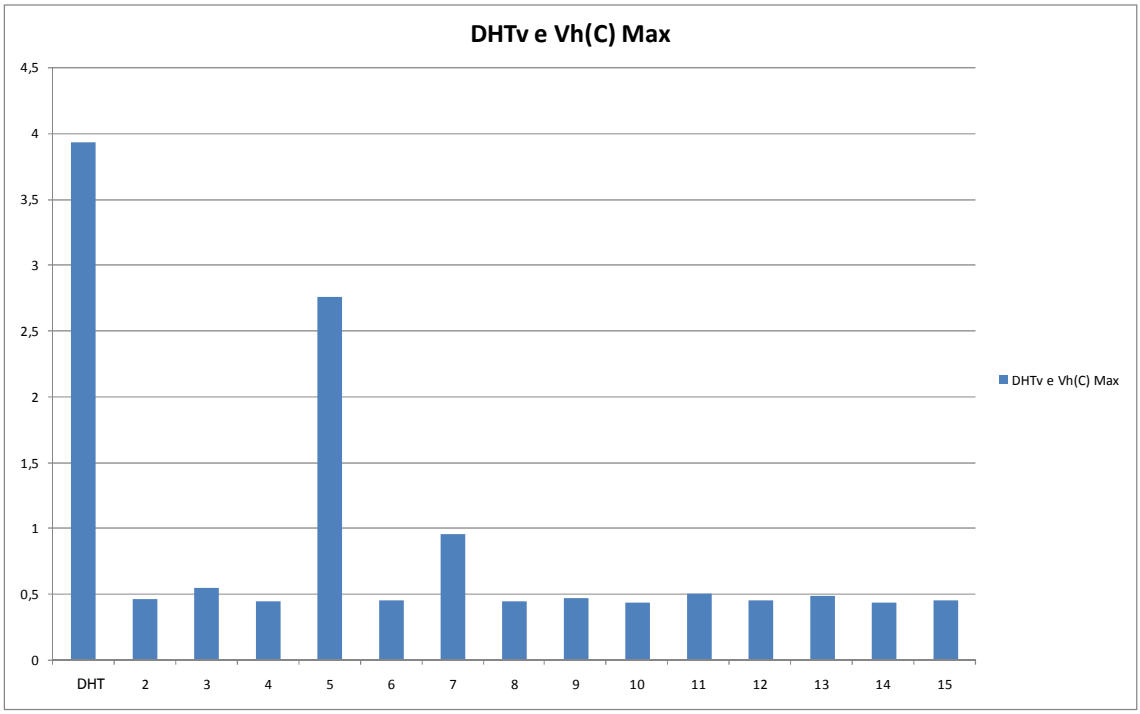
Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

- Fase B:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

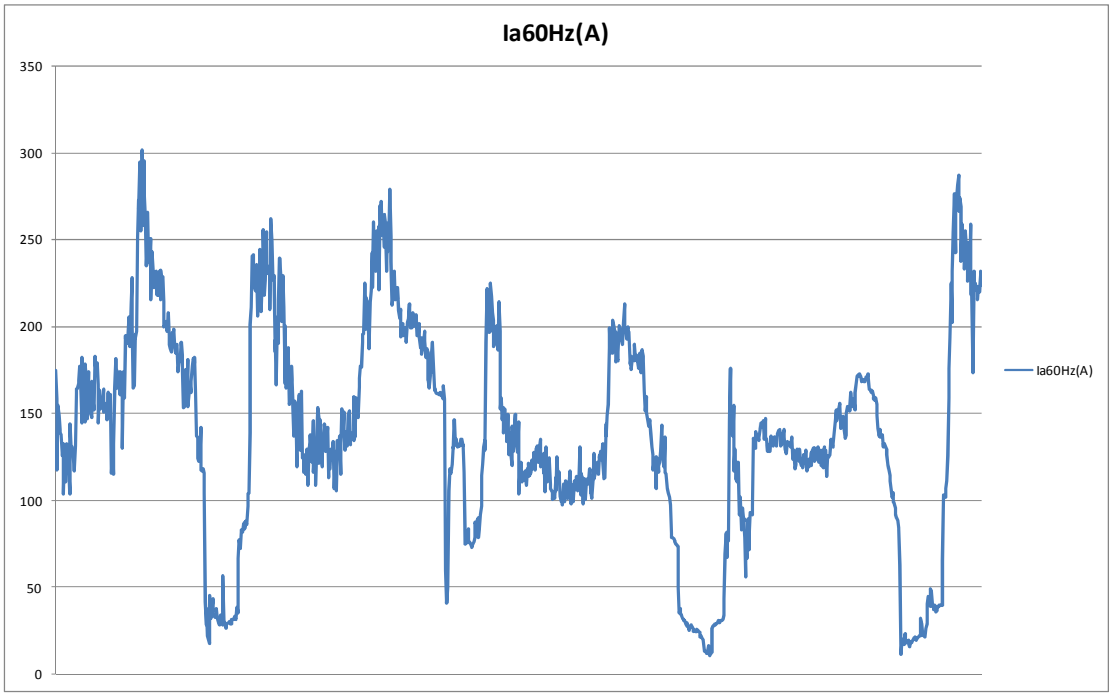
- Fase C:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

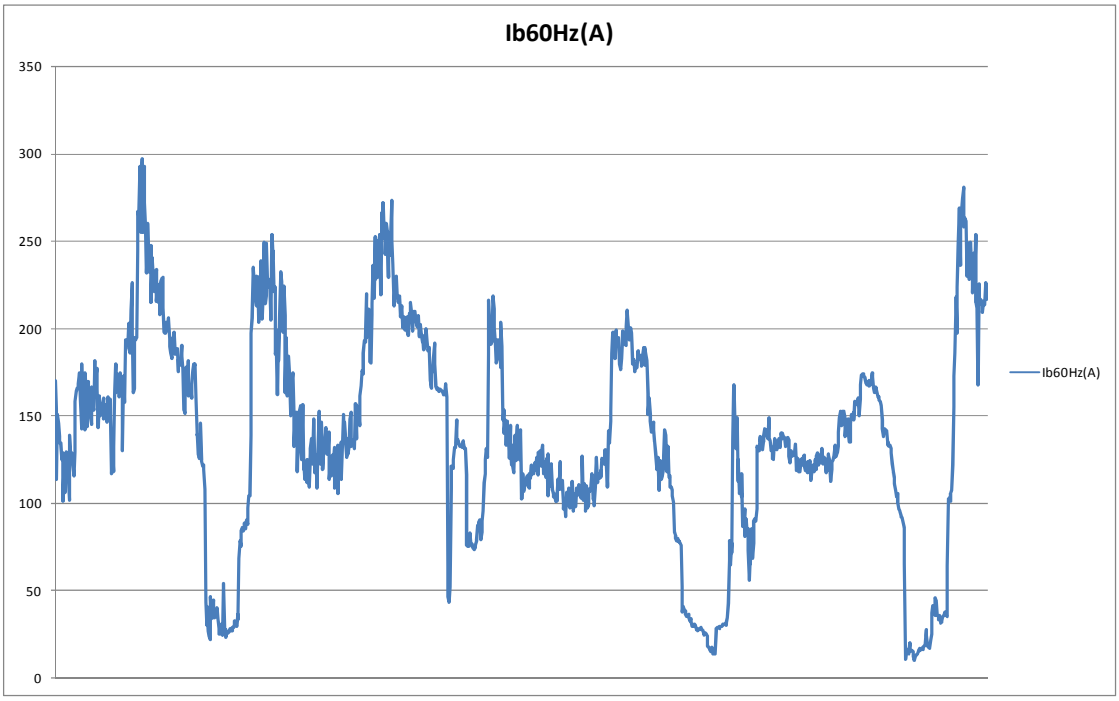
d) Correntes RMS em Amperes:

- Fase A:



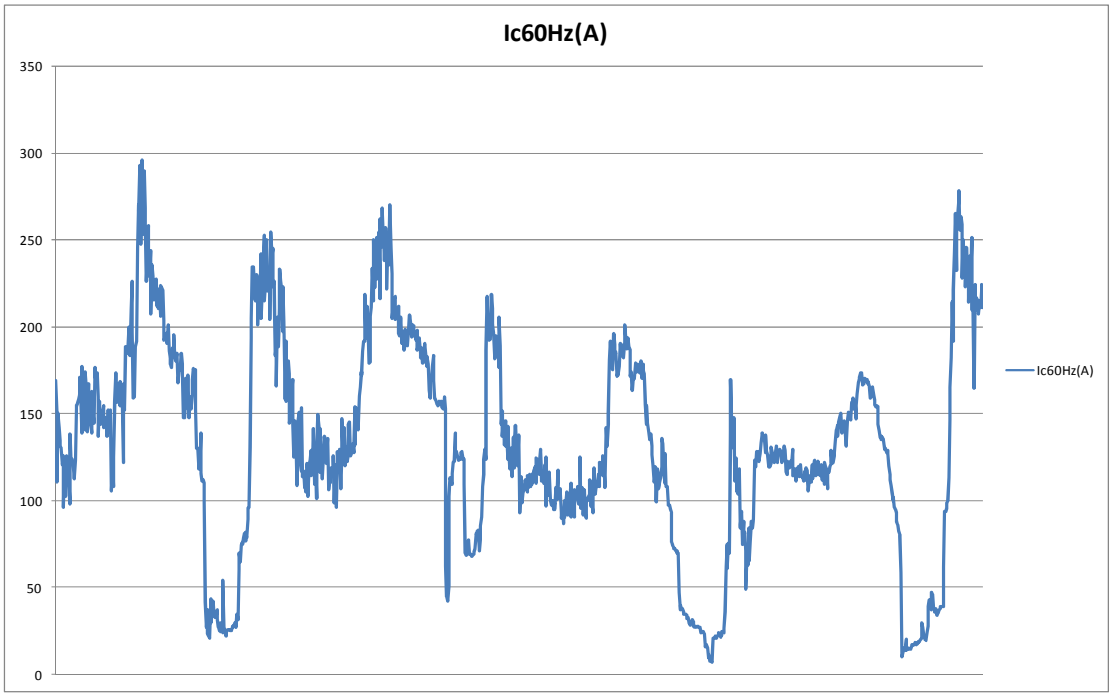
Observação: Variação da corrente rms com a carga.

- Fase B:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

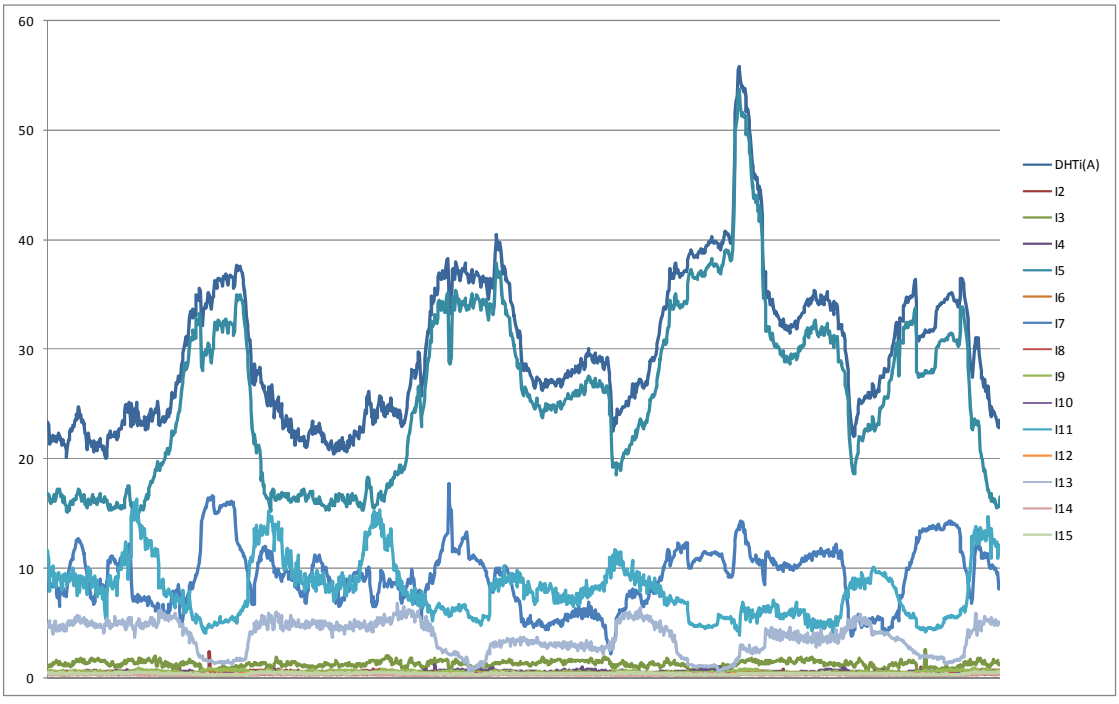
- Fase C:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

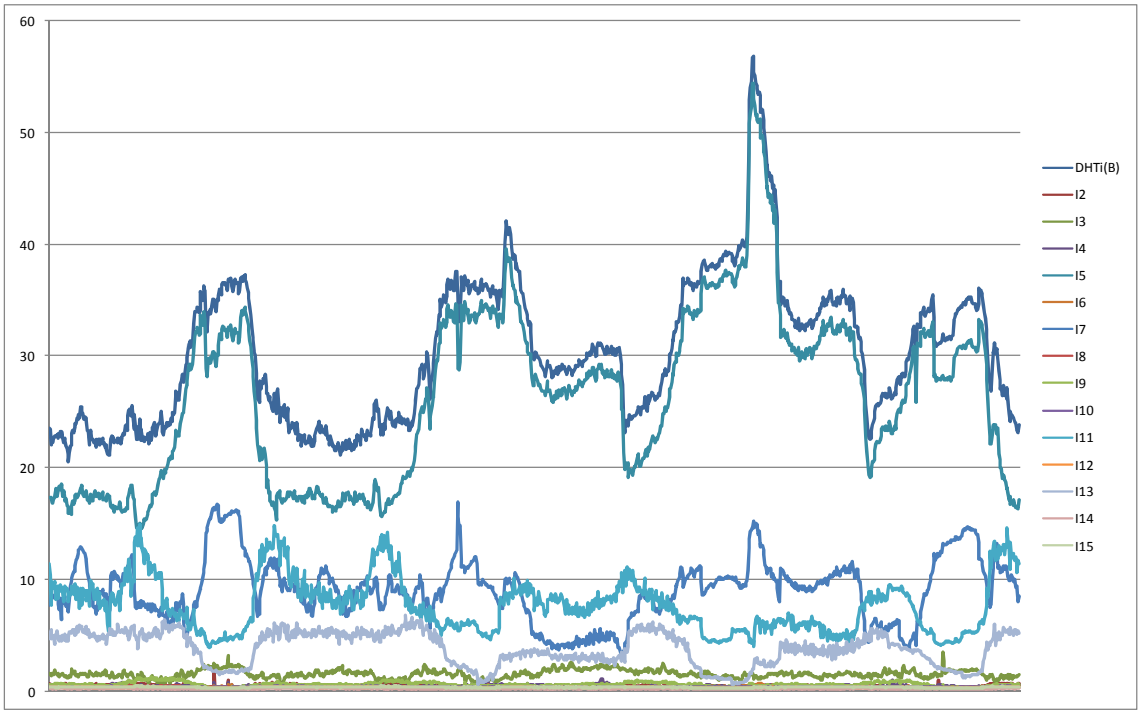
e) Distorções de Corrente Totais e Individuais (DHTi e Ih) em Amperes:

- Fase A:



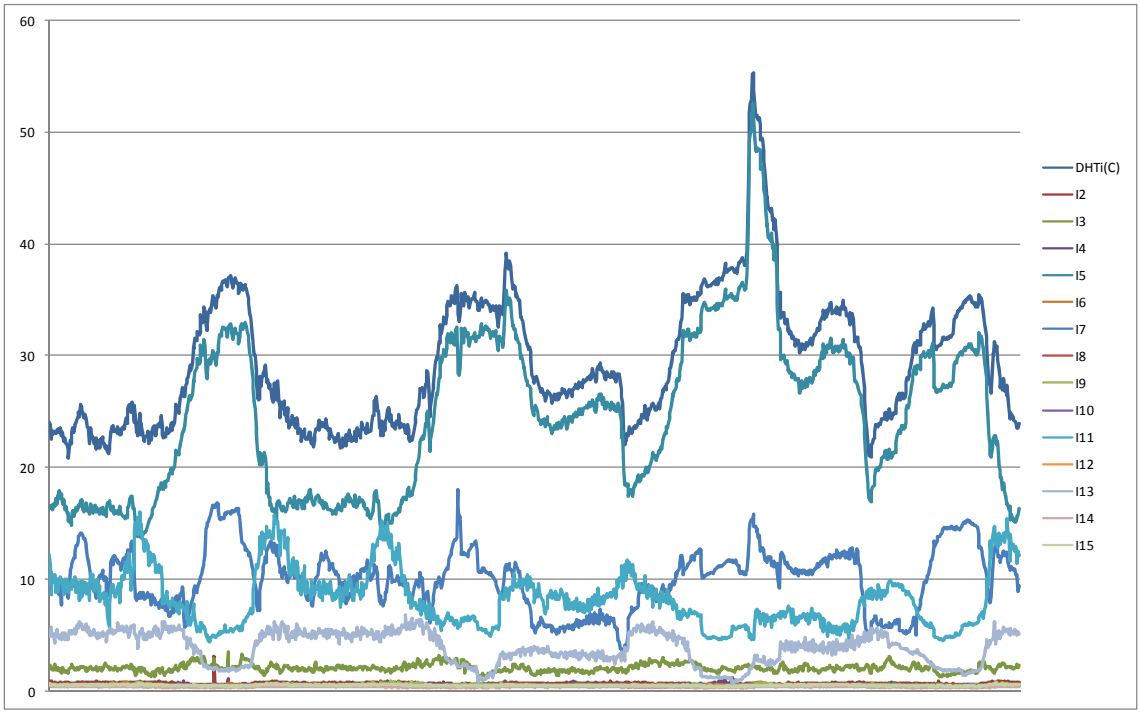
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase B:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

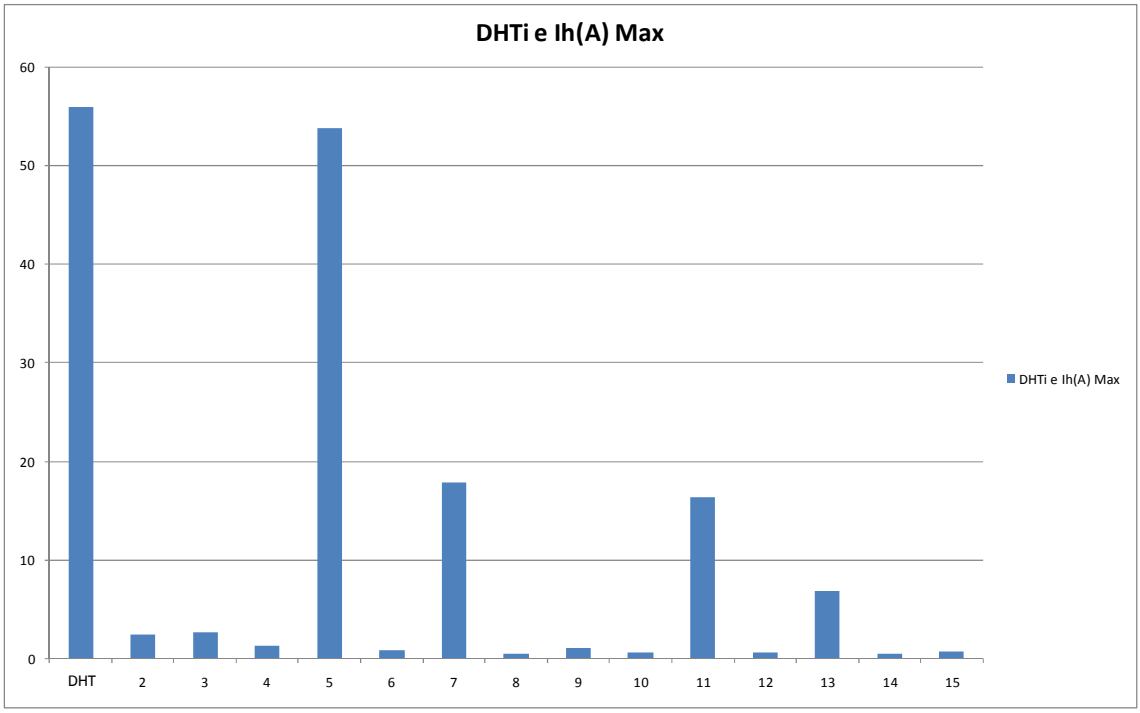
- Fase C:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

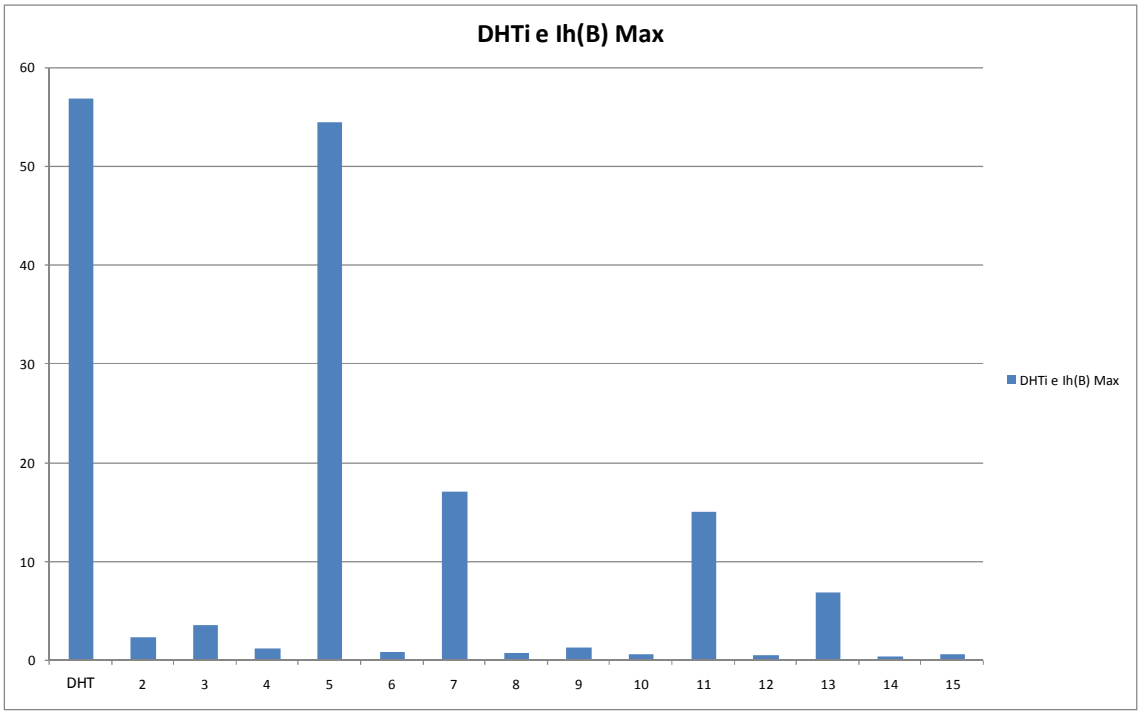
f) Espectro Harmônico Máximo de Corrente em Amperes:

- Fase A:



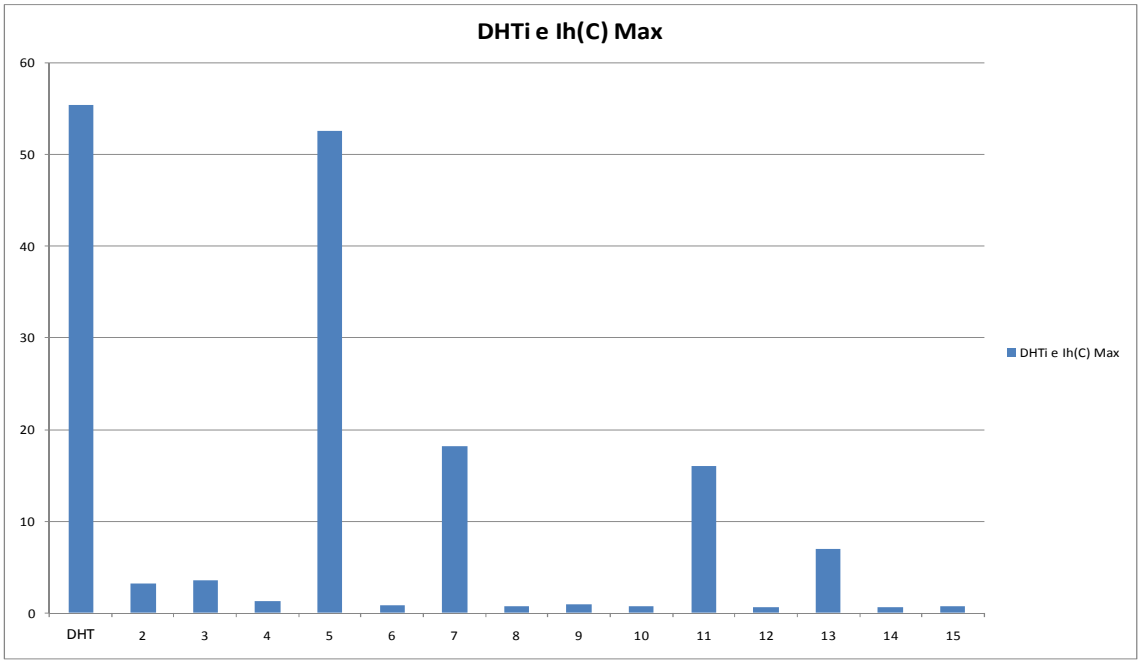
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase B:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase C:

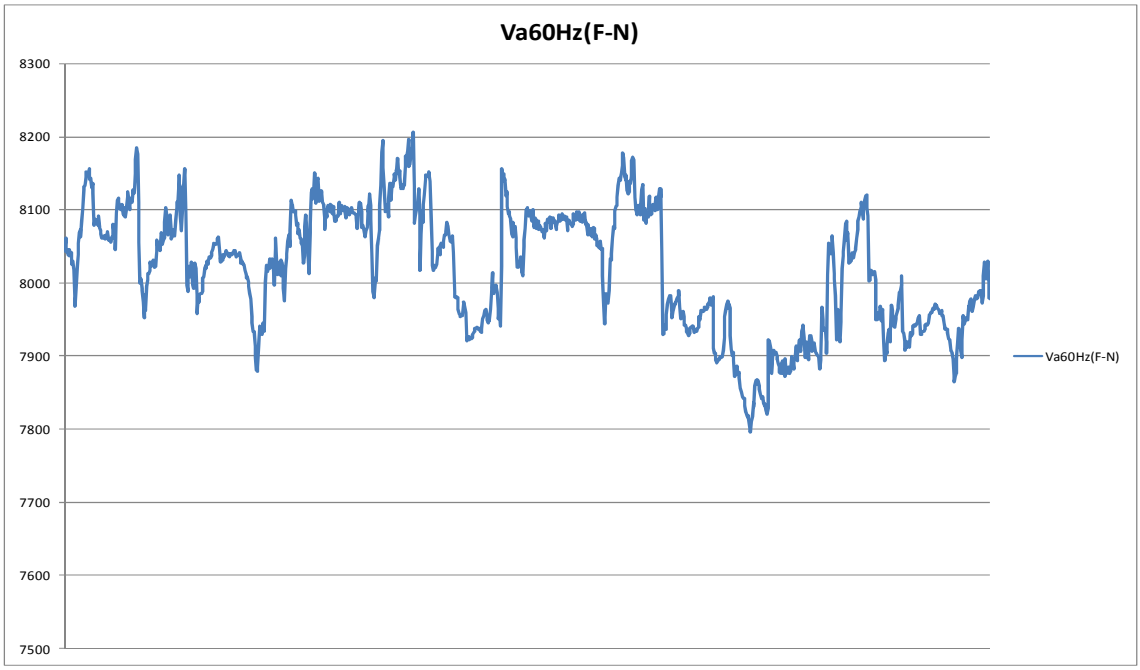


Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

5 Subestação Ceilândia Sul

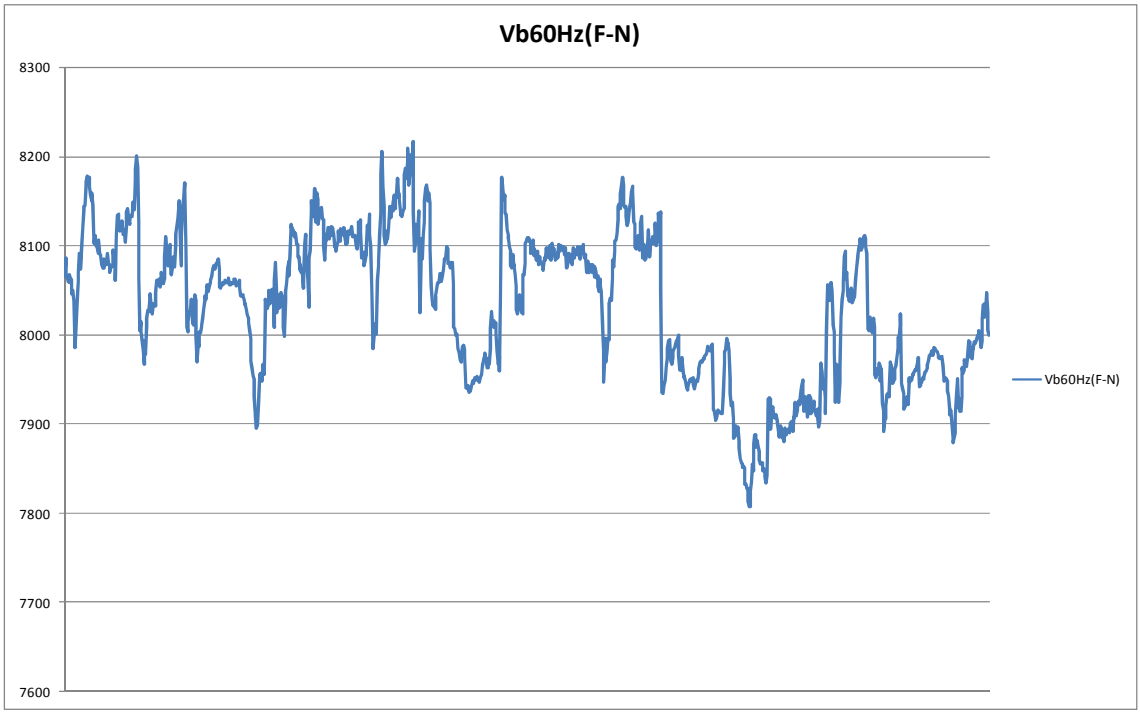
a) Tensões RMS Fase-Neutro em Volts:

- Fase A:



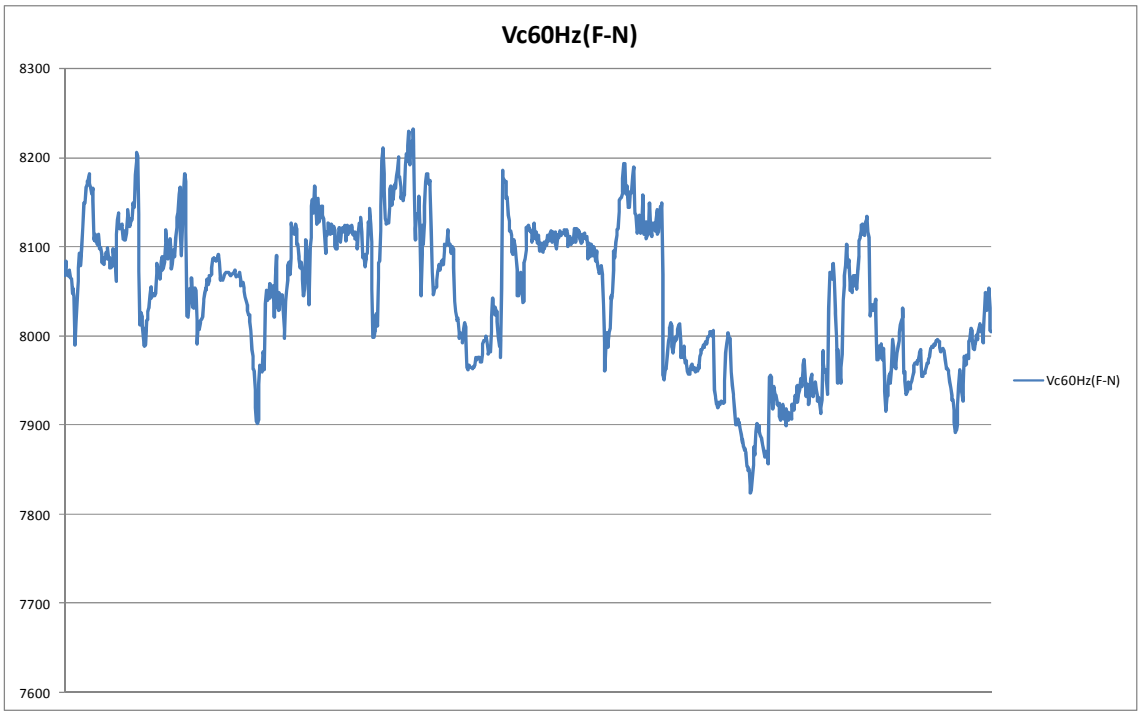
Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

- Fase B:



Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

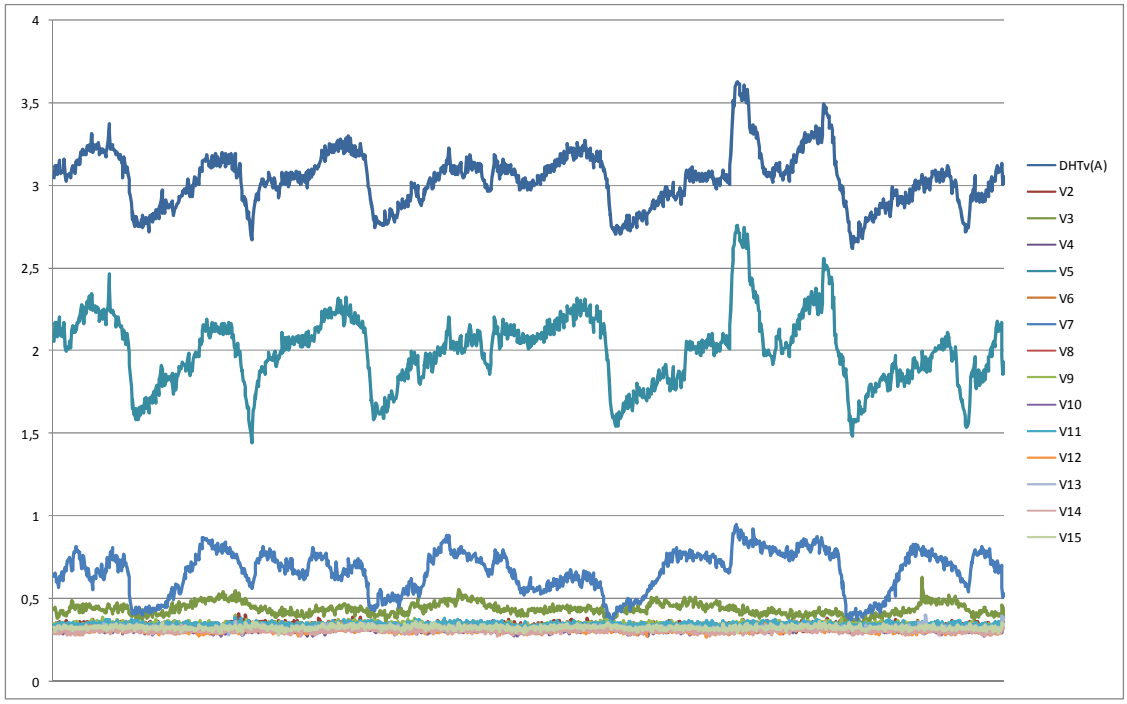
- Fase C:



Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

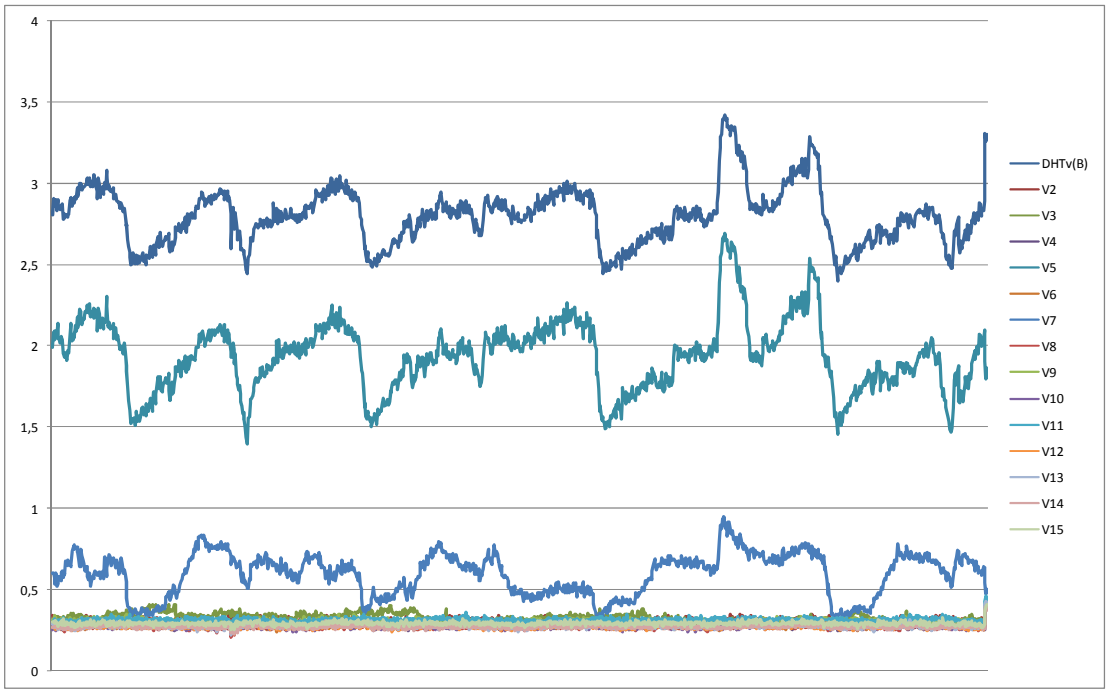
b) Distorções de Tensão Fase-Neutro Totais e Individuais (DHTv e Vh) em %:

- Fase A:



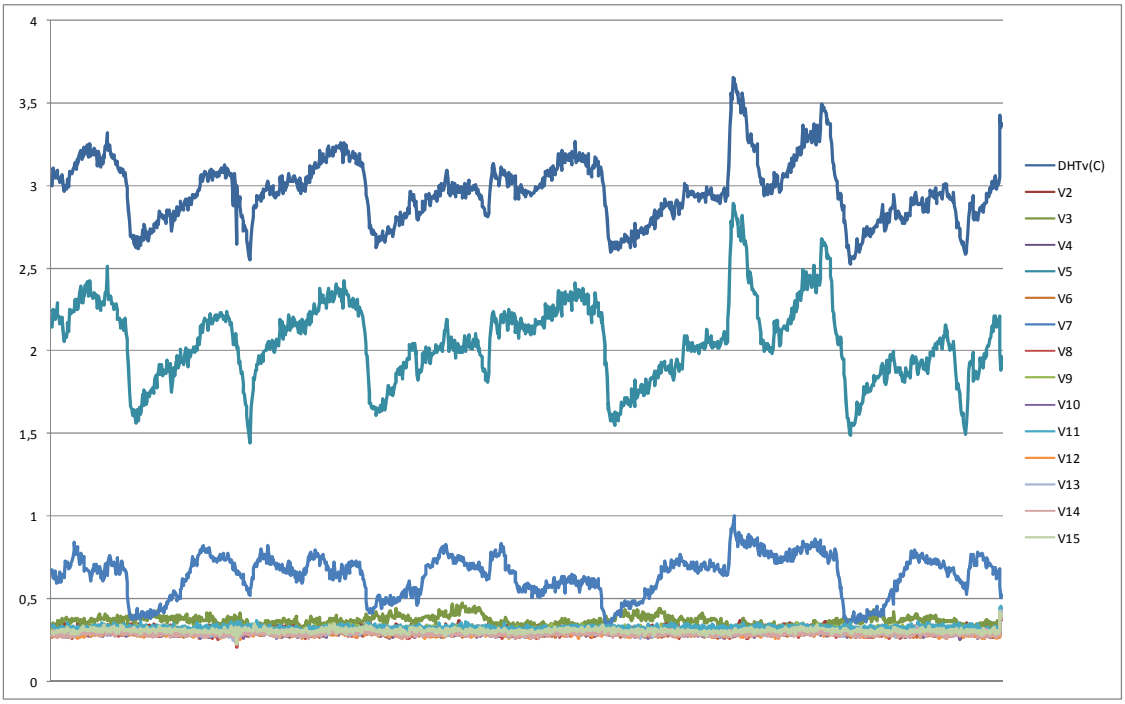
Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

- Fase B:



Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

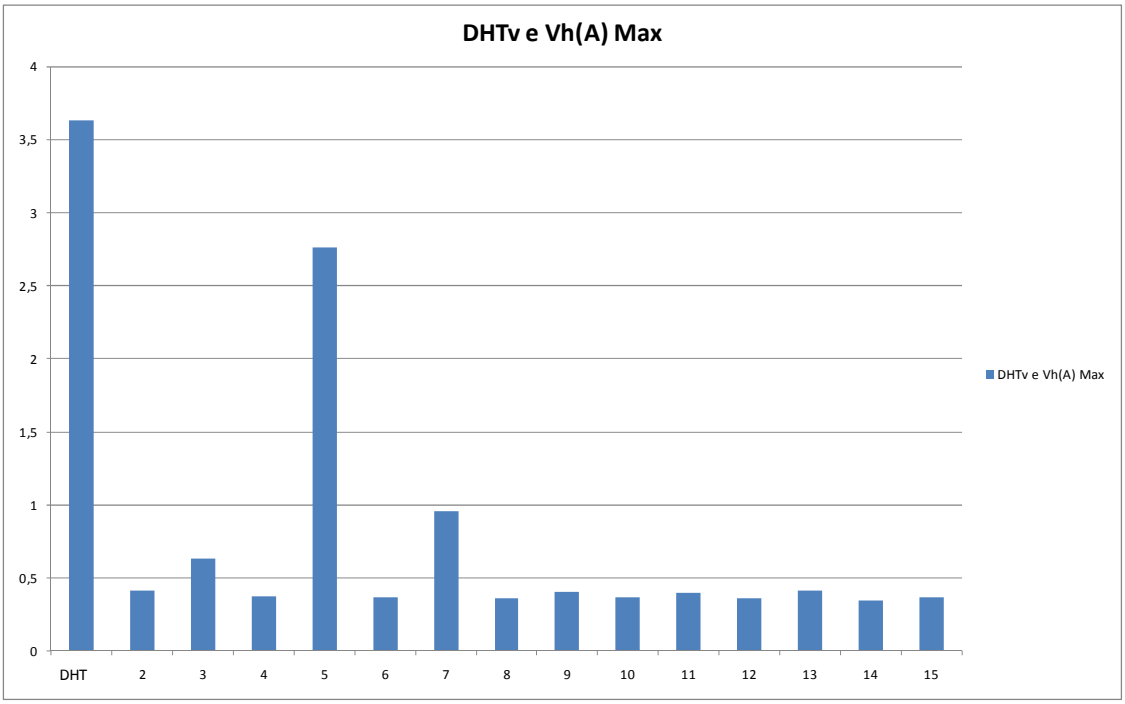
- Fase C:



Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

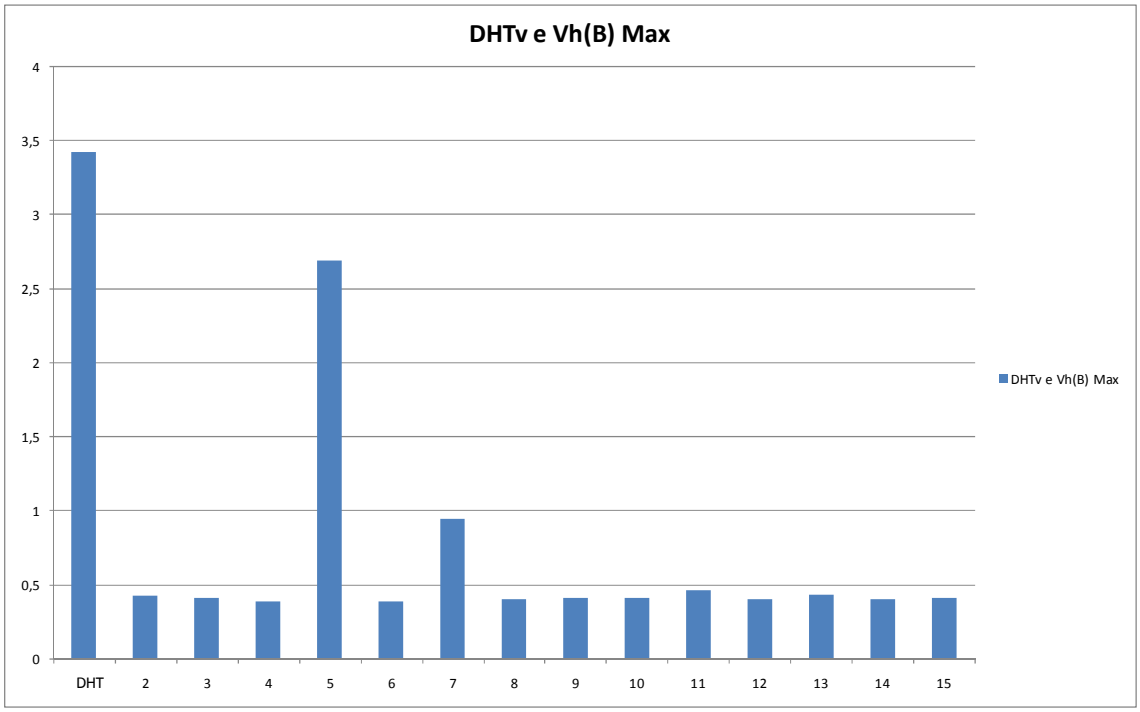
c) Espectro Harmônico Máximo de Tensão:

- Fase A:



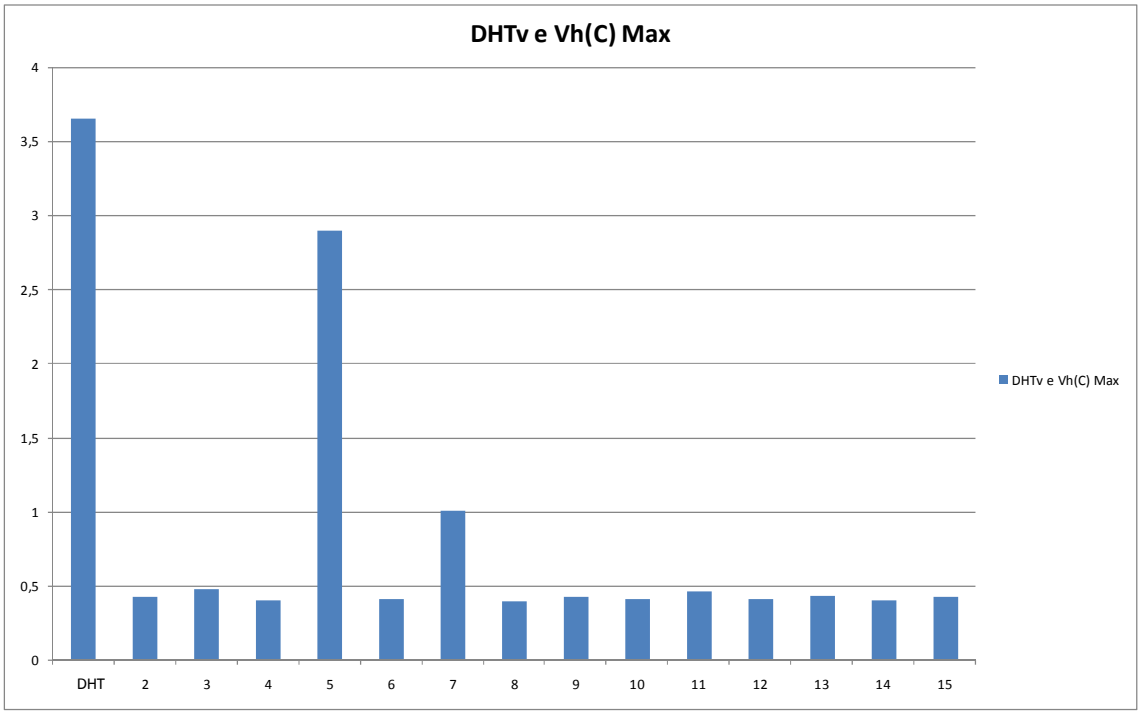
Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

- Fase B:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

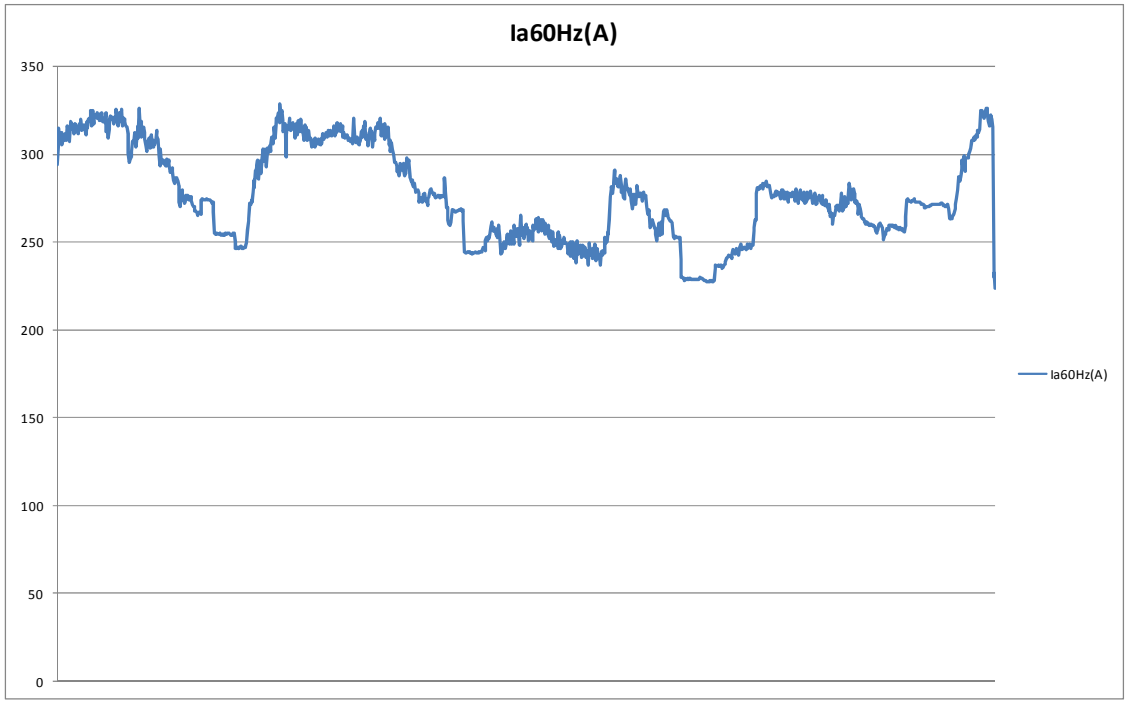
- Fase C:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

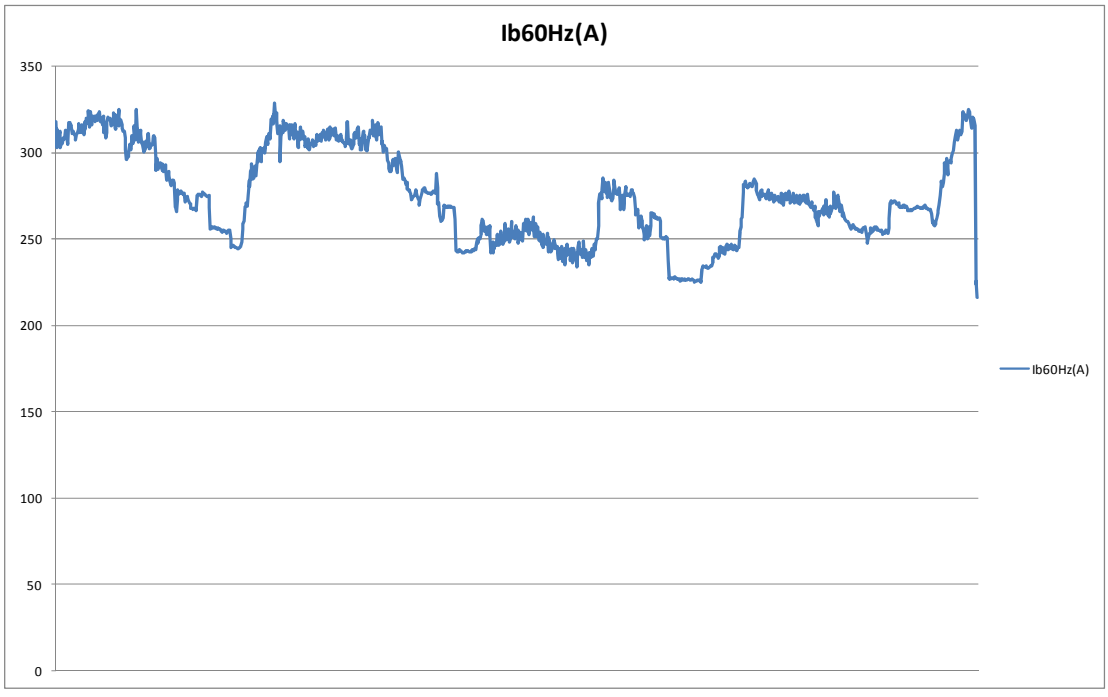
d) Correntes RMS em Amperes:

- Fase A:



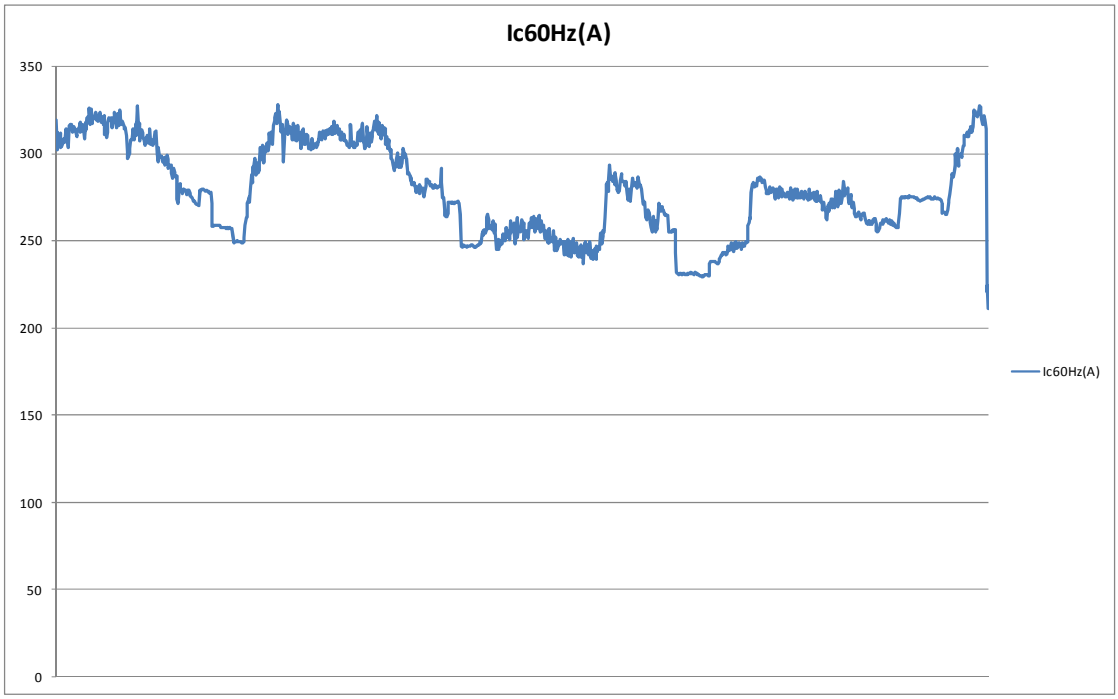
Observação: Variação da corrente rms com a carga.

- Fase B:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

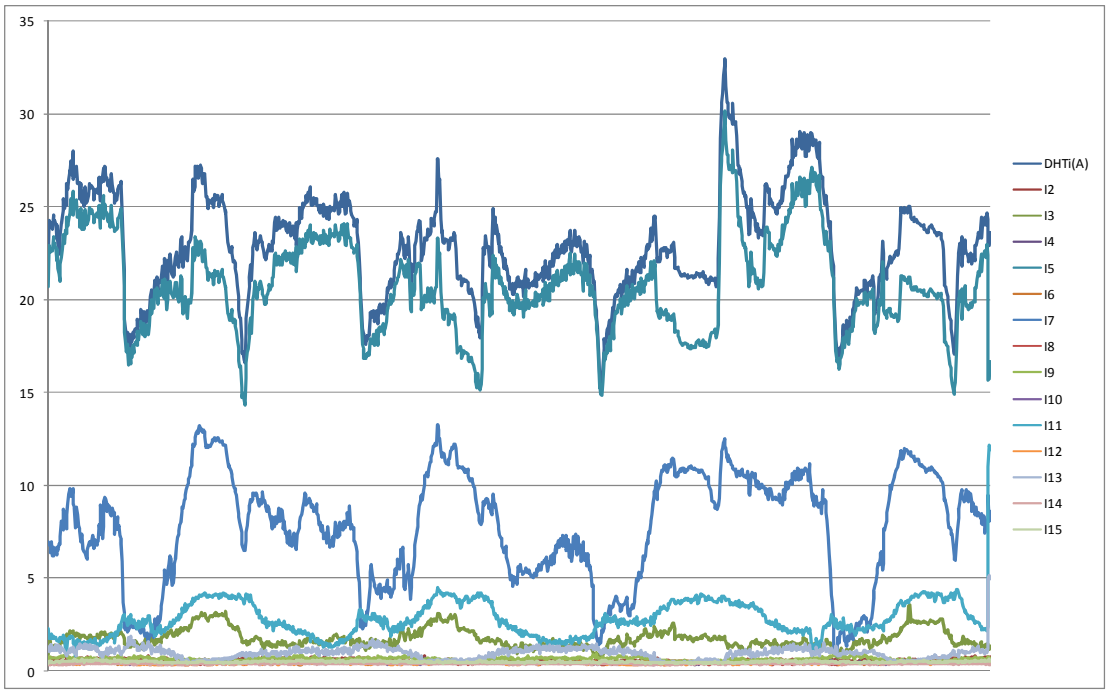
- Fase C:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

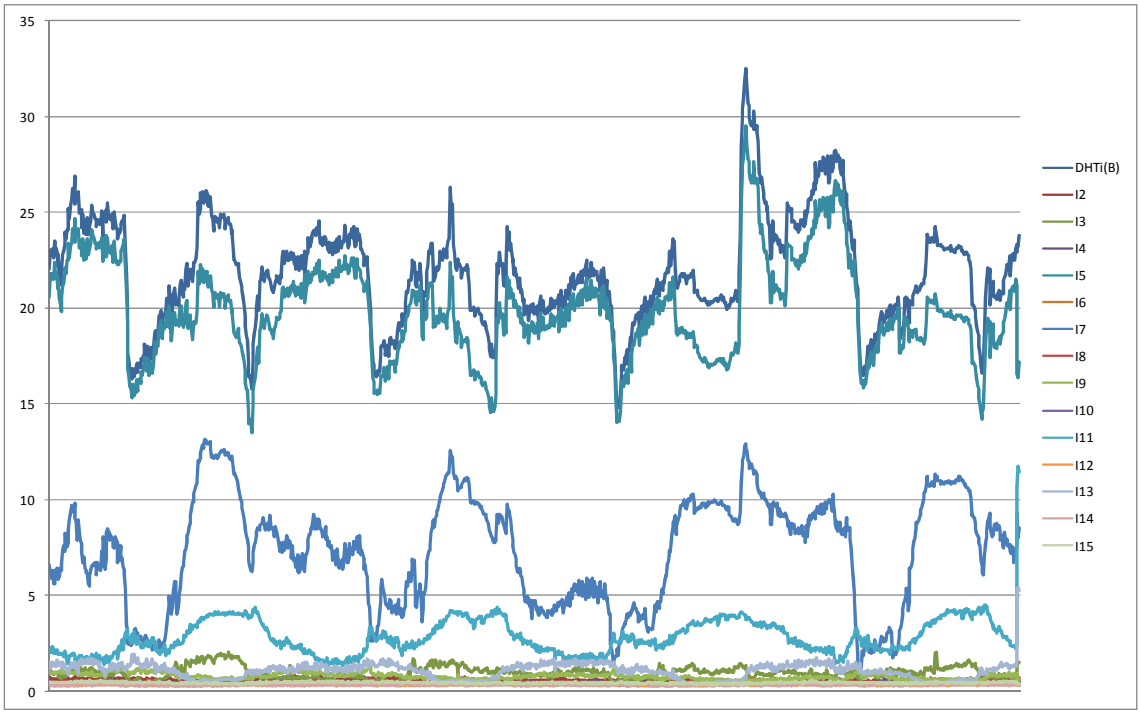
e) Distorções de Corrente Totais e Individuais (DHTi e Ih) em Amperes:

- Fase A:



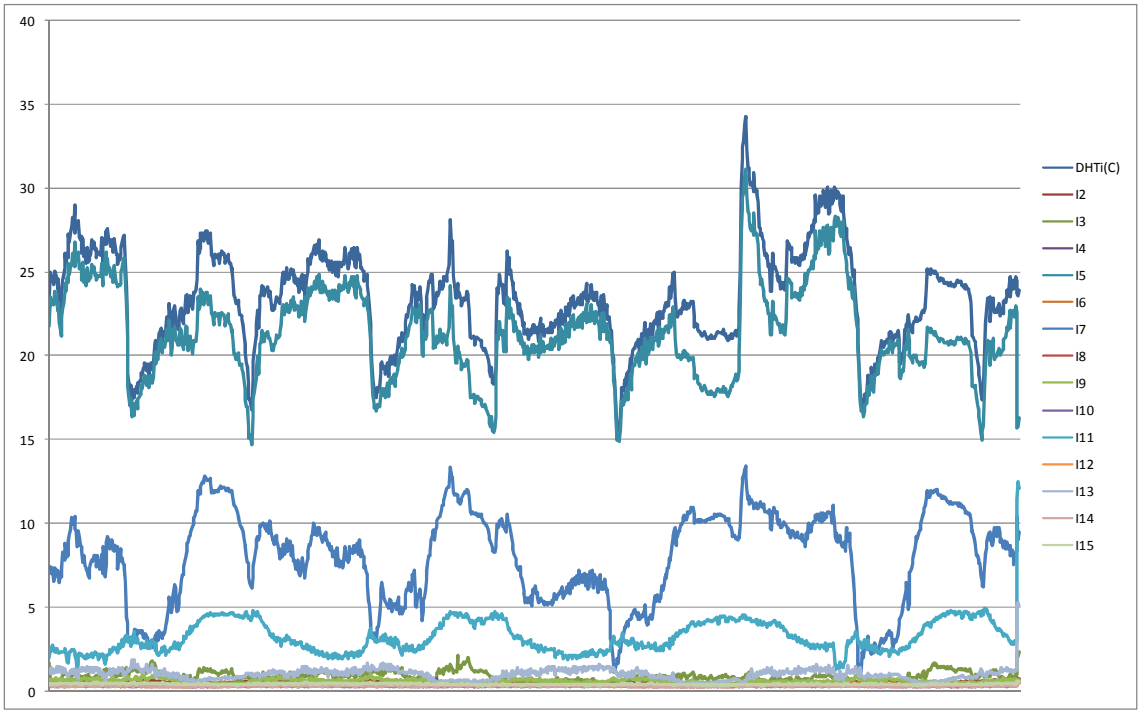
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase B:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

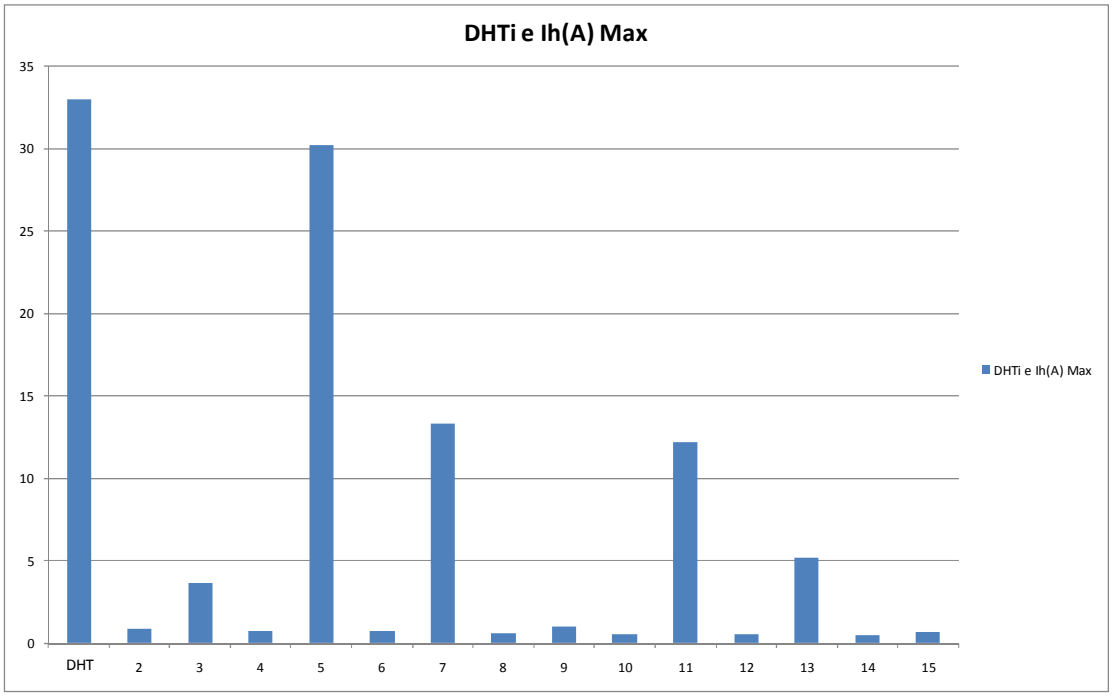
- Fase C:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

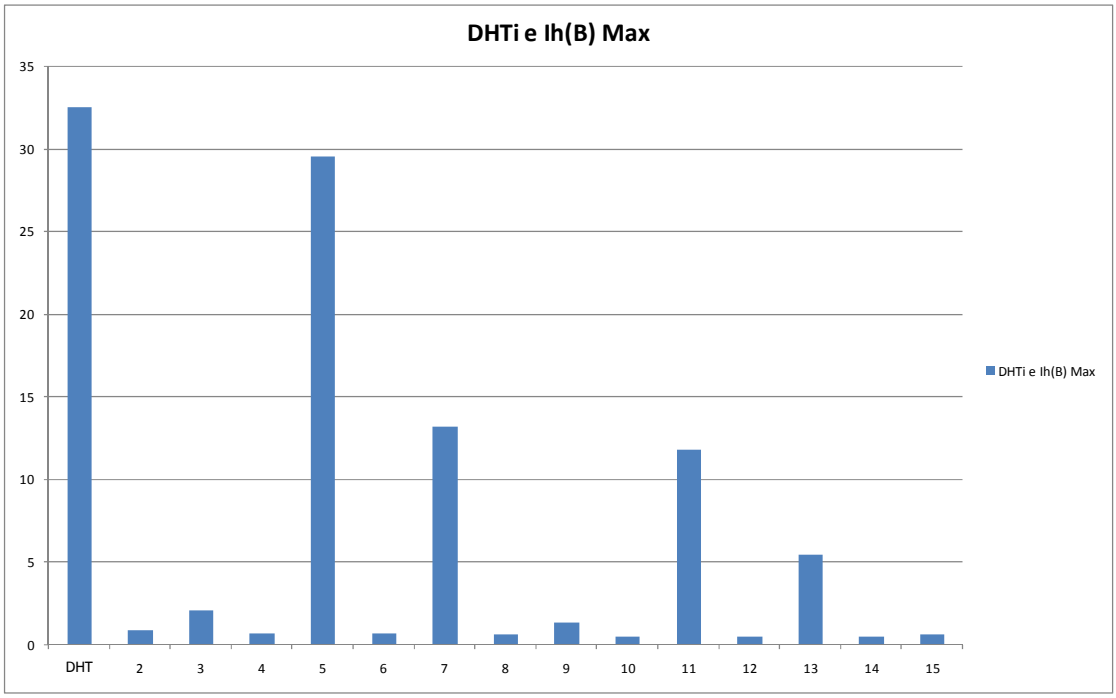
f) Espectro Harmônico Máximo de Corrente em Amperes

- Fase A:



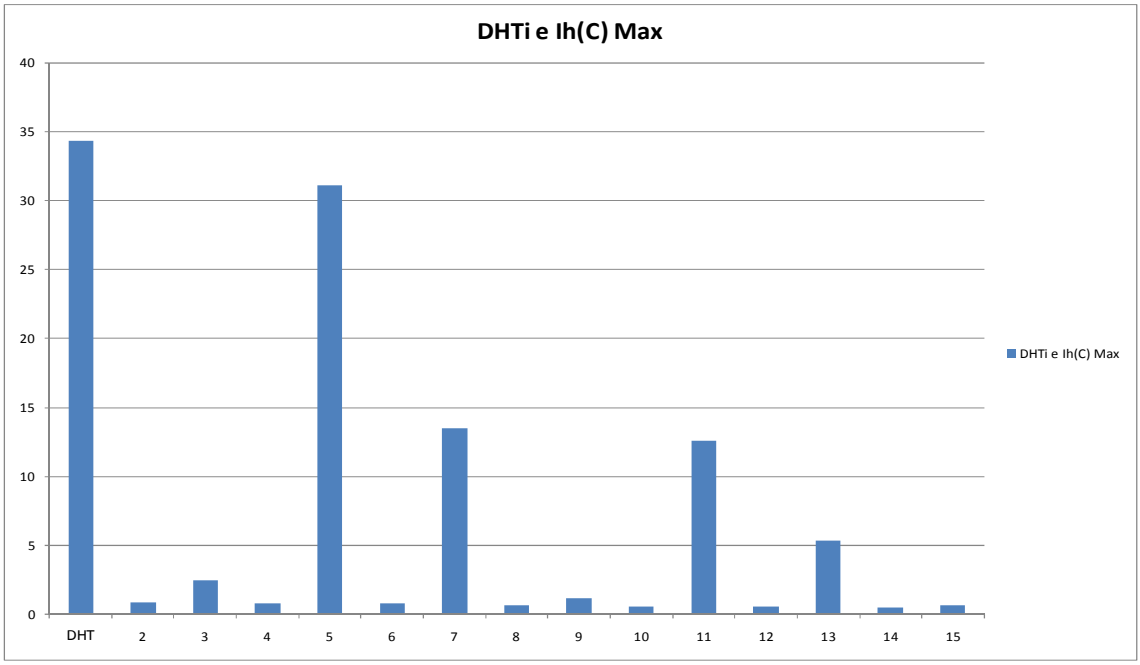
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase B:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase C:

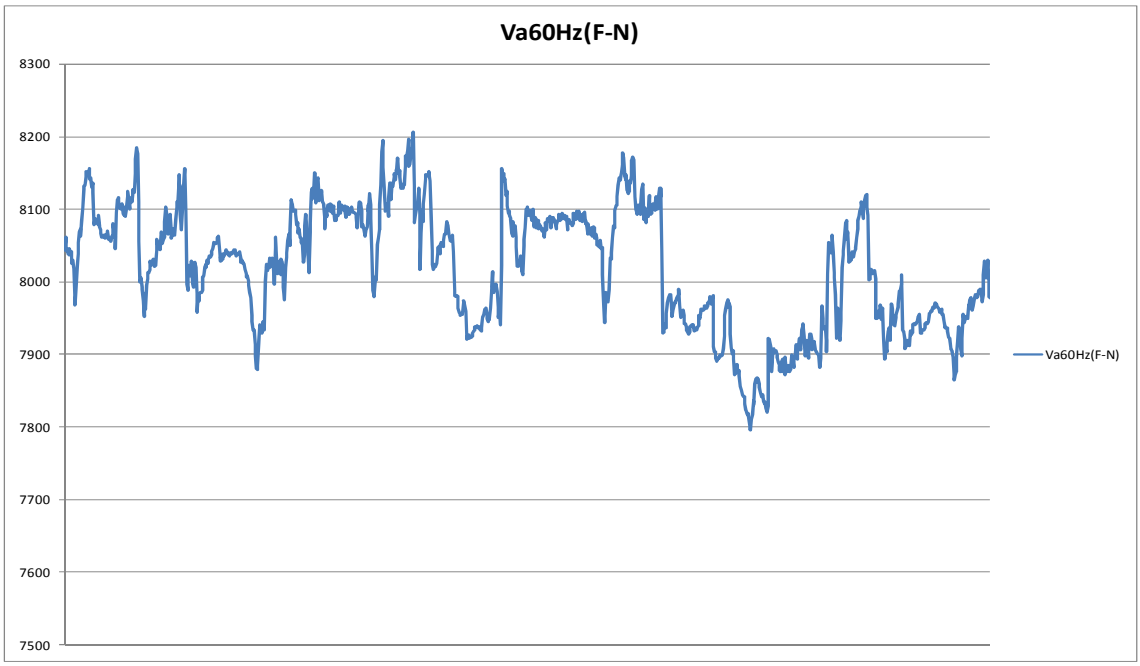


Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

6 Subestação Retificadora SR02

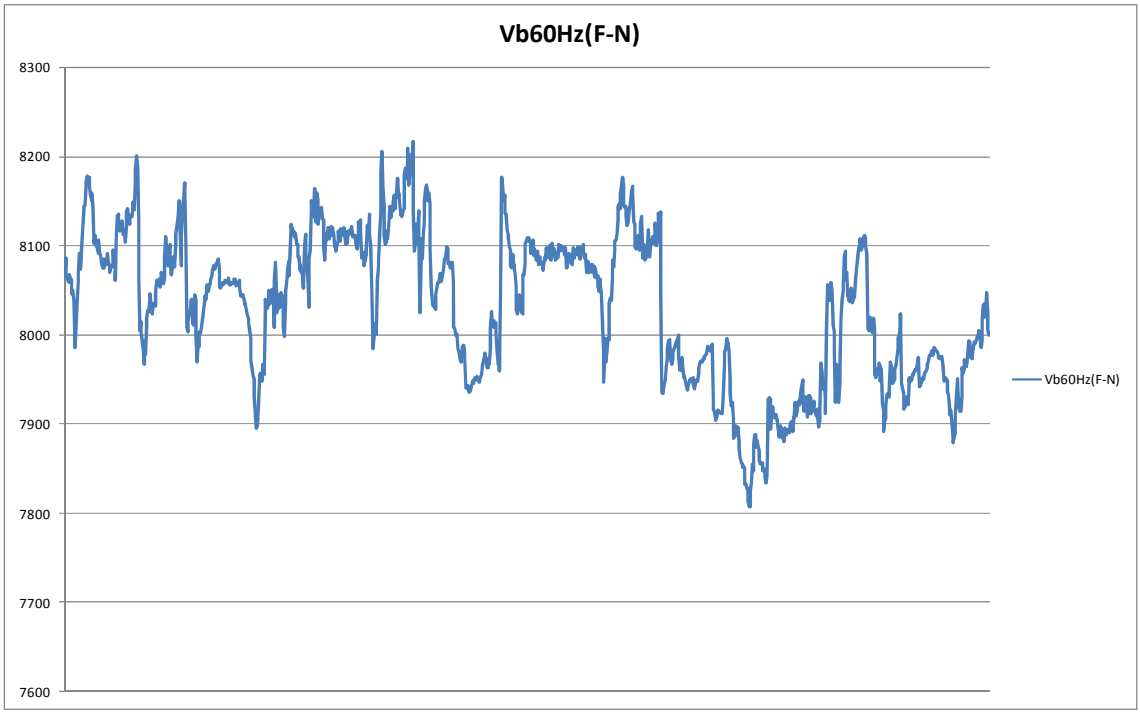
a) Tensões RMS Fase-Neutro em Volts:

- Fase A:



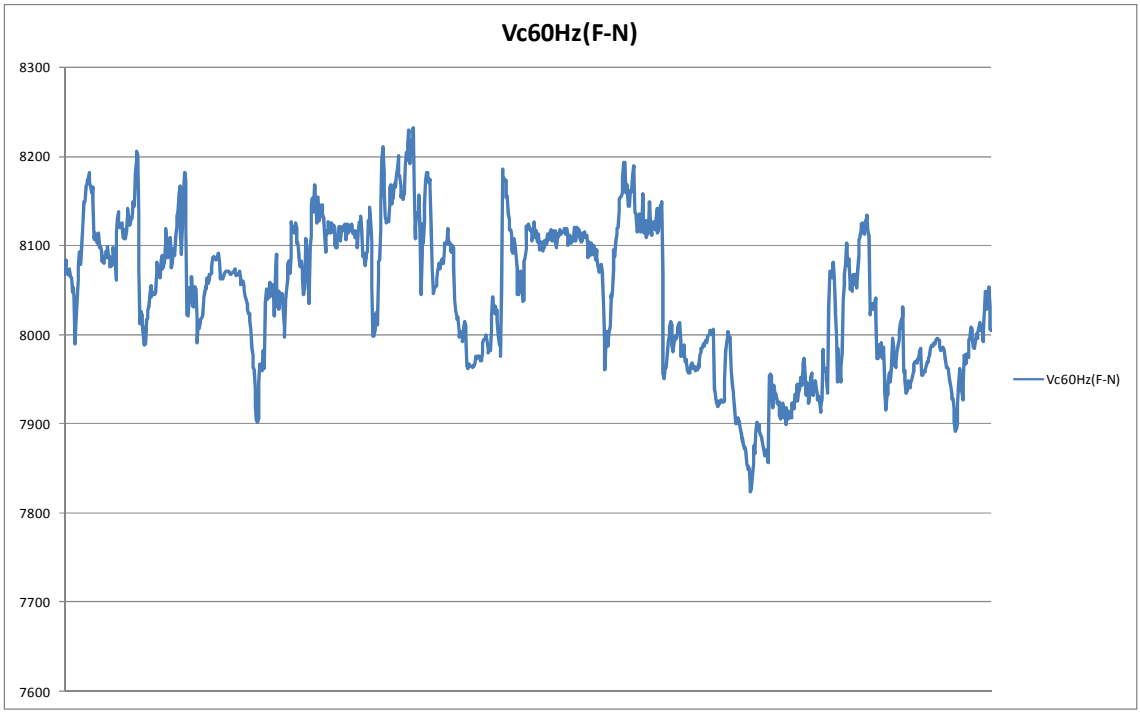
Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

- Fase B:



Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

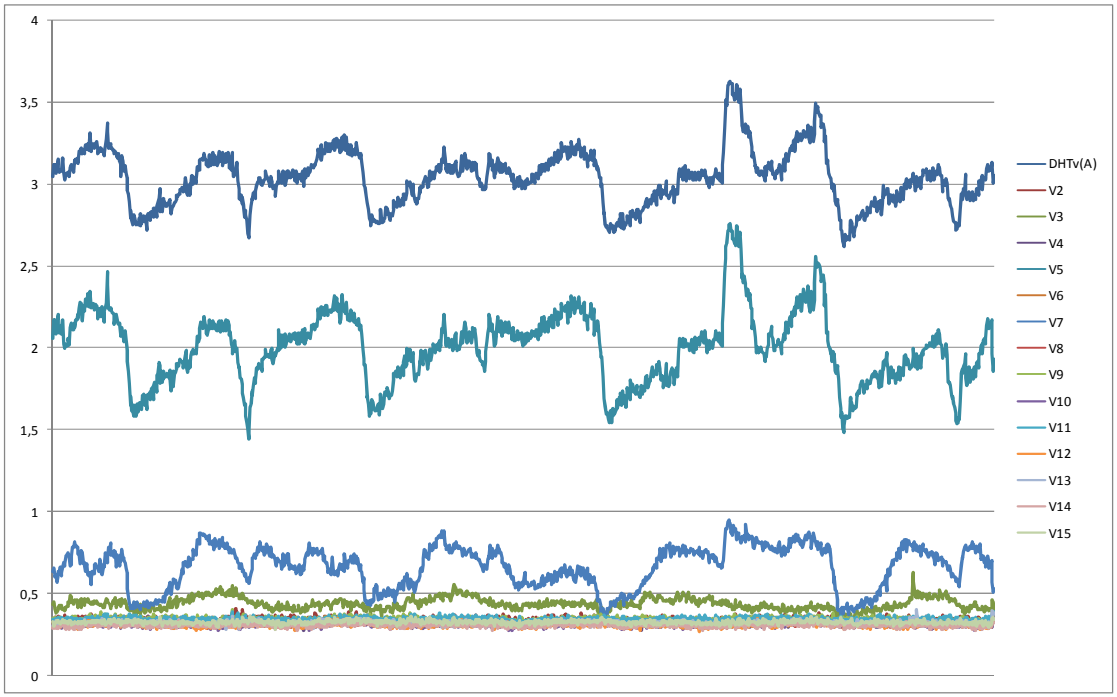
- Fase C:



Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

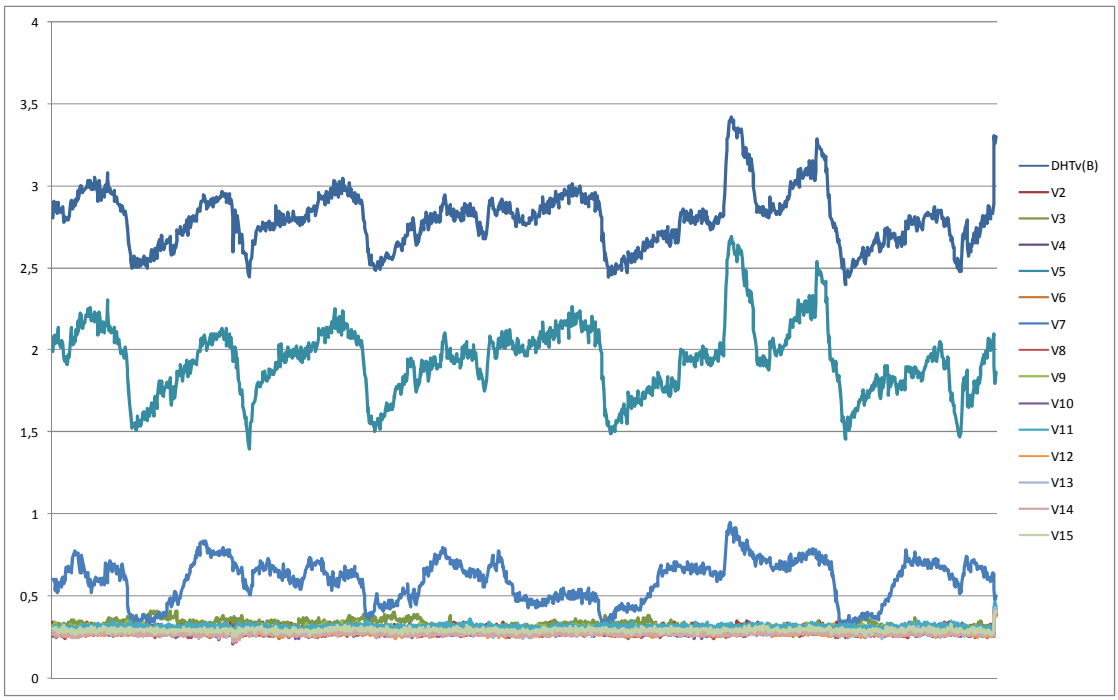
b) Distorções de Tensão Fase-Neutro Totais e Individuais (DHTv e Vh) em %

- Fase A:



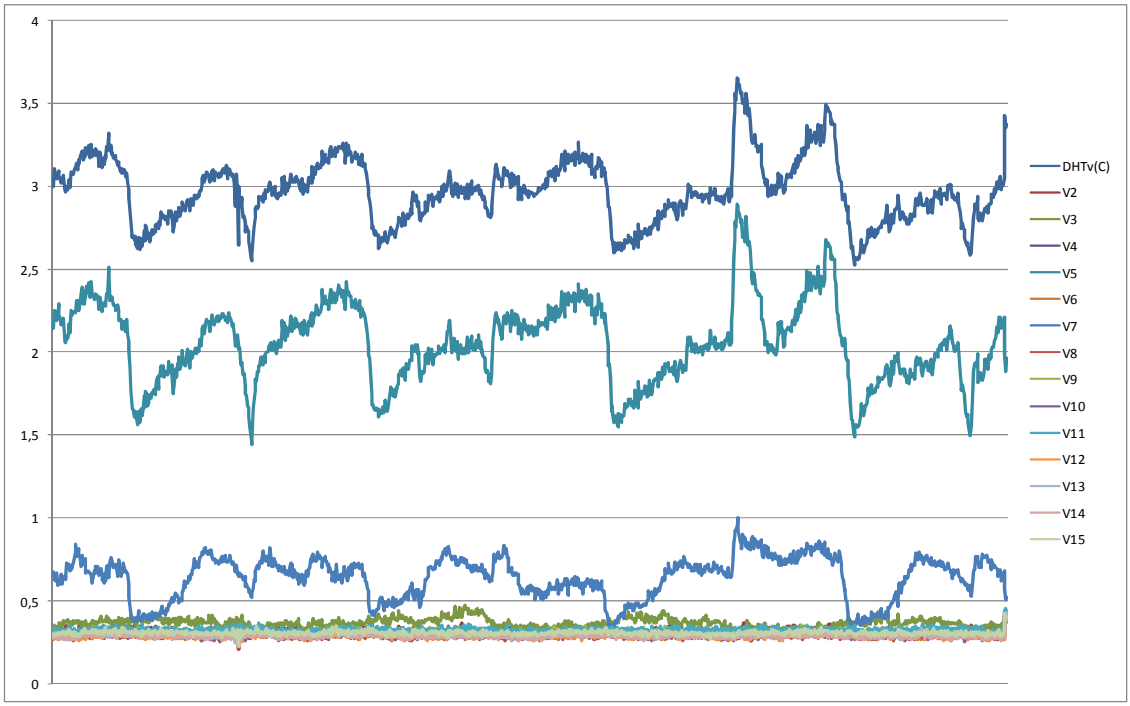
Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

- Fase B:



Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

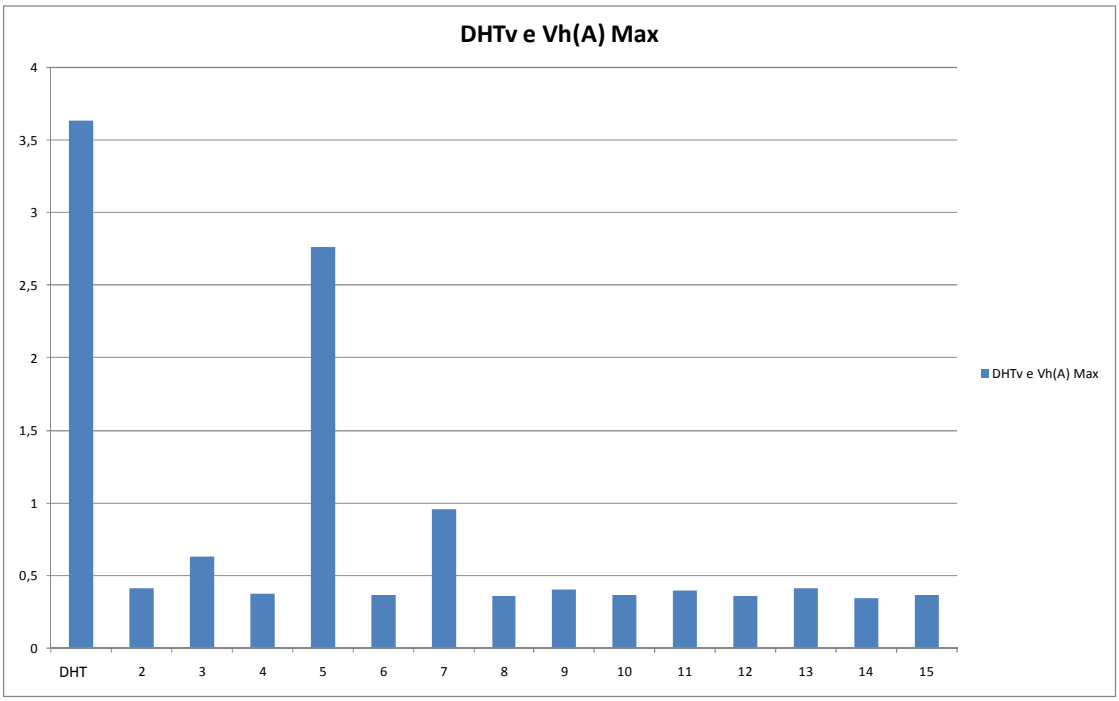
- Fase C:



Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

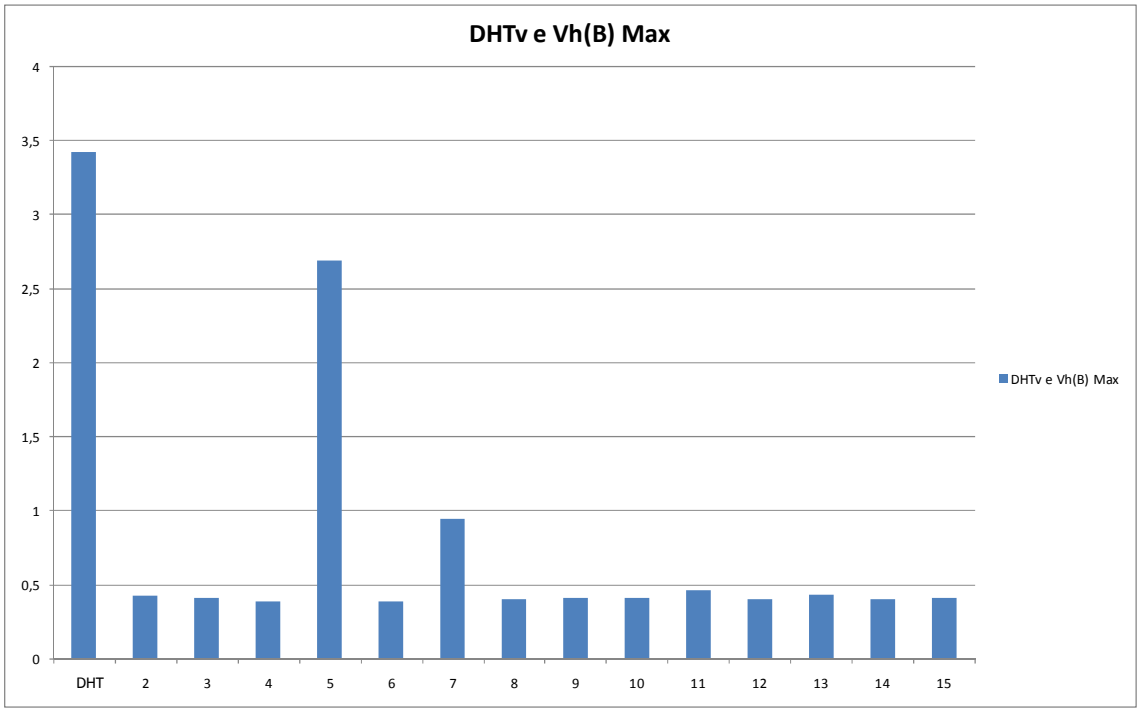
c) Espectro Harmônico Máximo de Tensão:

- Fase A:



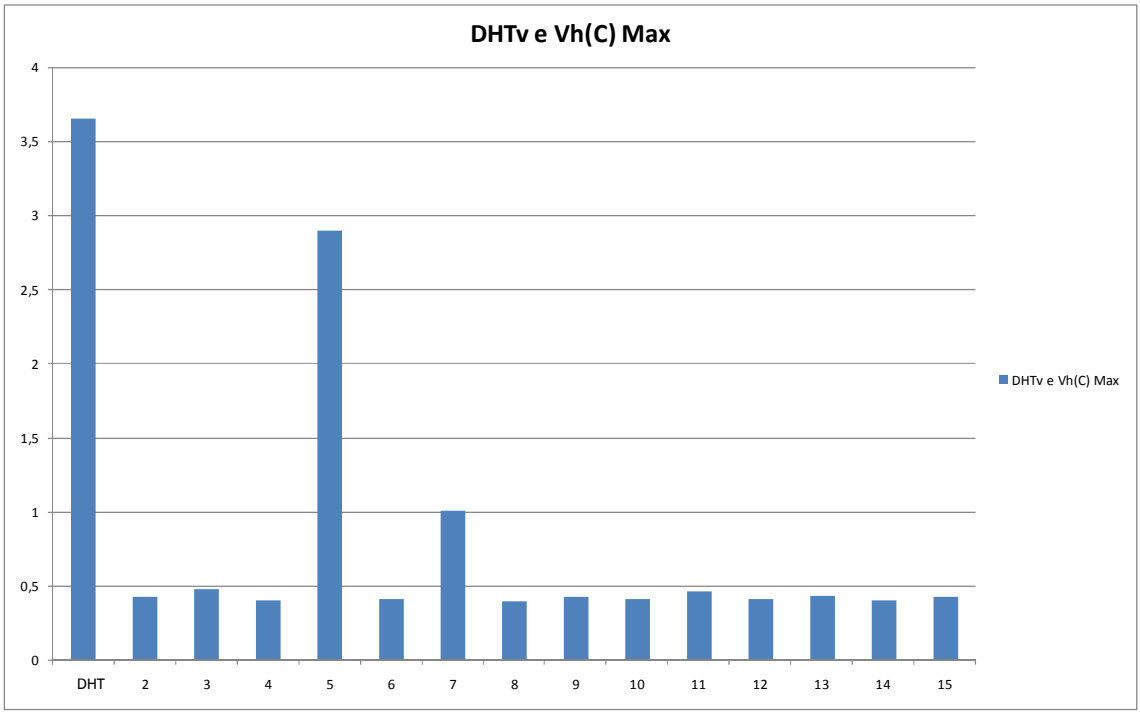
Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

- Fase B:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

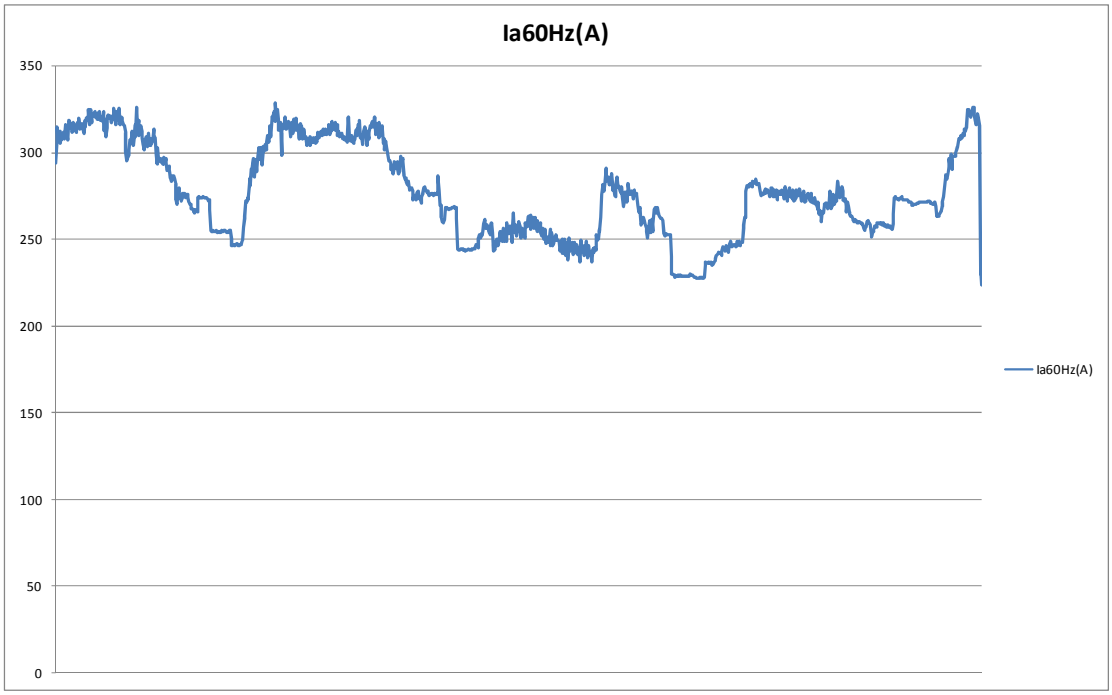
- Fase C:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

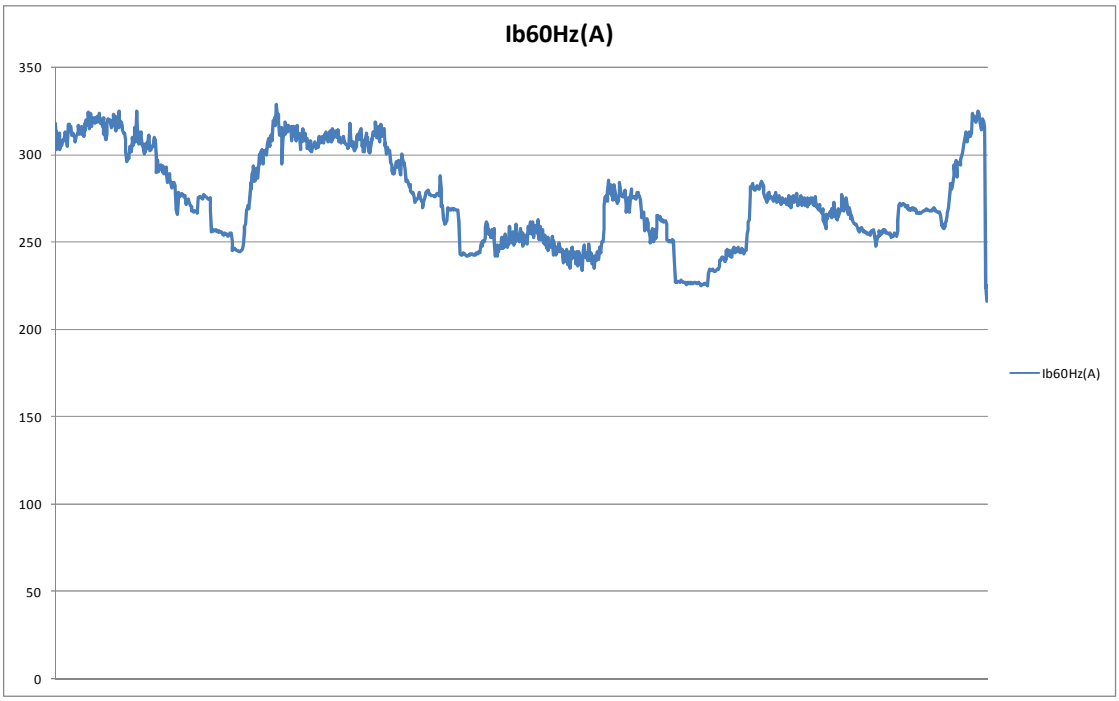
d) Correntes RMS em Amperes:

- Fase A:



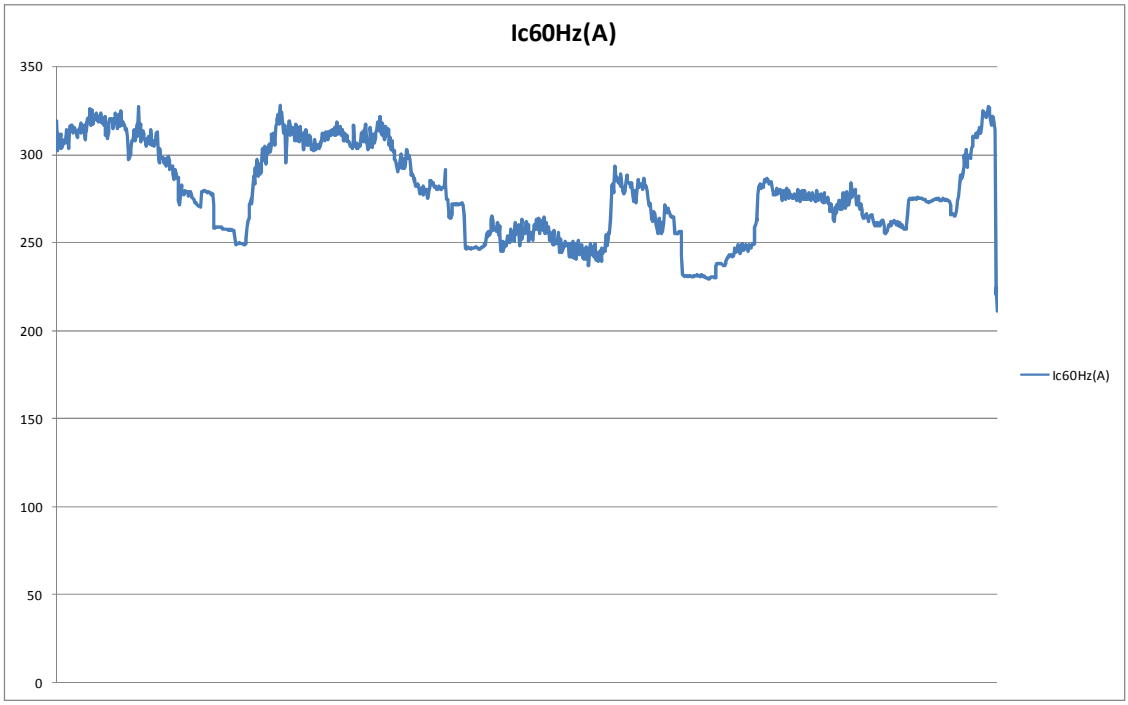
Observação: Variação da corrente rms com a carga.

- Fase B:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

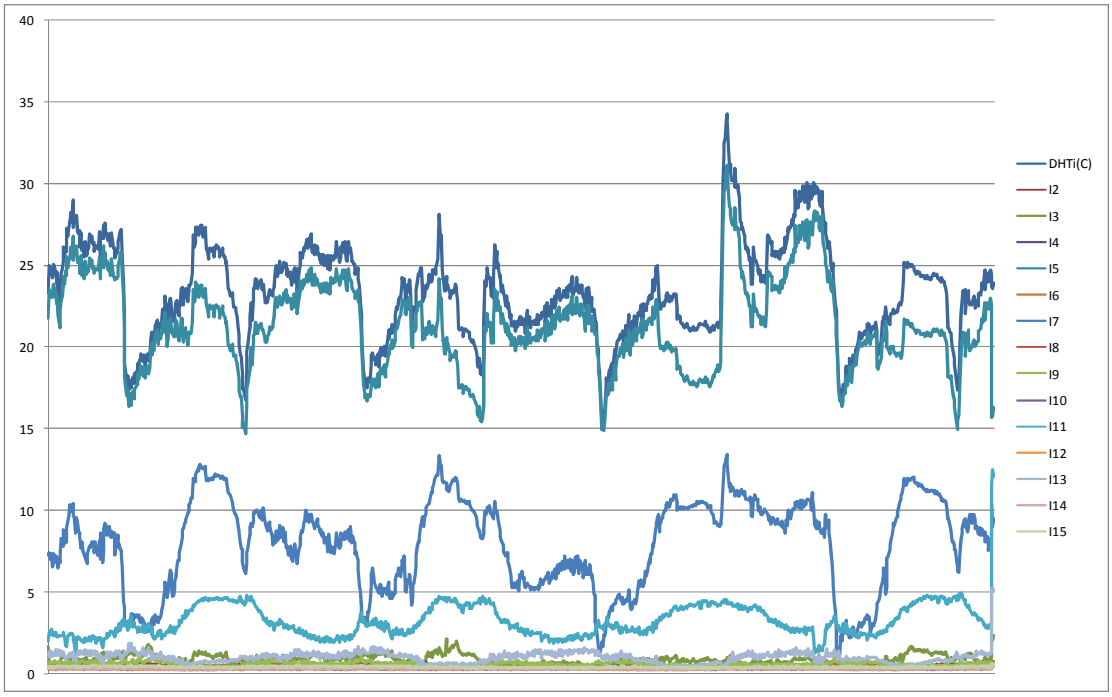
- Fase C:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

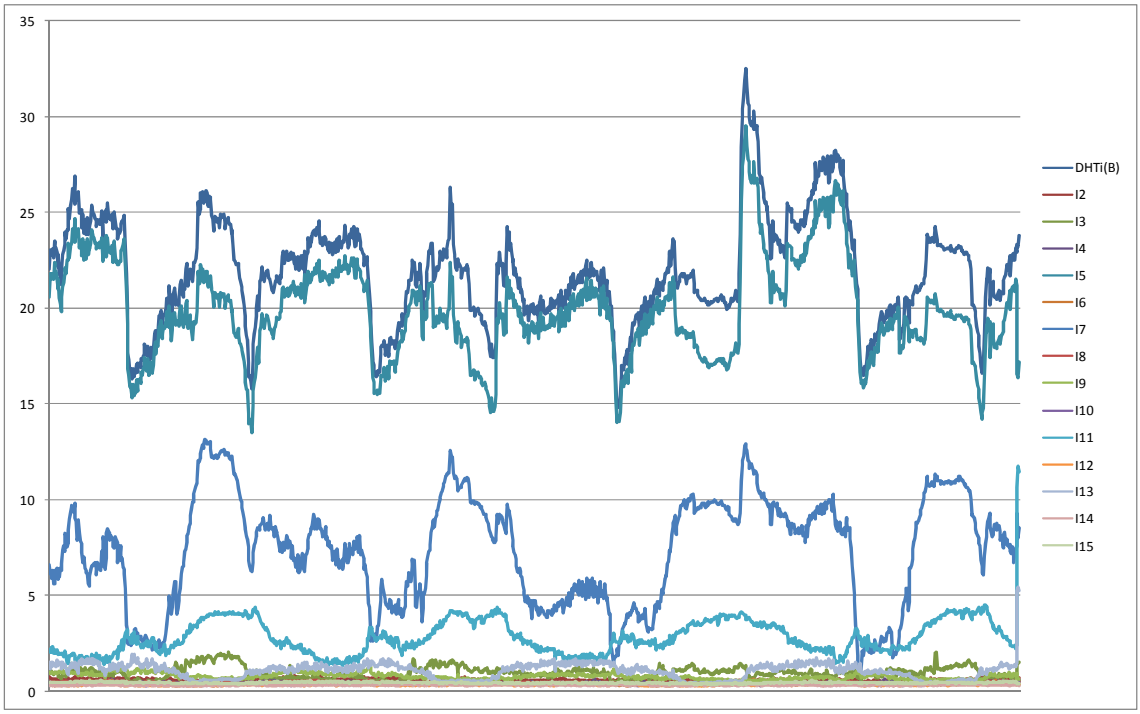
e) Distorções de Corrente Totais e Individuais (DHTi e Ih) em Amperes

- Fase A:



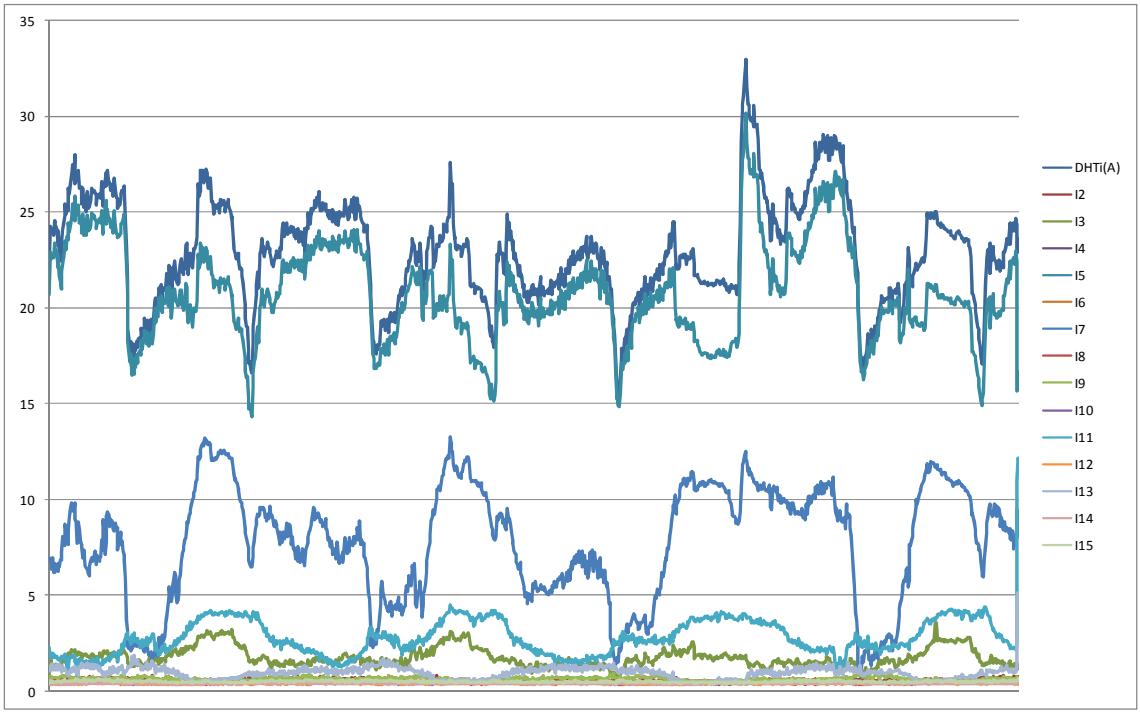
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase B:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

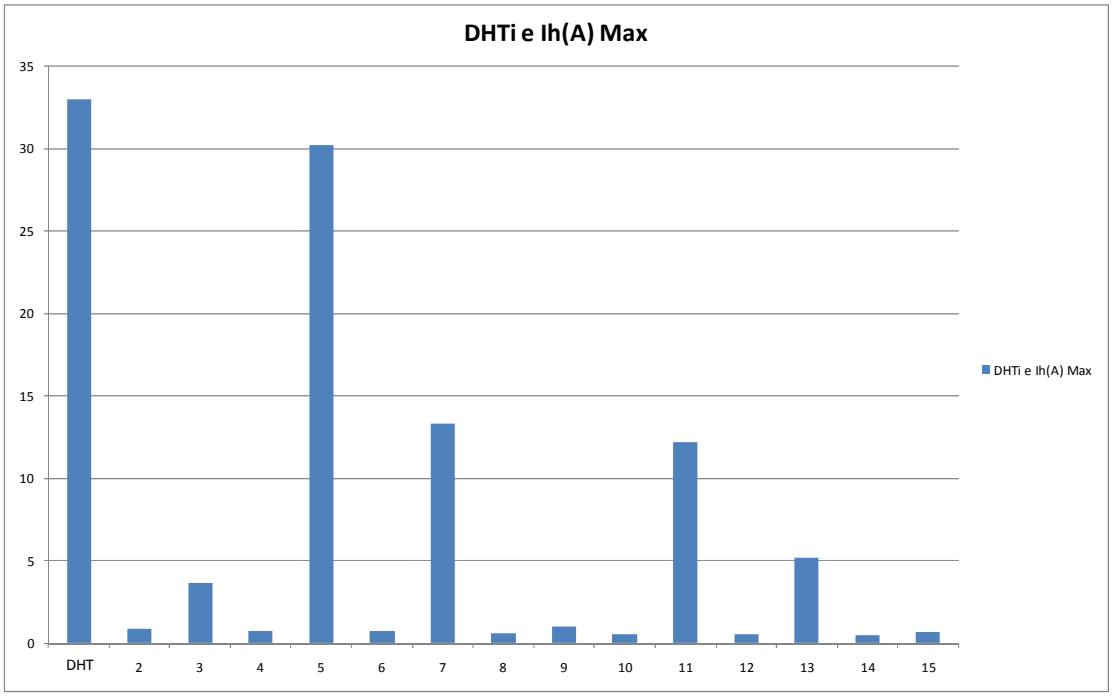
- Fase C:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

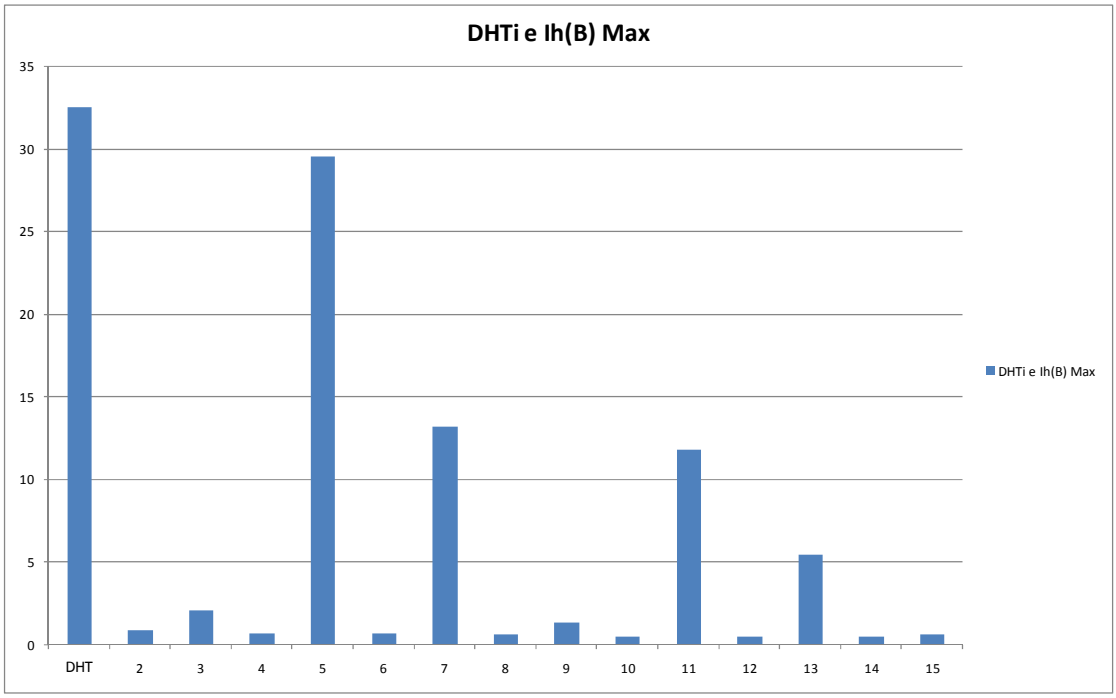
f) Espectro Harmônico Máximo de Corrente em Amperes:

- Fase A:



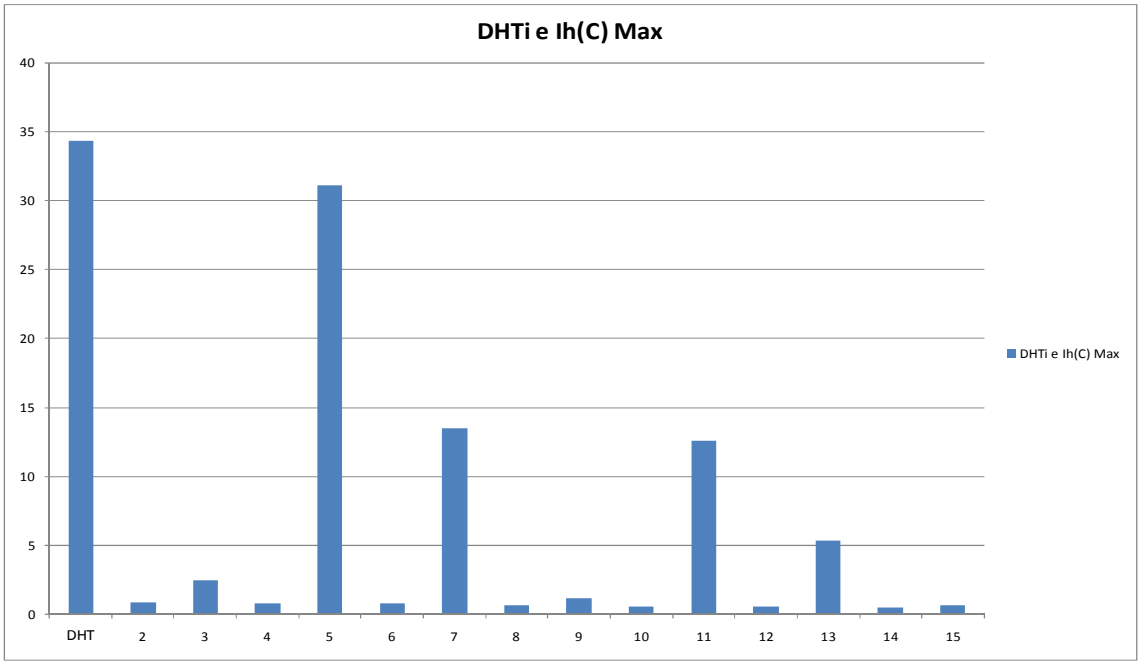
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase B:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase C:

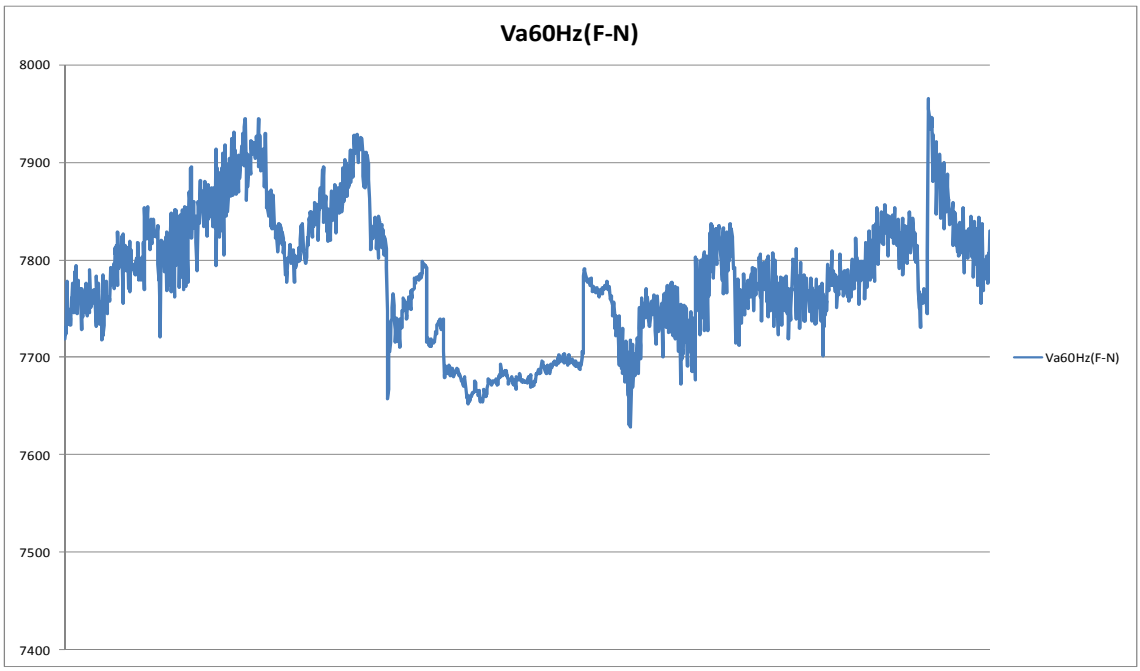


Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

7 Subestação Retificadora SR07 (medição 01)

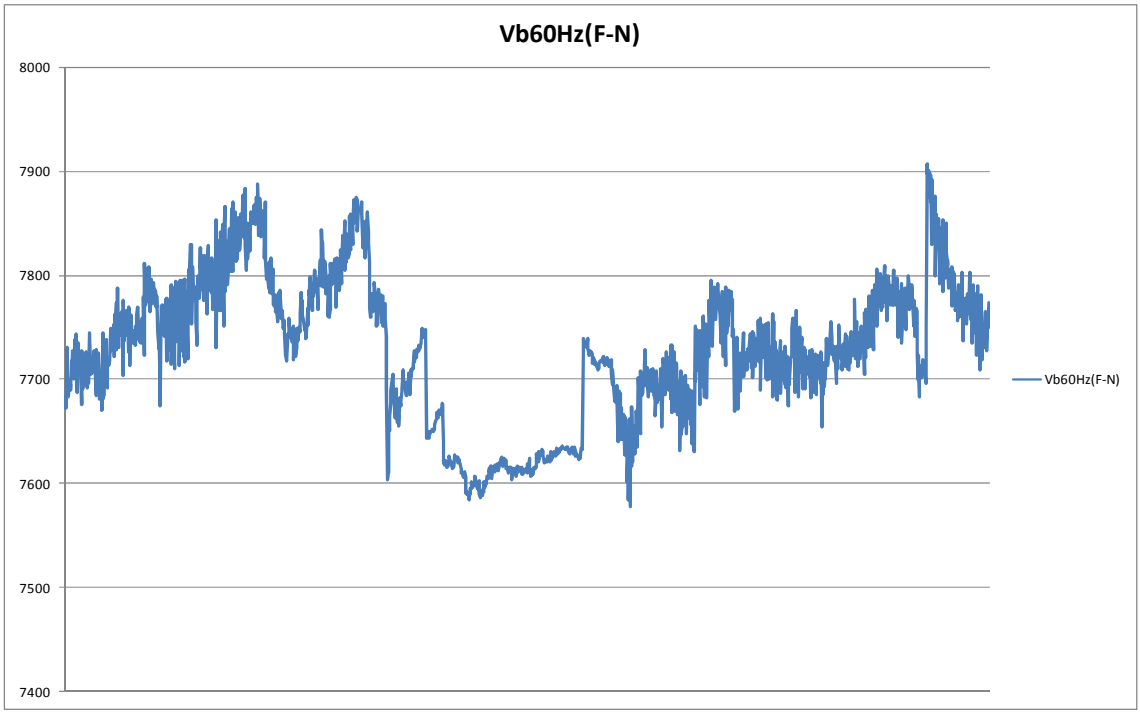
a) Tensões RMS Fase-Neutro em Volts:

- Fase A:



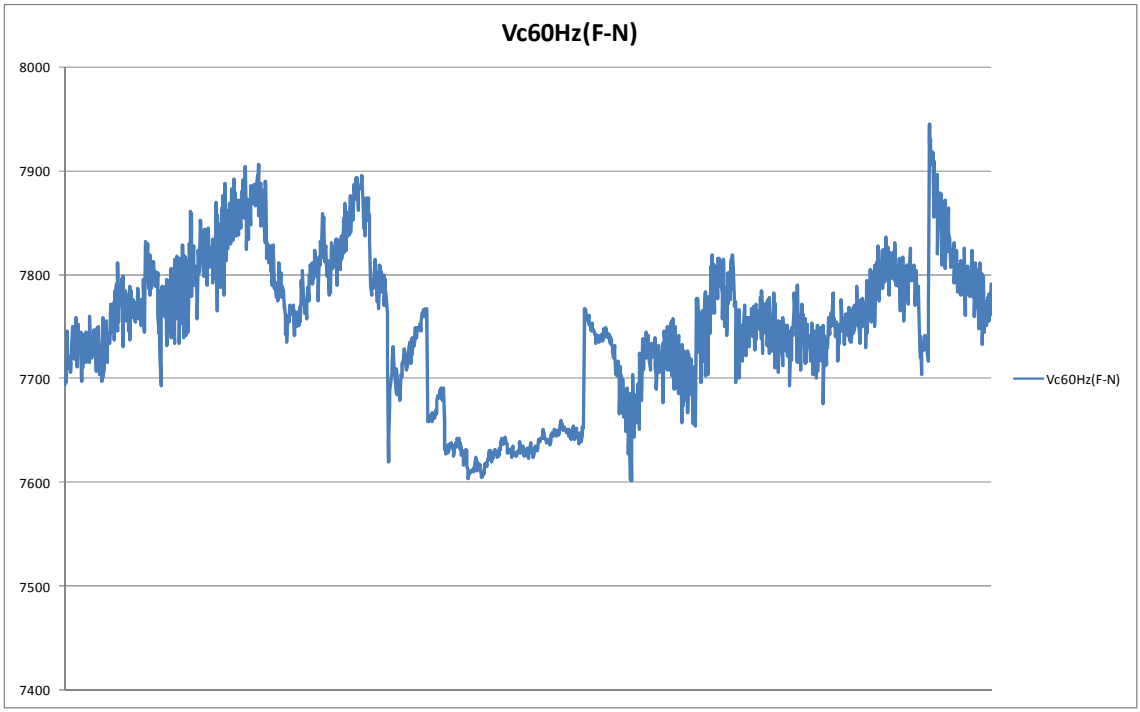
Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

- Fase B:



Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

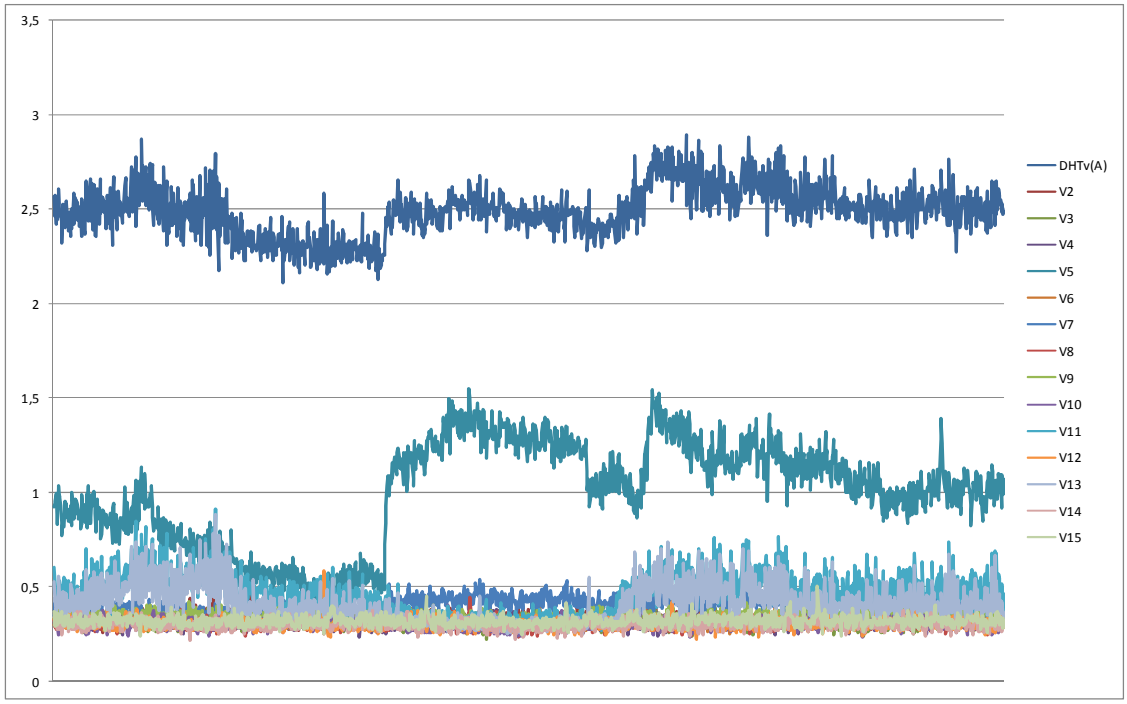
- Fase C:



Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

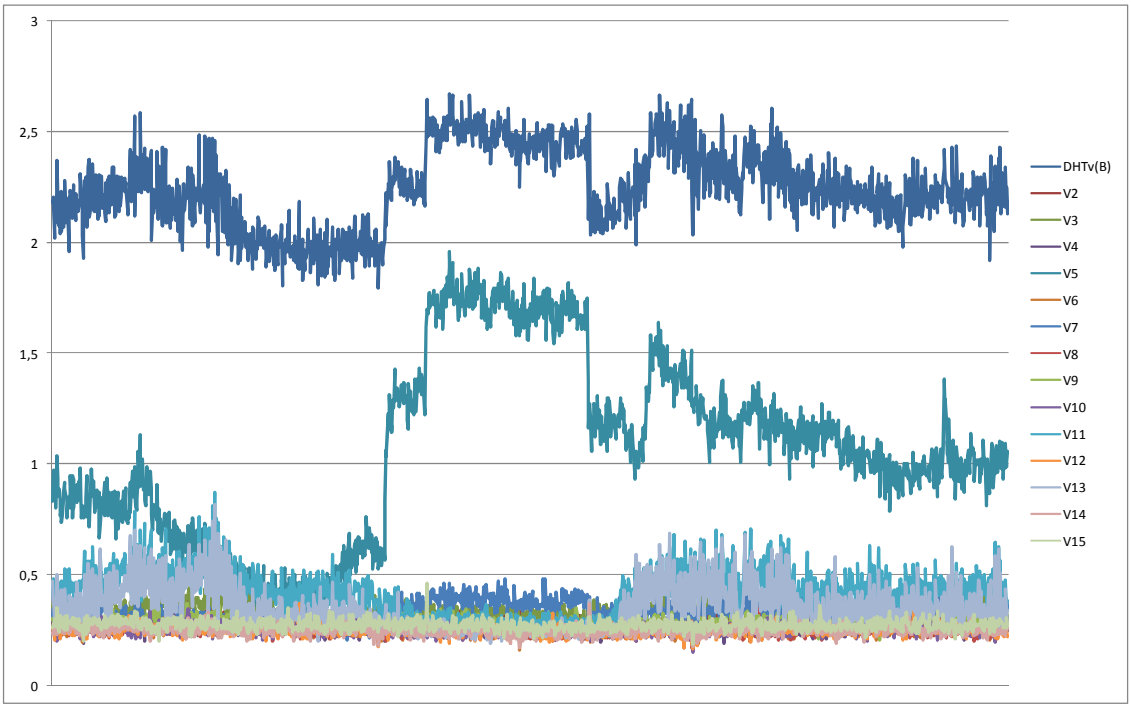
b) Distorções de Tensão Fase-Neutro Totais e Individuais (DHTv e Vh) em %

- Fase A:



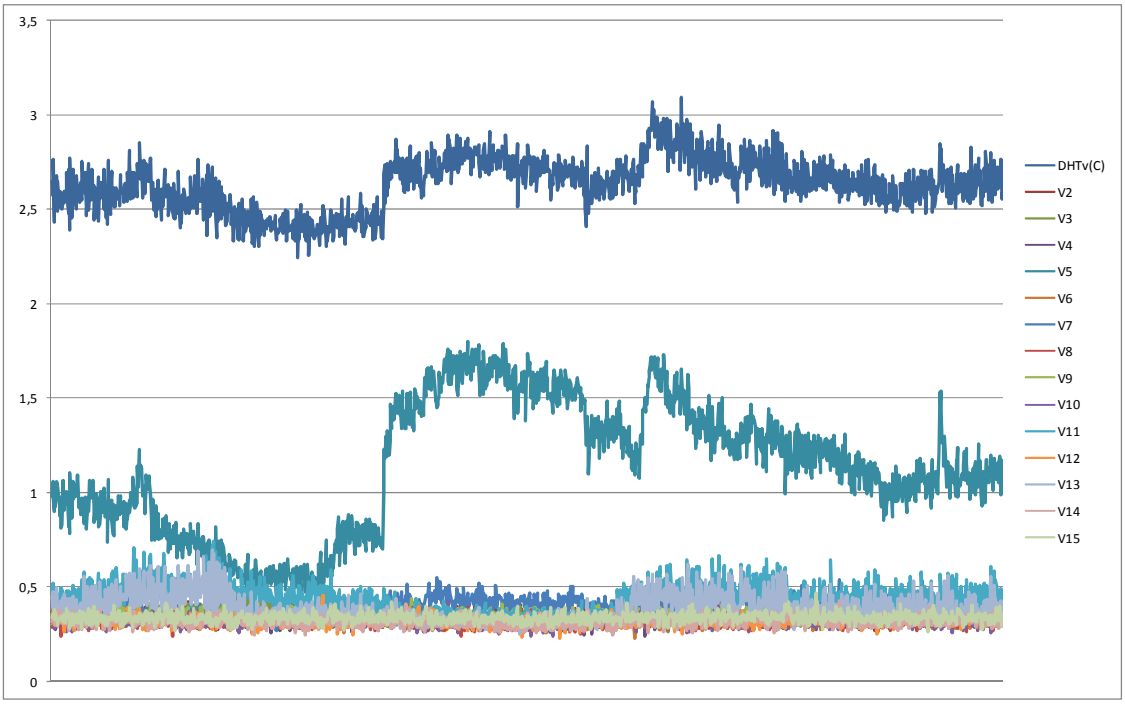
Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

- Fase B:



Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

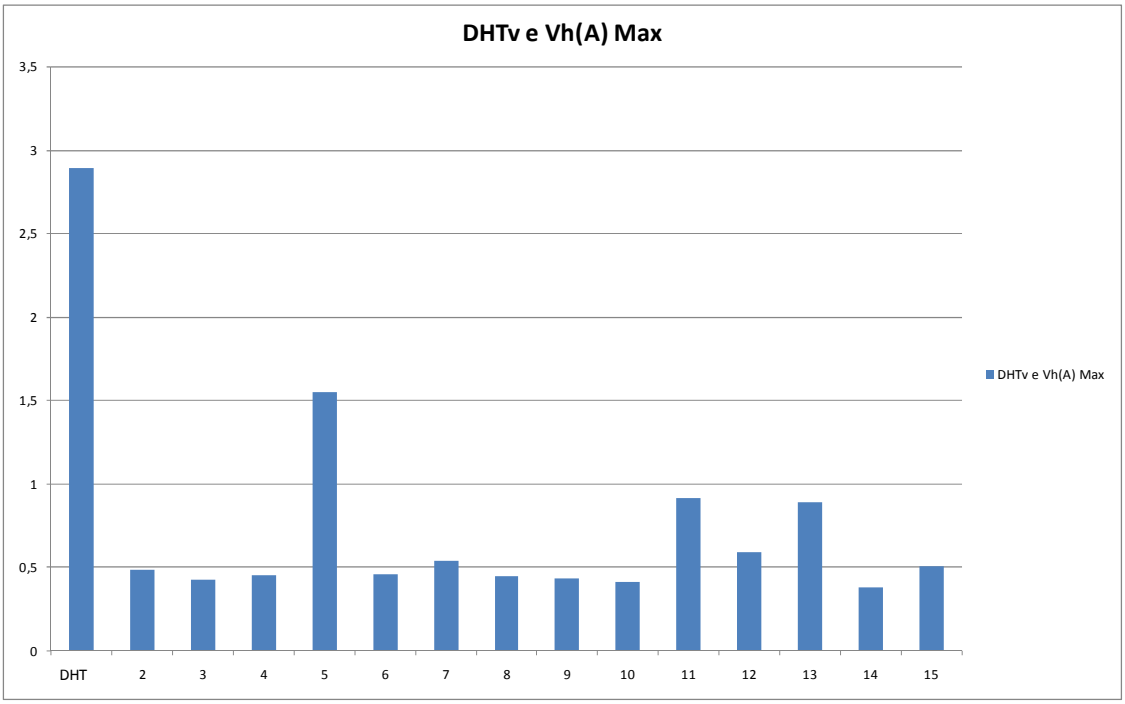
- Fase C:



Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

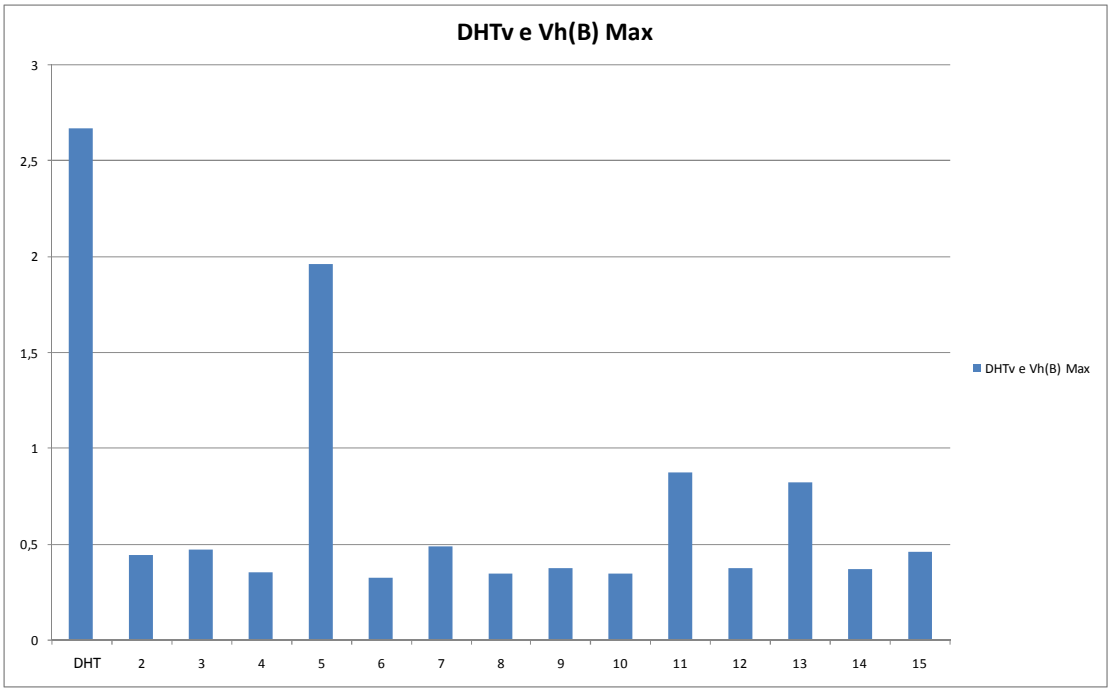
c) Espectro Harmônico Máximo de Tensão:

- Fase A:



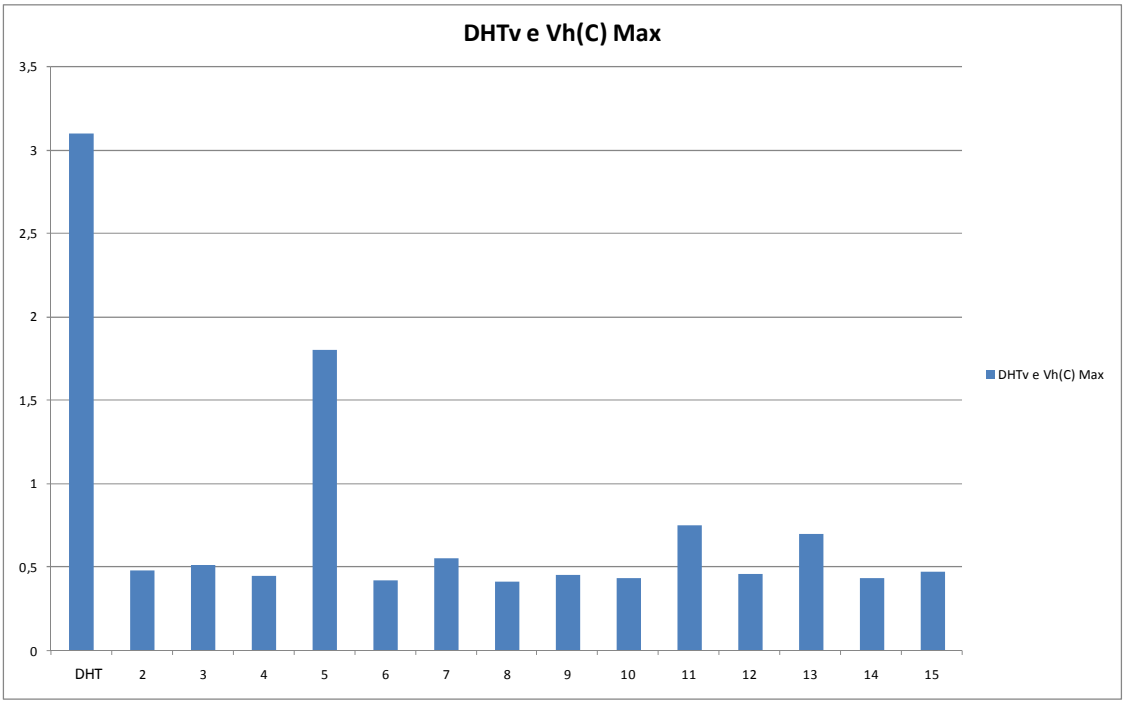
Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

- Fase B:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

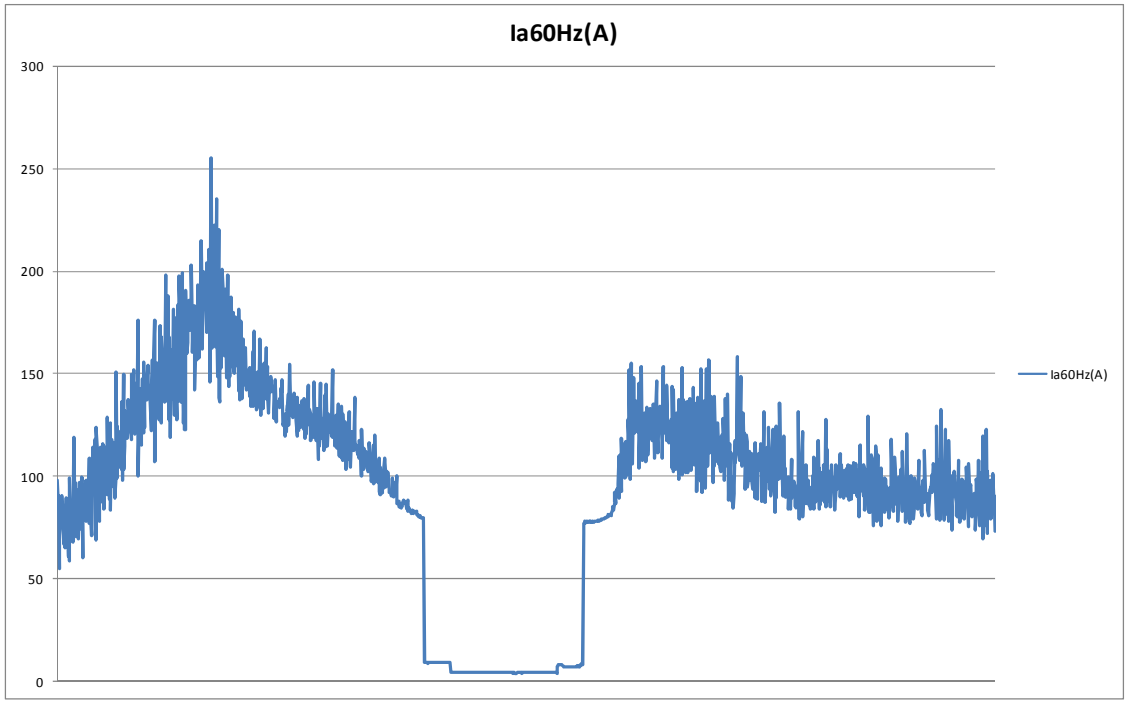
- Fase C:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

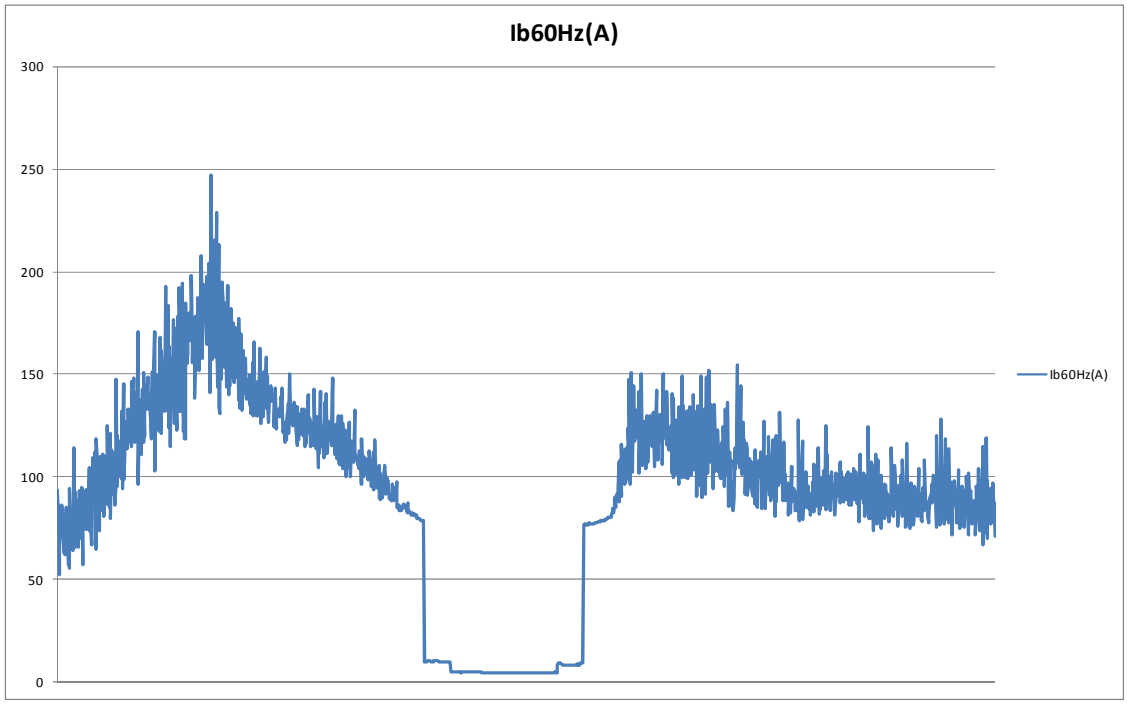
d) Correntes RMS em Amperes:

- Fase A:



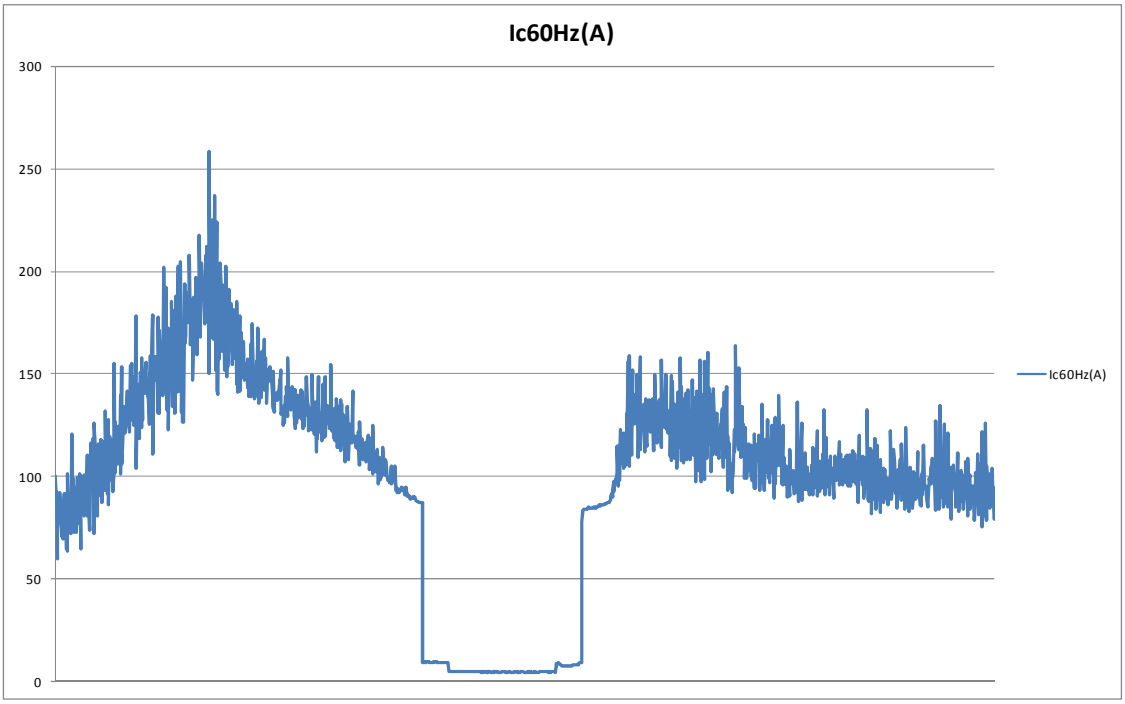
Observação: Variação da corrente rms com a carga.

- Fase B:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

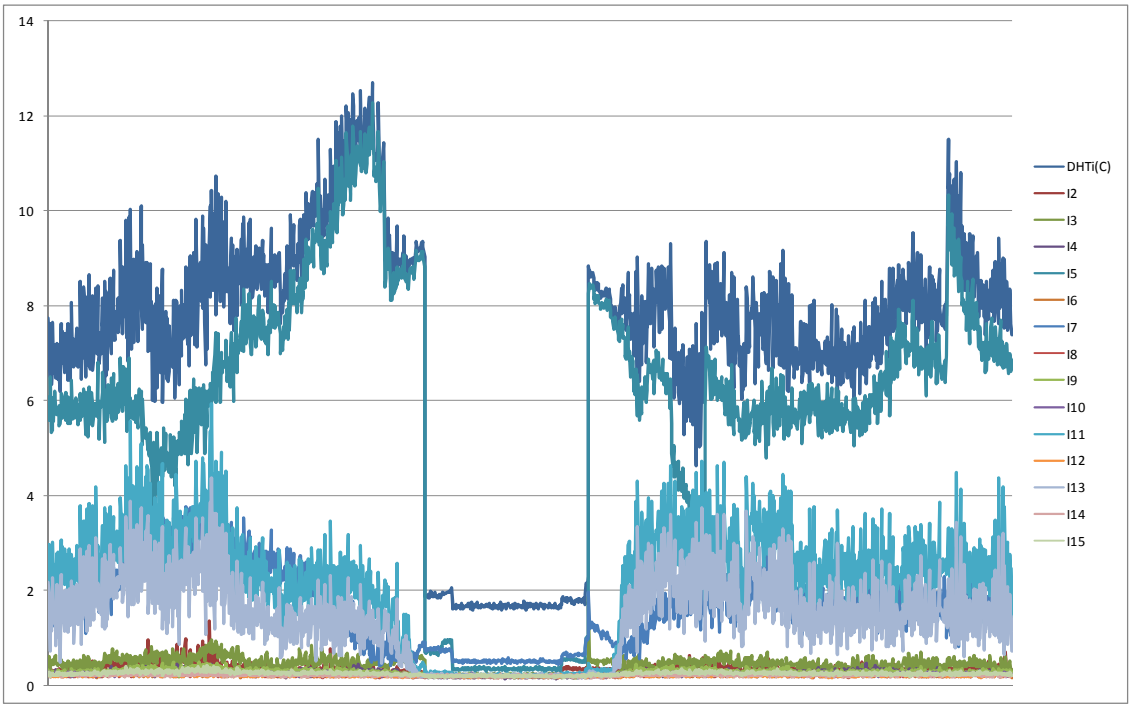
- Fase C:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

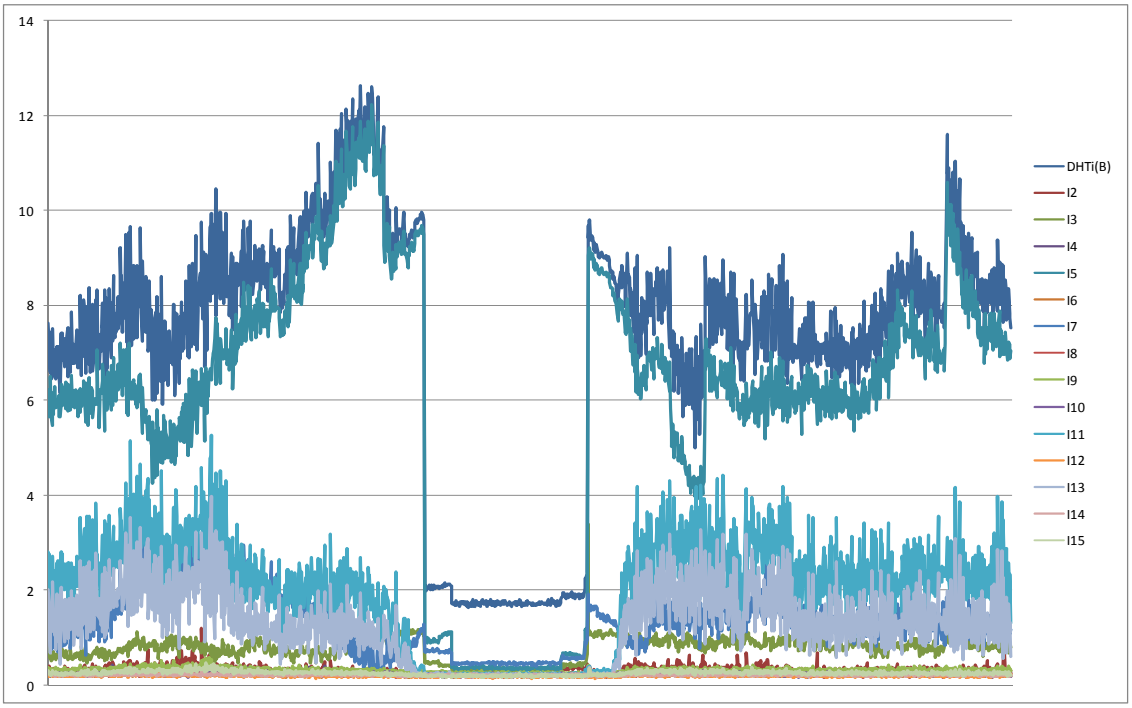
e) Distorções de Corrente Totais e Individuais (DHTi e Ih) em Amperes:

- Fase A:



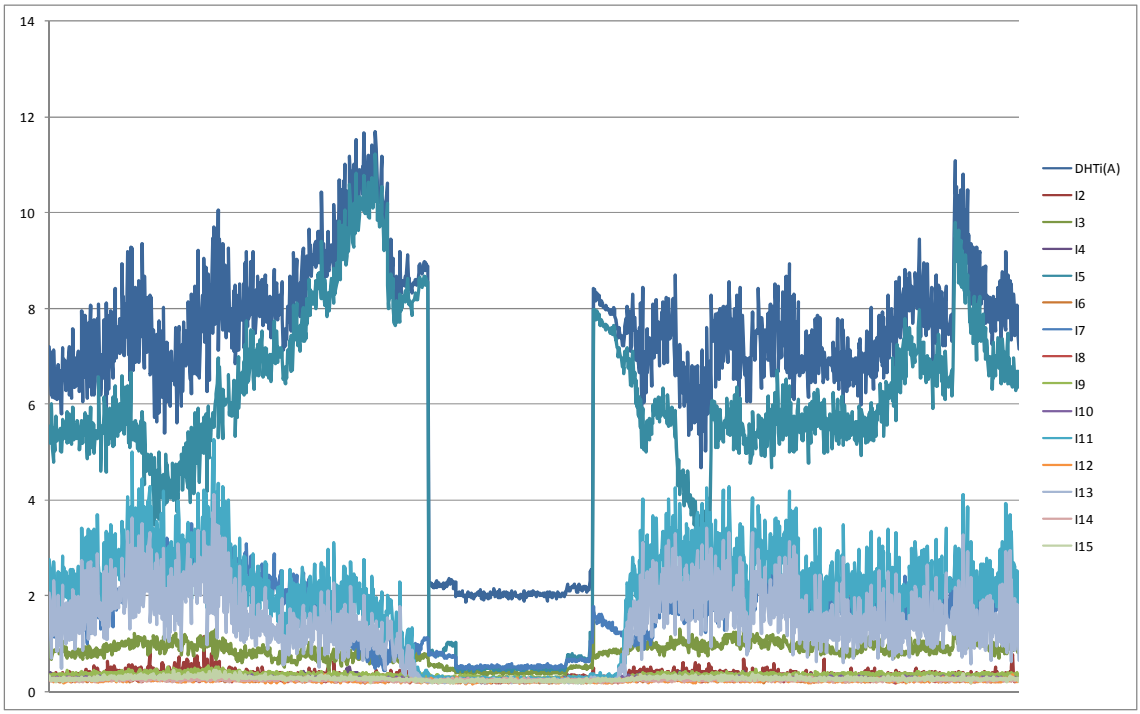
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase B:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

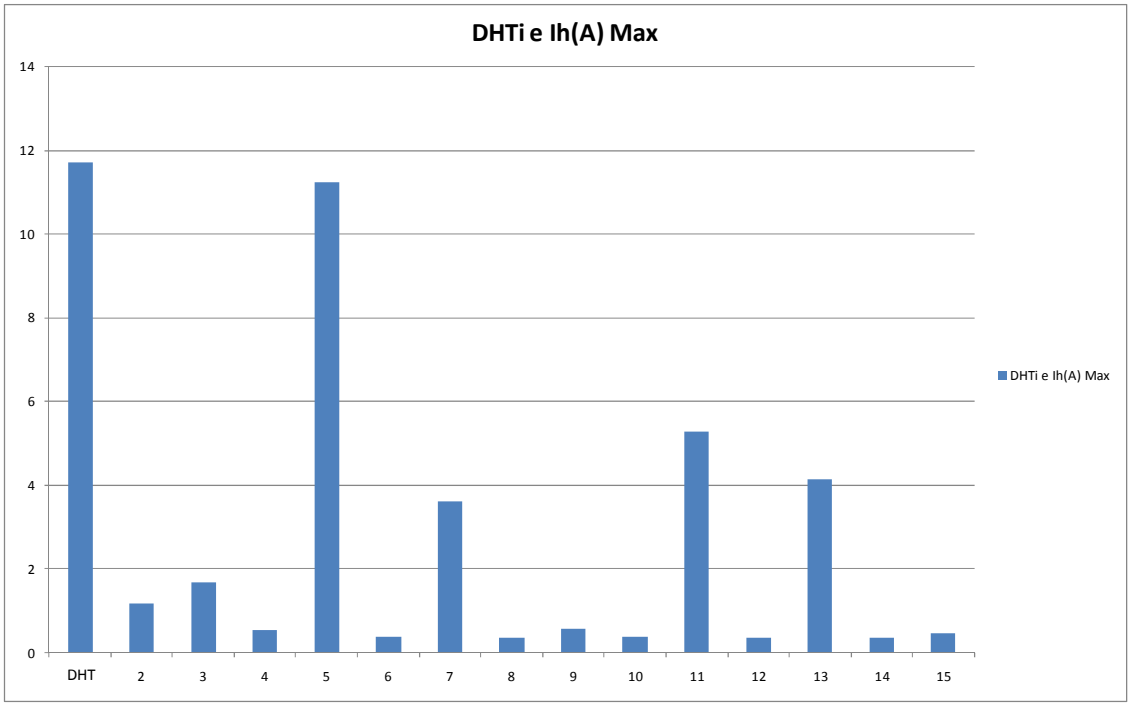
- Fase C:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

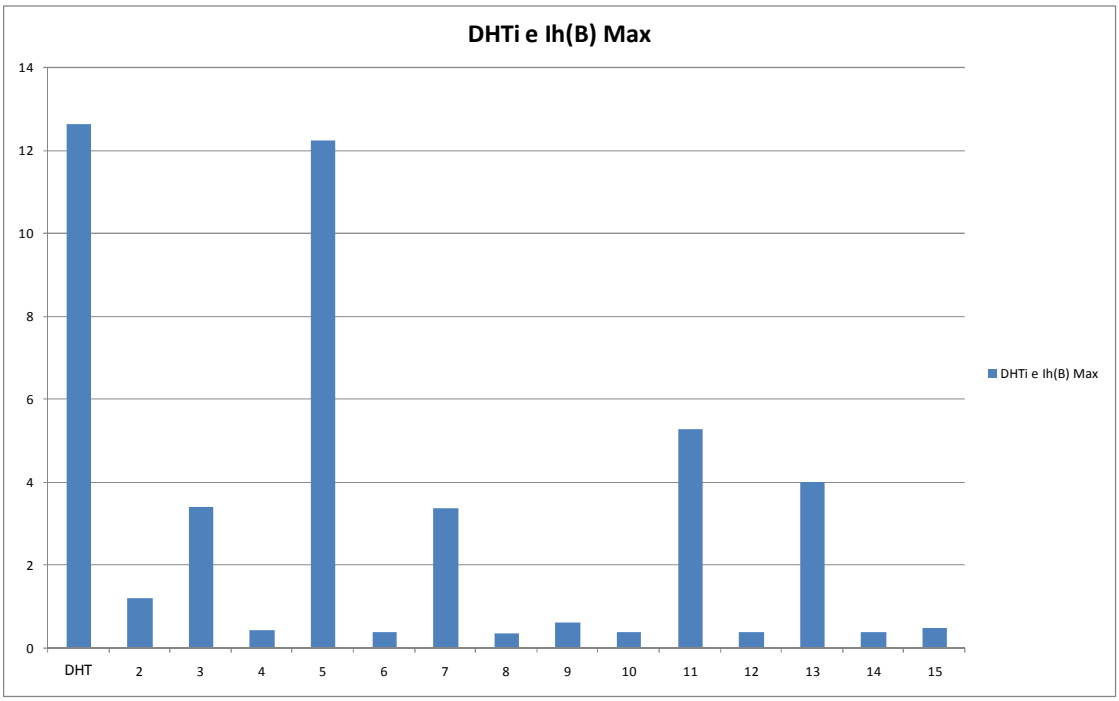
f) Espectro Harmônico Máximo de Corrente em Amperes

- Fase A:



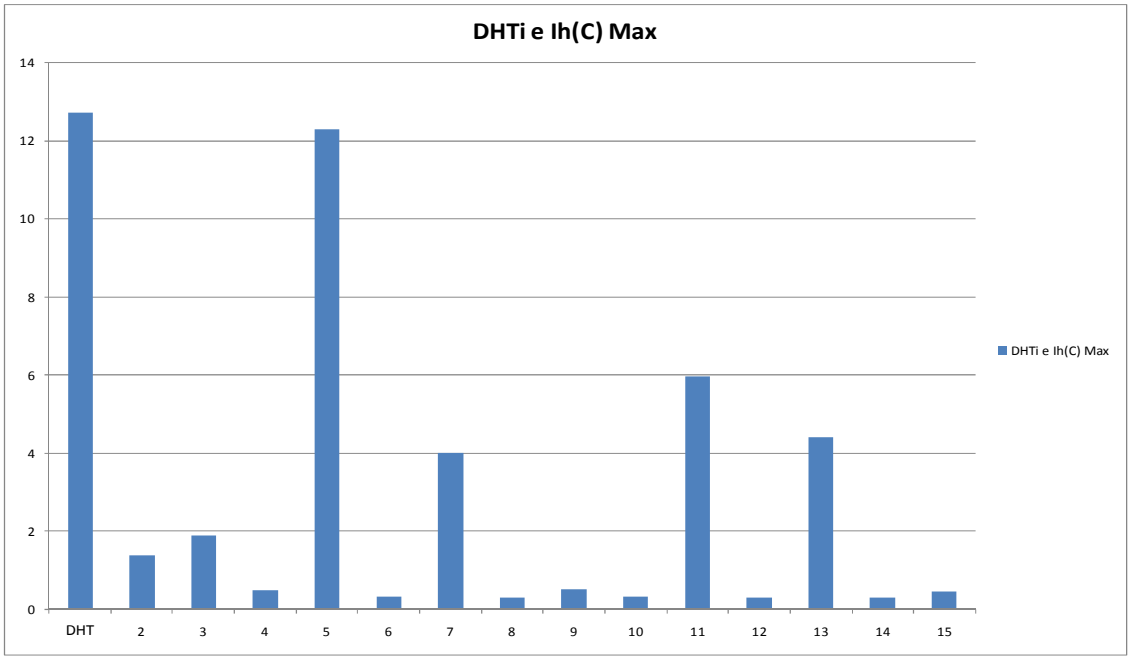
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase B:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase C:

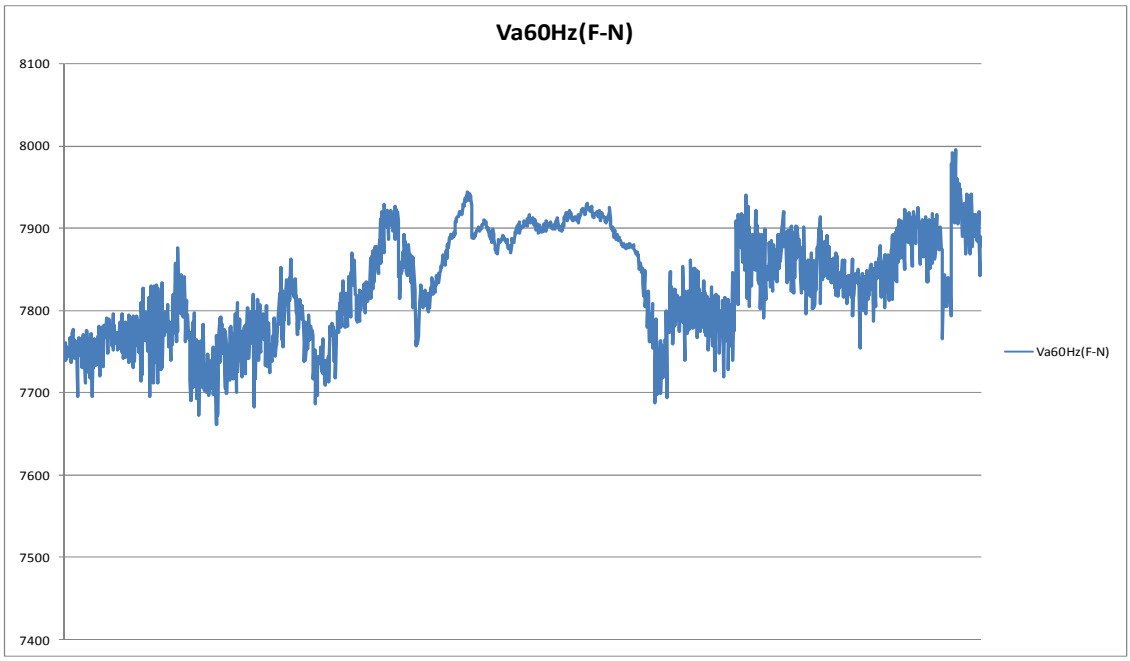


Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

8 Subestação Retificadora SR07 (medição 02)

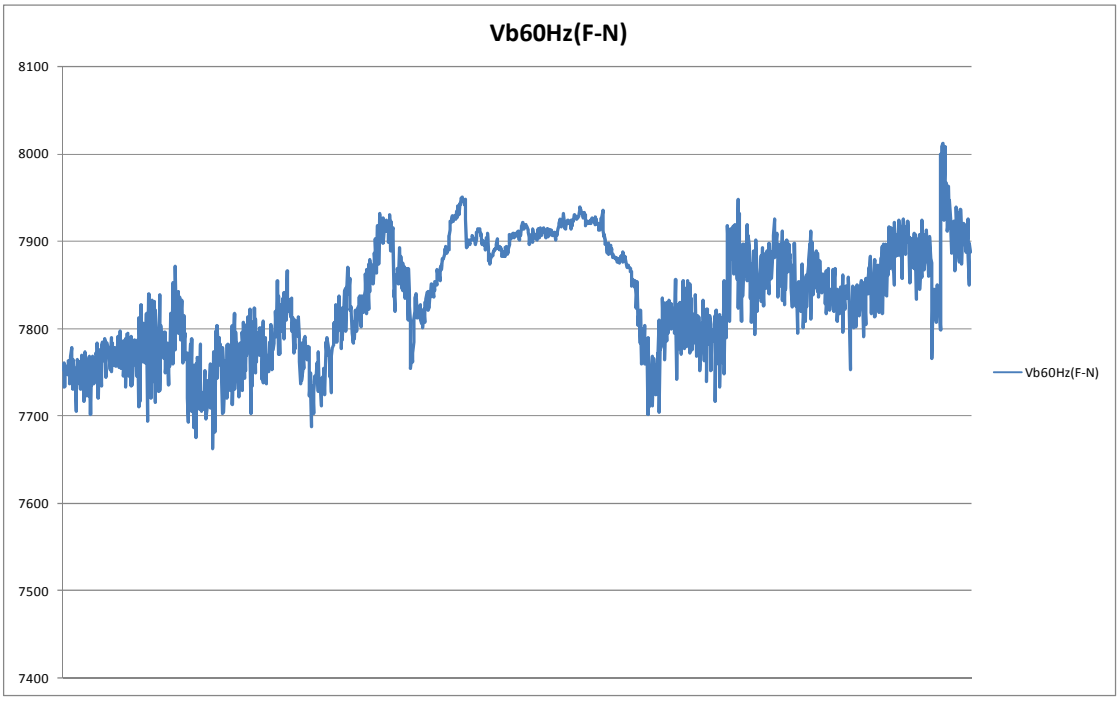
a) Tensões RMS Fase-Neutro em Volts:

- Fase A:



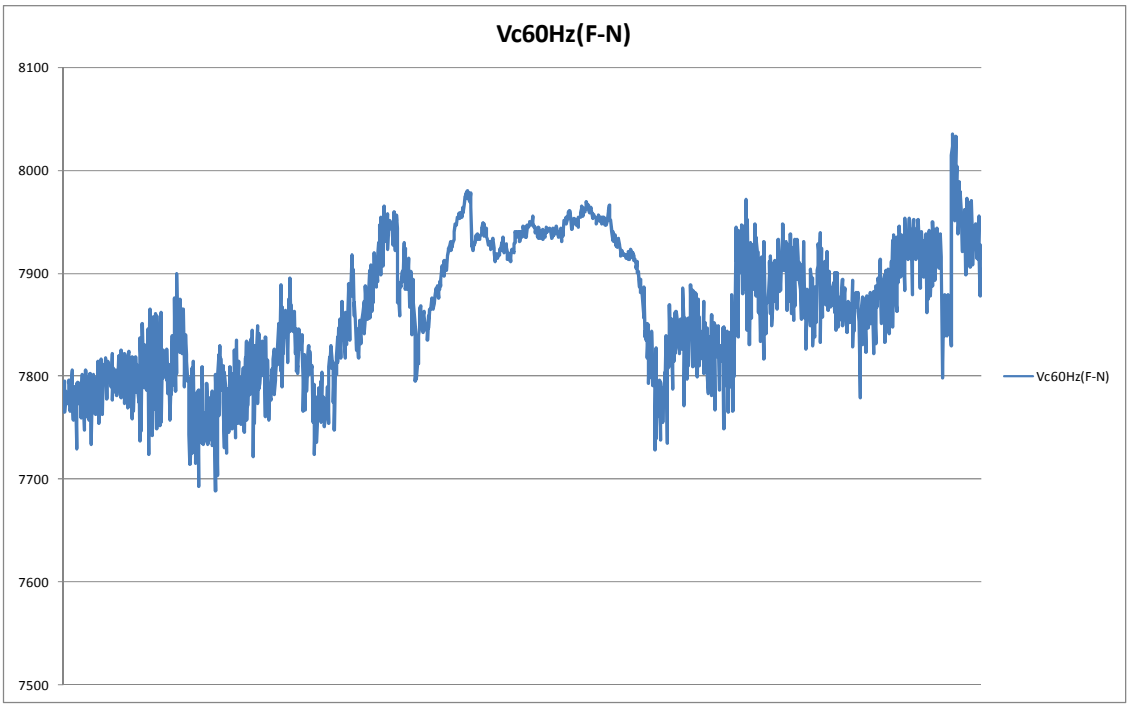
Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

- Fase B:



Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

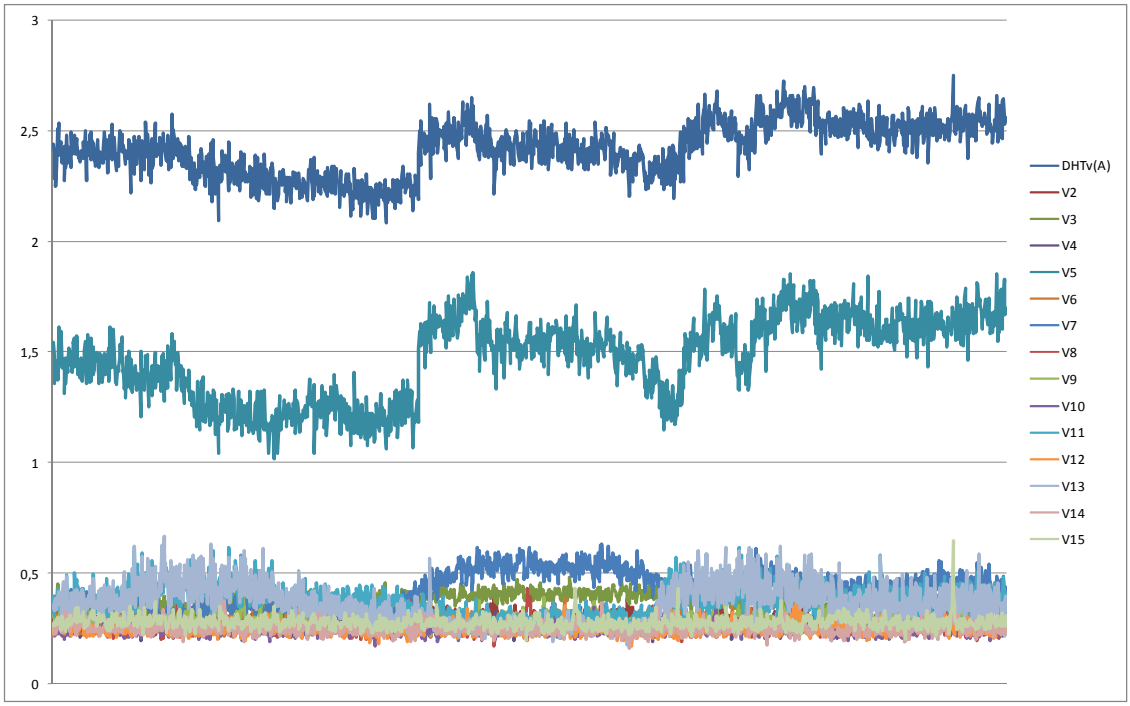
- Fase C:



Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

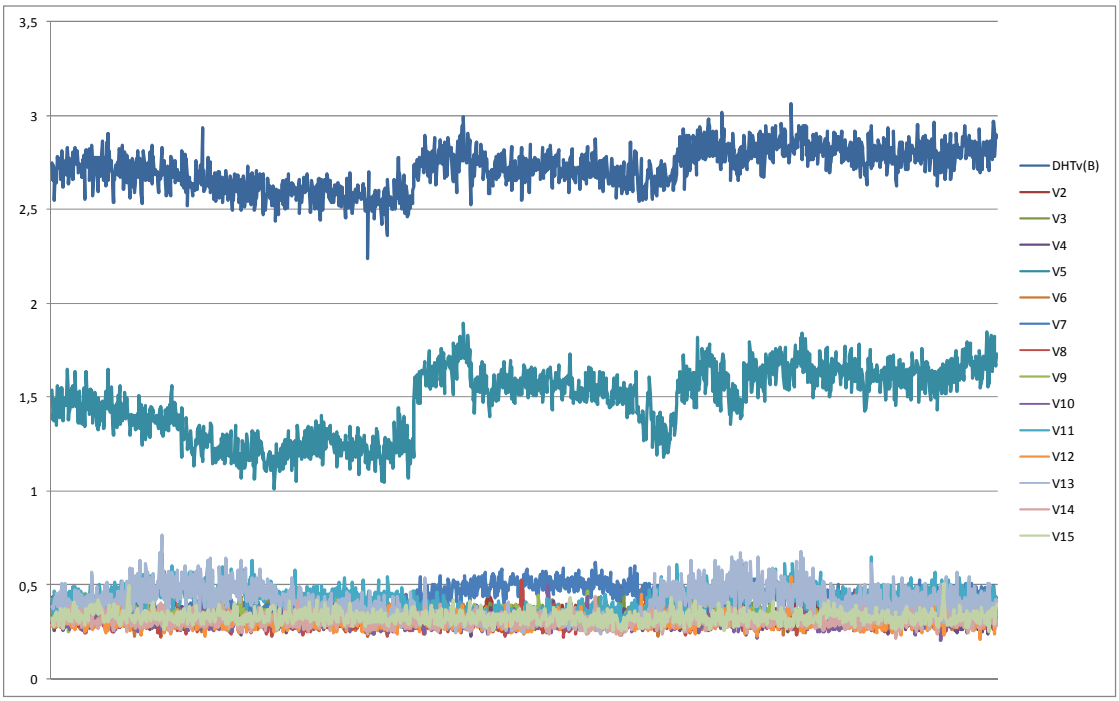
b) Distorções de Tensão Fase-Neutro Totais e Individuais (DHTv e Vh) em %

- Fase A:



Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

- Fase B:



Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

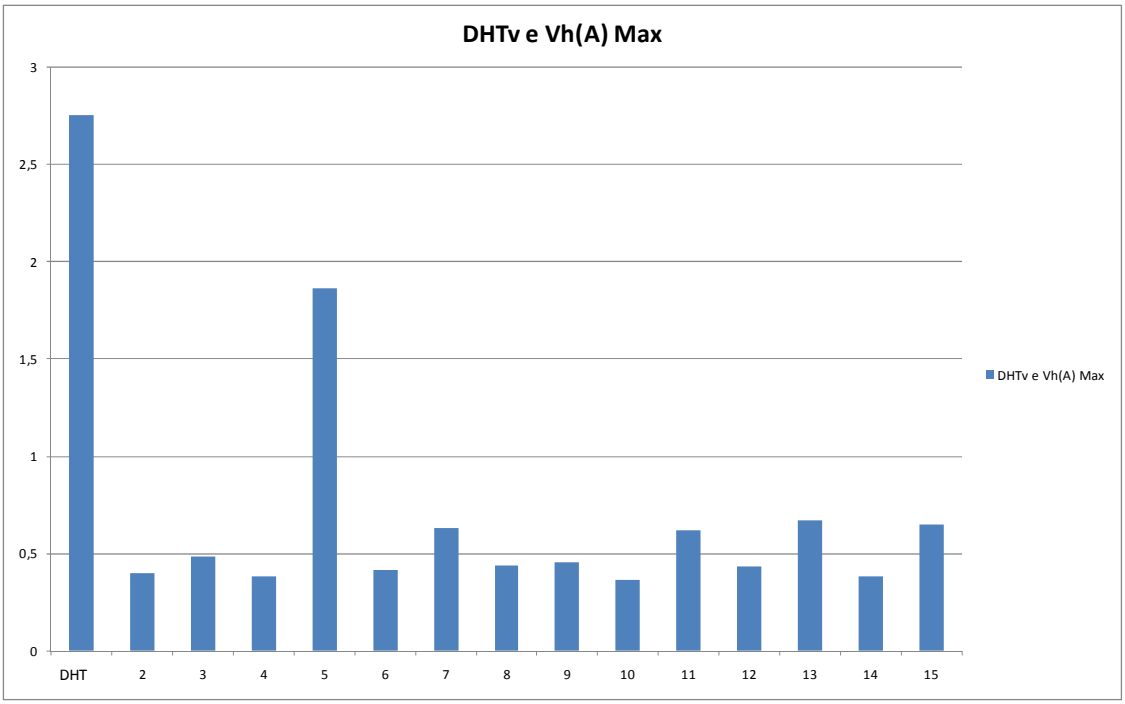
- Fase C:



Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

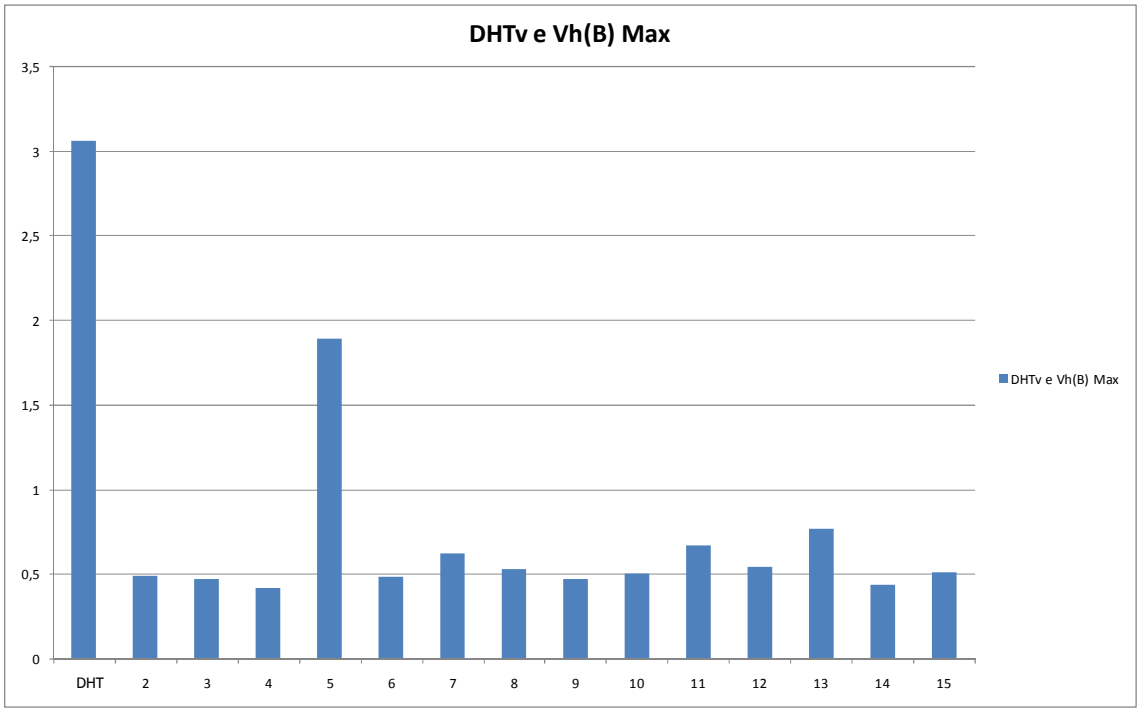
c) Espectro Harmônico Máximo de Tensão:

- Fase A:



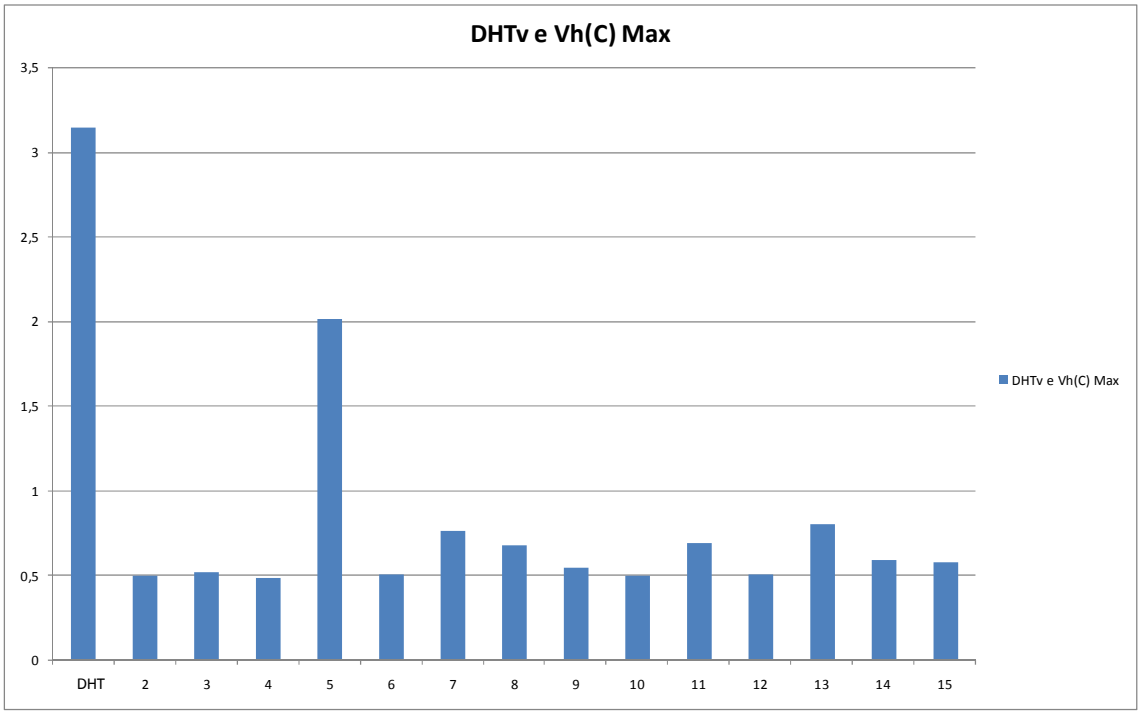
Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

- Fase B:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

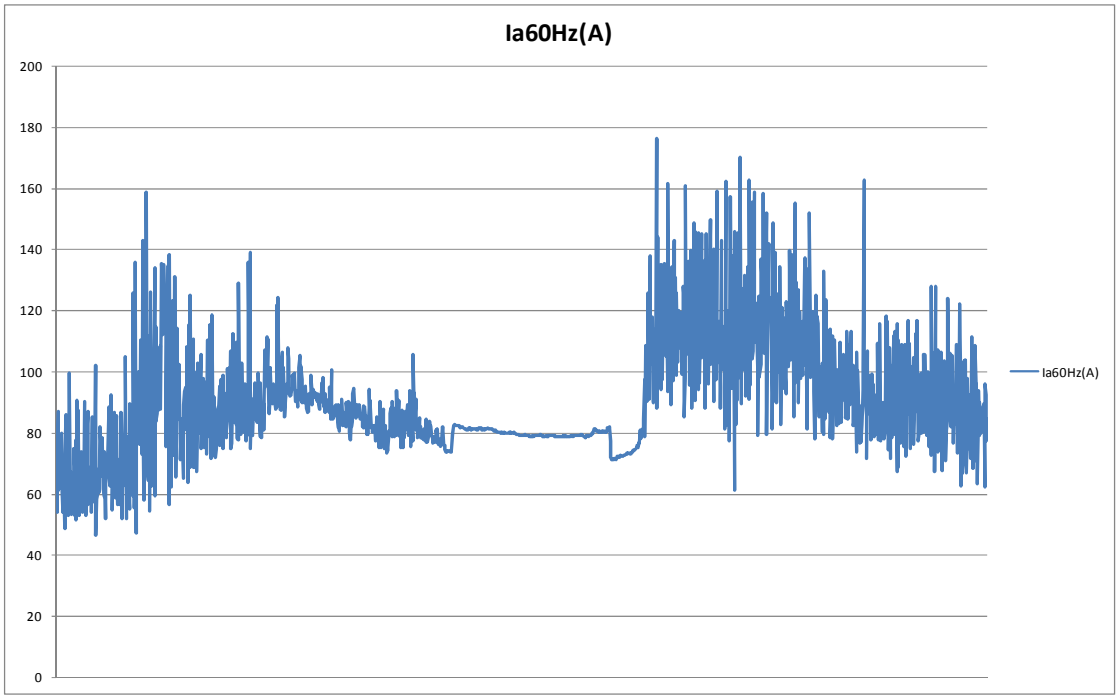
- Fase C:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

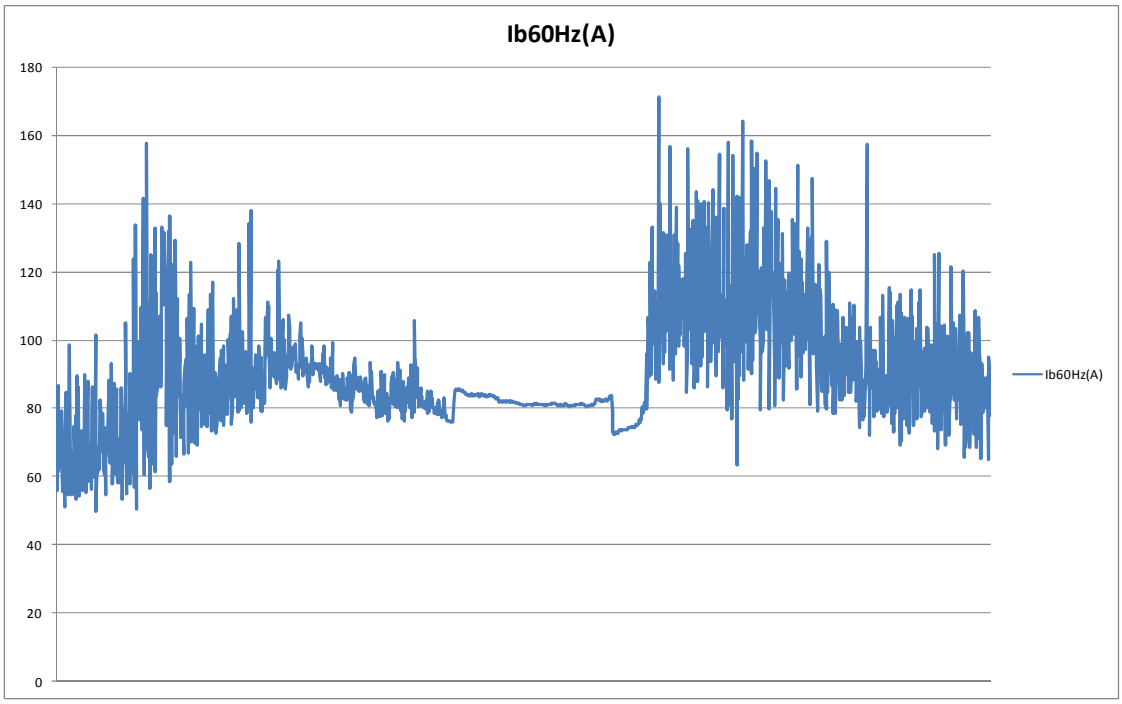
d) Correntes RMS em Amperes:

- Fase A:



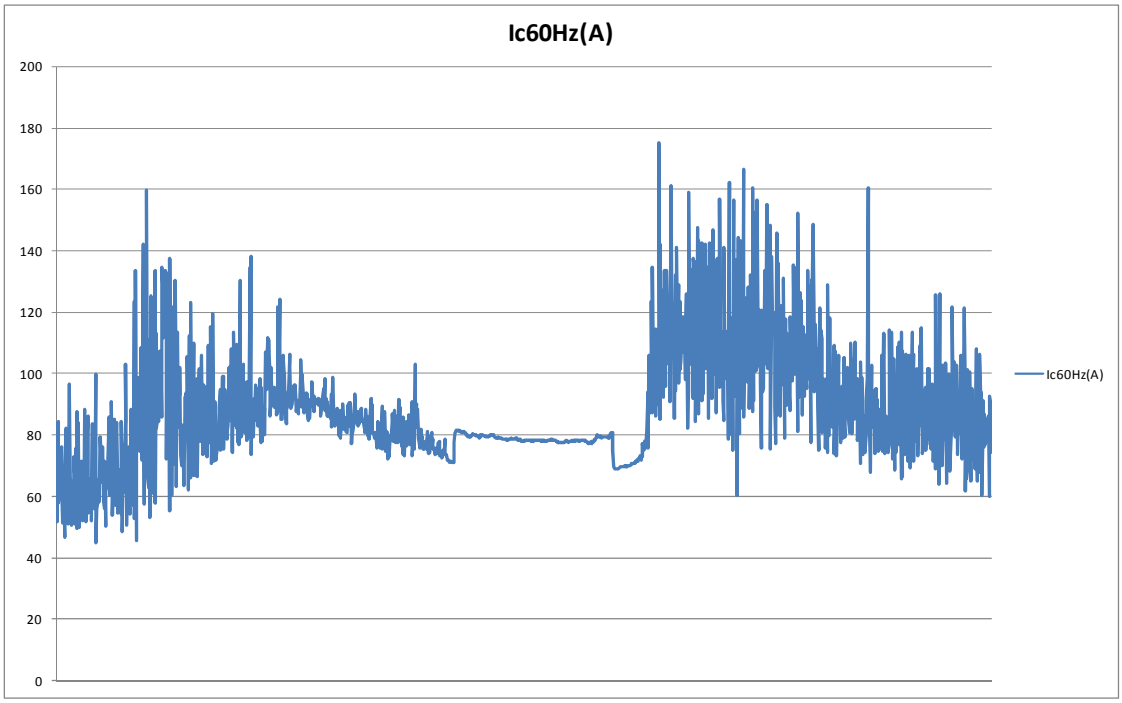
Observação: Variação da corrente rms com a carga.

- Fase B:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

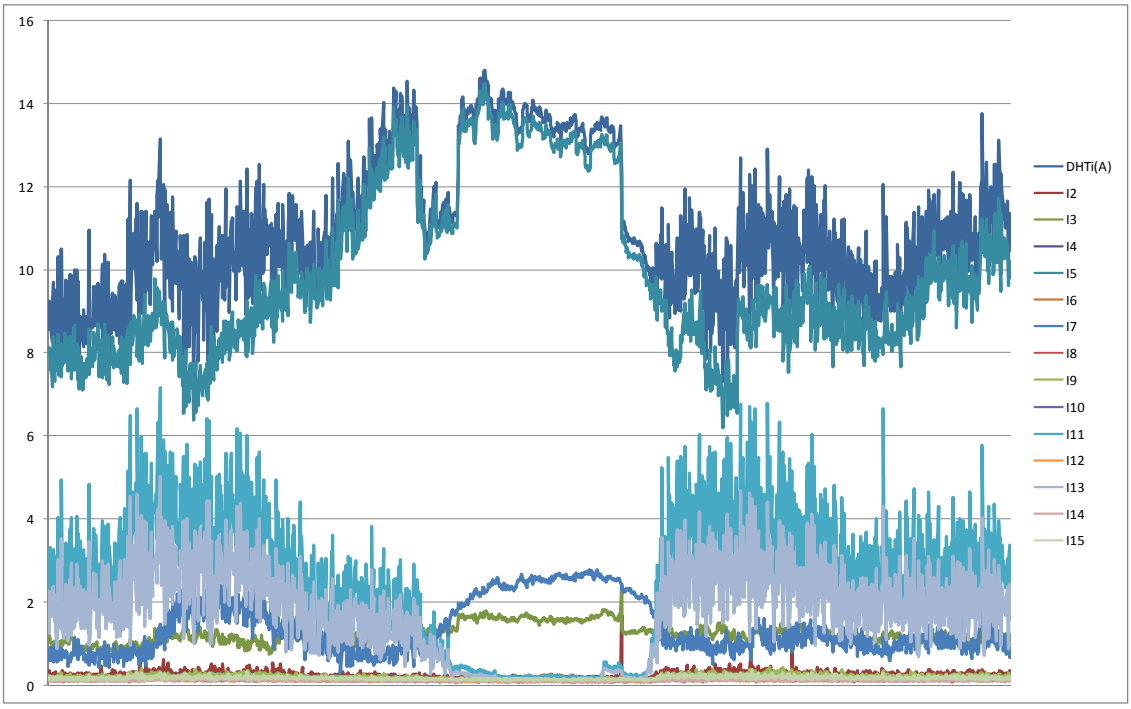
- Fase C:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

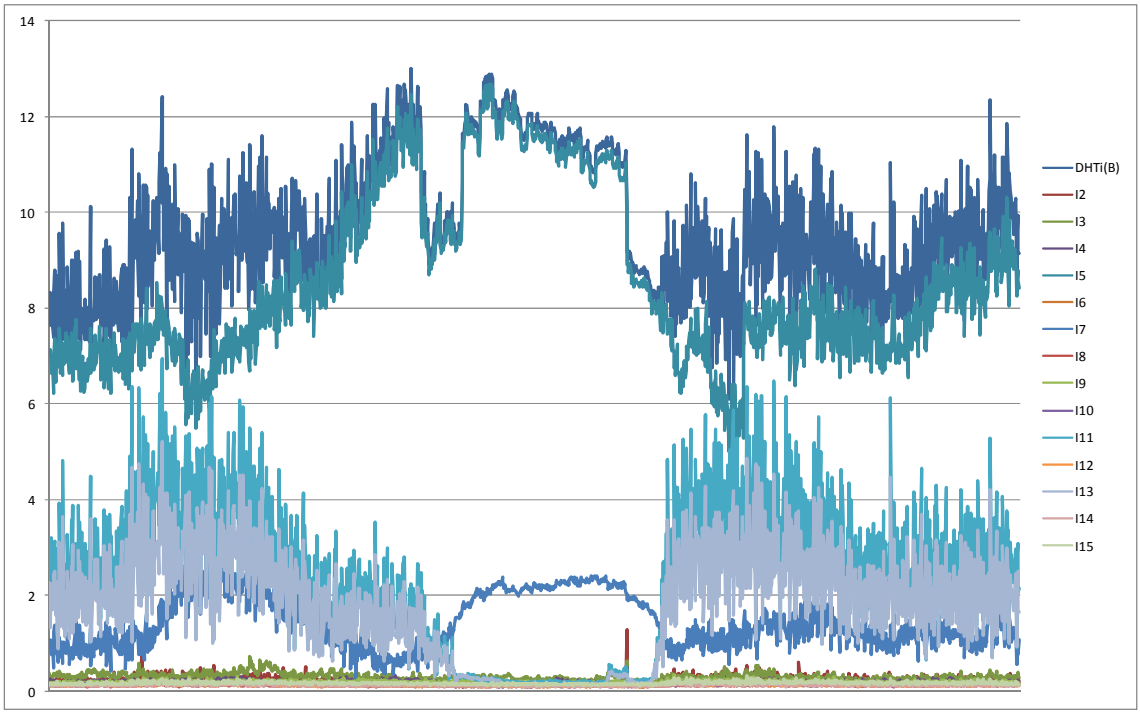
e) Distorções de Corrente Totais e Individuais (DHTi e Ih) em Amperes:

- Fase A:



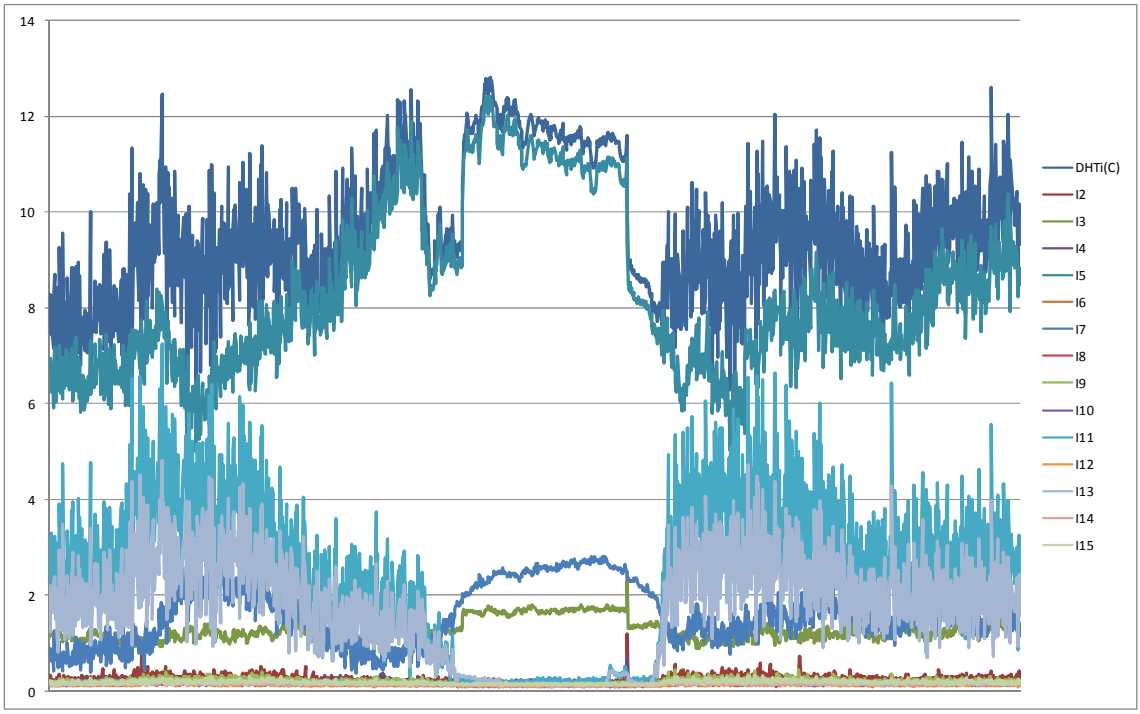
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase B:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

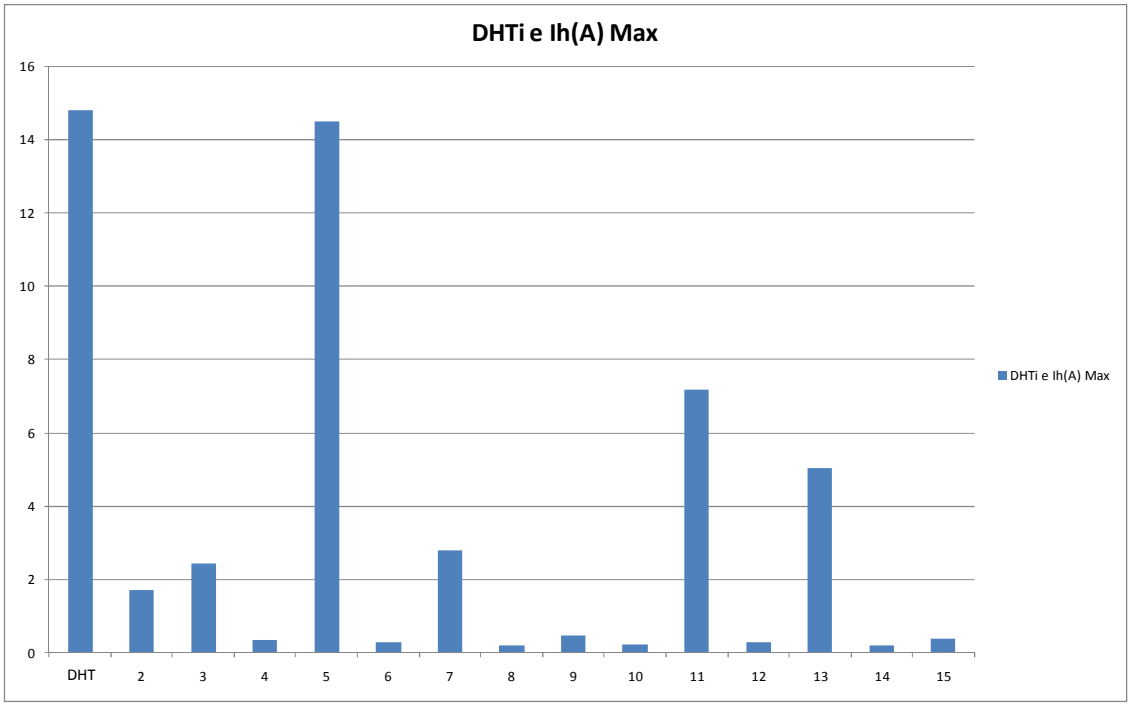
- Fase C:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

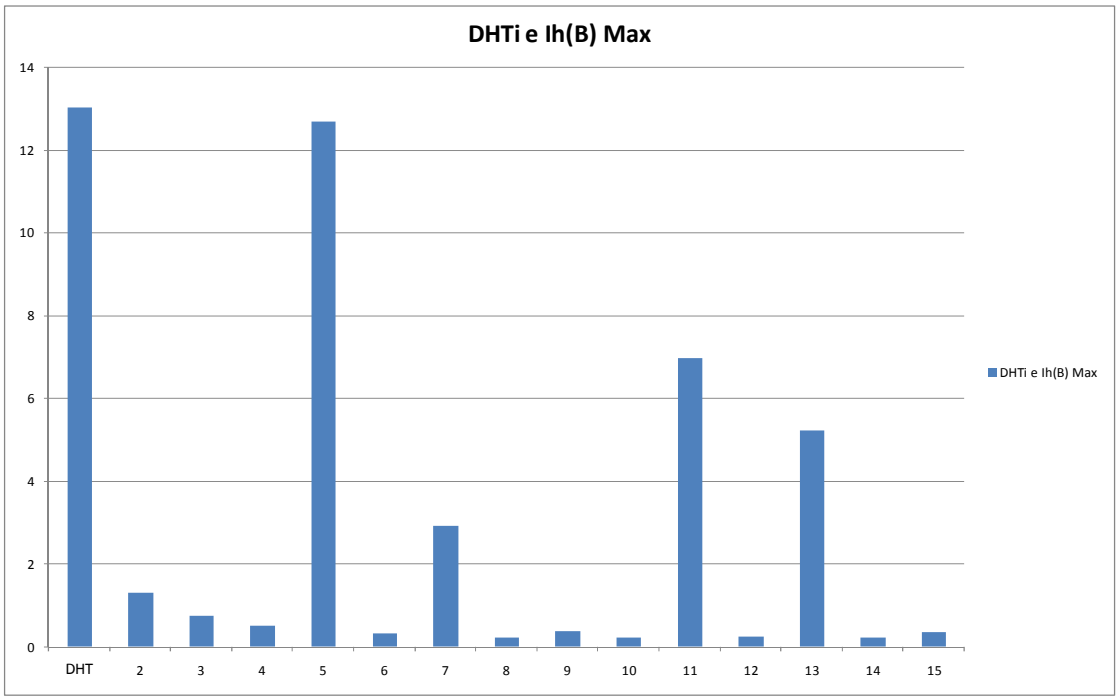
f) Espectro Harmônico Máximo de Corrente em Amperes:

- Fase A:



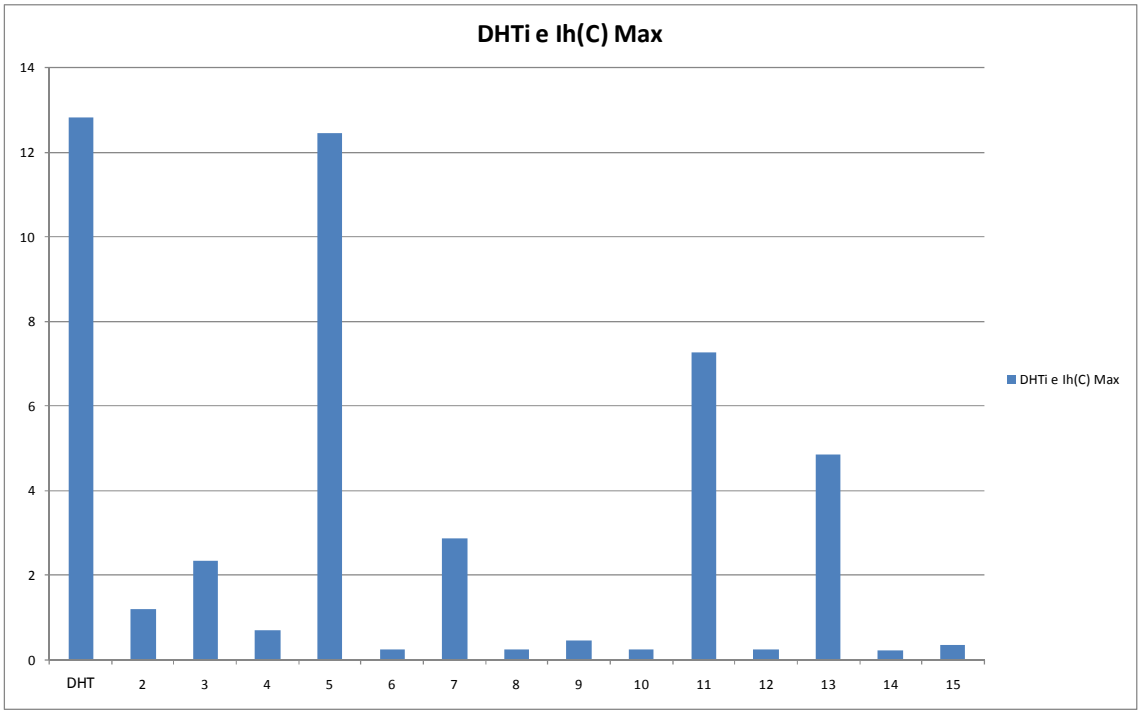
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase B:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase C:



Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

9 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das medições realizados em campo nos ramais de alimentação das SEs Águas Claras, Brasília Centro e Ceilândia Sul, alem das SRs 02 e 07, pelo corpo técnico do METRÔ – DF nos leva a concluir que:

a) Sob o Ponto de Vista das Tensões RMS, todas as tensões estão dentro dos limites exigidos pela legislação da ANEEL, ou seja, entre 95% < Vrms < 105%;

b) Sob o Ponto de Vista das distorções harmônicas totais de tensão (DHTv%), em todos os pontos monitorados a DHTV encontra-se abaixo dos 5,0% recomendados pela norma IEEE 519/2014, porém já atingindo valores próximos a 5,0%. Como o crescimento das cargas geradoras de harmônicos em toda a rede elétrica da CEB, estes limites fatalmente serão atingidos nos próximos anos;

c) A principal harmônica de tensão detectada é de longe a 5ª harmônica, seguida depois pelas harmônicas de 7ª, 11ª e 13ª ordens. Isto se deve ao fato principalmente da geração de harmônicos das cargas residenciais, comerciais e industriais, haja vista que as subestações retificadoras do Metrô - DF tem principio a operação em 12 pulsos, não sendo o principal gerador de harmônicas de 5ª e 7ª ordens, mas sim de 11ª e 13ª ordens;

d) Sob o ponto de vista das distorções harmônicas totais de corrente em Amperes injetadas pelas cargas na rede elétrica da CEB e do METRO-DF, também pode ser observado que a principal ordem circulante é a 5ª harmônica. Também aparecem mais fortemente as harmônicas de 7ª, 11ª e 13ª ordens e que devem ser consideradas quando da definição dos filtros de harmônicos para evitar o problema de anti-ressonâncias e a amplificação destas ordens harmônicas;

e) O sistema elétrico monitorado opera de forma bastante equilibrada, não havendo grandes variações entre as tensões de fase e as correntes de linha;

f) Os estudos de fluxo harmônicos que serão conduzidos com base nestas medições realizadas e com base também nos resultados estudos de fluxo de carga realizados permitirão a escolha correta das sintonias necessárias para os filtros de harmônicos de forma a evitar problemas de ressonâncias, amplificações de tensão e circulação excessiva de correntes harmônicas nestes equipamentos.