2.19 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 600-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC21, TC22, TC23

2.20 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 500-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC31, TC32, TC33

2.21 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE MEDIA TENSAO

- TIPO DE ISOLACAO: EPOXI
- CONSTRUCAO: BARRA
- CLASSE DE ISOLACAO: 15kV
- TENSAO APLICADA 1 MINUTO A FREQUENCIA INDUSTRIAL: 34kV
- NBI: 95kV
- LIGACAO: RELACAO SIMPLES
- RELACAO: 150-5-5A

- FREQUENCIA: 60Hz
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- LIMITE TERMICO: 80 x In
- LIMITE DINAMICO: 200 x In
- FINALIDADE: MEDICAO E PROTECAO
- PRECISAO [MED]: 0,6C25
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- TIPO: KIF-12
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC11, TC12, TC13, TC41, TC42, TC43

SR8

2.22 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 600-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC21, TC22, TC23

2.23 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 500-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In

- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC31, TC32, TC33

2.24 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE MEDIA TENSAO

- TIPO DE ISOLACAO: EPOXI
- CONSTRUCAO: BARRA
- CLASSE DE ISOLACAO: 15kV
- TENSAO APLICADA 1 MINUTO A FREQUENCIA INDUSTRIAL: 34kV
- NBI: 95kV
- LIGACAO: RELACAO SIMPLES
- RELACAO: 150-5-5A
- FREQUENCIA: 60Hz
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- LIMITE TERMICO: 80 x In
- LIMITE DINAMICO: 200 x In
- FINALIDADE: MEDICAO E PROTECAO
- PRECISAO [MED]: 0,6C25
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- TIPO: KIF-12
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC11, TC12, TC13, TC41, TC42, TC43

SR9

2.25 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 600-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6

- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC21, TC22, TC23

2.26 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 500-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC31, TC32, TC33

2.27 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE MEDIA TENSAO

- TIPO DE ISOLACAO: EPOXI
- CONSTRUCAO: BARRA
- CLASSE DE ISOLACAO: 15kV
- TENSAO APLICADA 1 MINUTO A FREQUENCIA INDUSTRIAL: 34kV
- NBI: 95kV
- LIGACAO: RELACAO SIMPLES
- RELACAO: 200-5-5A
- FREQUENCIA: 60Hz
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- LIMITE TERMICO: 80 x In
- LIMITE DINAMICO: 200 x In
- FINALIDADE: MEDICAO E PROTECAO
- PRECISAO [MED]: 0,6C25
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- TIPO: KIF-12
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC11, TC12, TC13, TC41, TC42, TC43

SR 10

2.28 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 600-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC21, TC22, TC23

2.29 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 500-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC31, TC32, TC33

2.30 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE MEDIA TENSAO

- TIPO DE ISOLACAO: EPOXI
- CONSTRUCAO: BARRA
- CLASSE DE ISOLACAO: 15kV
- TENSAO APLICADA 1 MINUTO A FREQUENCIA INDUSTRIAL: 34kV
- NBI: 95kV
- LIGACAO: RELACAO SIMPLES
- RELACAO: 200-5-5A

- FREQUENCIA: 60Hz
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- LIMITE TERMICO: 80 x In
- LIMITE DINAMICO: 200 x In
- FINALIDADE: MEDICAO E PROTECAO
- PRECISAO [MED]: 0,6C25
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- TIPO: KIF-12
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC11, TC12, TC13, TC41, TC42, TC43

SR 11

2.31 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO E MEDIÇÃO
- RELACAO: 600-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC21, TC22, TC23

2.32 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 500-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In

- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC31, TC32, TC33

2.33 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE MEDIA TENSAO

- TIPO DE ISOLACAO: EPOXI
- CONSTRUCAO: BARRA
- CLASSE DE ISOLACAO: 15kV
- TENSAO APLICADA 1 MINUTO A FREQUENCIA INDUSTRIAL: 34kV
- NBI: 95kV
- LIGACAO: RELACAO SIMPLES
- RELACAO: 150-5-5A
- FREQUENCIA: 60Hz
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- LIMITE TERMICO: 80 x In
- LIMITE DINAMICO: 200 x In
- FINALIDADE: MEDICAO E PROTECAO
- PRECISAO [MED]: 0,6C25
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- TIPO: KIF-12
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC11, TC12, TC13, TC41, TC42, TC43

SR 12

2.34 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 800-5-5A
- PRECISAO [MED.]: 0,6C12,5
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz

- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC21, TC22, TC23

2.35 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 600-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC31, TC32, TC33

2.36 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE MEDIA TENSAO

- TIPO DE ISOLACAO: EPOXI
- CONSTRUCAO: BARRA
- CLASSE DE ISOLACAO: 15kV
- TENSAO APLICADA 1 MINUTO A FREQUENCIA INDUSTRIAL: 34kV
- NBI: 95kV
- LIGACAO: RELACAO SIMPLES
- RELACAO: 150-5-5A
- FREQUENCIA: 60Hz
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- LIMITE TERMICO: 80 x In
- LIMITE DINAMICO: 200 x In
- FINALIDADE: MEDICAO E PROTECAO
- PRECISAO [MED]: 0,6C25
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- TIPO: KIF-12
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC11, TC12, TC13, TC41, TC42, TC43

SR 13

2.37 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 800-5-5ª
- PRECISAO [MED.]: 0,6B12,5
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC21, TC22, TC23

2.38 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 600-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC31, TC32, TC33

2.39 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE MEDIA TENSAO

- TIPO DE ISOLACAO: EPOXI
- CONSTRUCAO: BARRA
- CLASSE DE ISOLACAO: 15kV
- TENSAO APLICADA 1 MINUTO A FREQUENCIA INDUSTRIAL: 34kV
- NBI: 95kV
- LIGACAO: RELACAO SIMPLES

- RELACAO: 150-5-5A
- FREQUENCIA: 60Hz
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- LIMITE TERMICO: 80 x In
- LIMITE DINAMICO: 200 x In
- FINALIDADE: MEDICAO E PROTECAO
- PRECISAO [MED]: 0,6C25
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- TIPO: KIF-12
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC11, TC12, TC13, TC41, TC42, TC43

SR 14

2.40 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 600-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC21, TC22, TC23

2.41 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 500-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In

- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC31, TC32, TC33

2.42 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE MEDIA TENSAO

- TIPO DE ISOLACAO: EPOXI
- CONSTRUCAO: BARRA
- CLASSE DE ISOLACAO: 15kV
- TENSAO APLICADA 1 MINUTO A FREQUENCIA INDUSTRIAL: 34kV
- NBI: 95kV
- LIGACAO: RELACAO SIMPLES
- RELACAO: 150-5-5A
- FREQUENCIA: 60Hz
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- LIMITE TERMICO: 80 x In
- LIMITE DINAMICO: 200 x In
- FINALIDADE: MEDICAO E PROTECAO
- PRECISAO [MED]: 0,6C25
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- TIPO: KIF-12
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC11, TC12, TC13, TC41, TC42, TC43

SR 62 (ANTIGA SR 15)

2.43 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 600-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz

- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC21, TC22, TC23

2.44 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 500-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC31, TC32, TC33

2.45 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE MEDIA TENSAO

- TIPO DE ISOLACAO: EPOXI
- CONSTRUCAO: BARRA
- CLASSE DE ISOLACAO: 15kV
- TENSAO APLICADA 1 MINUTO A FREQUENCIA INDUSTRIAL: 34kV
- NBI: 95kV
- LIGACAO: RELACAO SIMPLES
- RELACAO: 200-5-5A
- FREQUENCIA: 60Hz
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- LIMITE TERMICO: 80 x In
- LIMITE DINAMICO: 200 x In
- FINALIDADE: MEDICAO E PROTECAO
- PRECISAO [MED]: 0,6C25
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- TIPO: KIF-12
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC11, TC12, TC13, TC41, TC42, TC43

SR 61 (ANTIGA SR16)

2.46 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 600-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC21, TC22, TC23

2.47 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE BAIXA TENSAO

- TENSAO DE ISOLACAO: 600V
- TIPO DE ISOLAMENTO: EM BANDAGEM
- CONSTRUCAO: JANELA
- DIAMETRO: 138 +/- 5mm
- FINALIDADE: PROTECAO
- RELACAO: 600-5A
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- CORRENTE TERMICA NOMINAL: 80 x In
- CORRENTE DINAMICA NOMINAL: 200 x In
- FIXACAO: SEM BASE
- FREQUENCIA: 60Hz
- TIPO: BR-0,6
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC31, TC32, TC33

2.48 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE MEDIA TENSAO

- TIPO DE ISOLACAO: EPOXI
- CONSTRUCAO: BARRA
- CLASSE DE ISOLACAO: 15kV
- TENSAO APLICADA 1 MINUTO A FREQUENCIA INDUSTRIAL: 34kV
- NBI: 95kV
- LIGACAO: RELACAO SIMPLES
- RELACAO: 150-5-5A

- FREQUENCIA: 60Hz
- FATOR TERMICO NOMIN.: 1,2
- LIMITE TERMICO: 80 x In
- LIMITE DINAMICO: 200 x In
- FINALIDADE: MEDICAO E PROTECAO
- PRECISAO [MED]: 0,6C25
- PRECISAO [PROT.]: 10B50
- TIPO: KIF-12
- FABRICANTE: BALTEAU
- LITERAIS: TC11, TC12, TC13, TC41, TC42, TC43

METRÔ - DF	ENGEVIX	CODIFICAÇÃO ENGEVIX P00160/01-5X-RL-0007-0

SETOR

ENDEREÇO

PROPRIETÁRIO METRÔ - DF

AUTOR DO PROJETO VITO LABATE

RESPONSÁVEL TÉCNICO

METRÔ - DF

VITO LABATE CREA N° 260563453-1

METRÔ - DF

SISTEMA	SISTEMA DE ENERGIA
SUB-SISTEMA	GERAL
LOCAL	GERAL

VISTO	DATA	COMPONENTES /TIPO DE DOCUMENTO	AREA DE CONST.
	30/10/2014	RELATÓRIO TÉCNICO CONSOLIDADO SIMULAÇÃO ELÉTRICA PARA HEADWAY DE 180 SEGUNDOS	-
APROVADO CAC	DATA 30/10/2014		
ESCALA 1:50	ETAPA DO PROJ. BÁSICO		
N MICROFILME	FOLHA 1/158	CODIFICAÇÃO **RT.4/EX.99/00.007**	REVISÃO 1

1	**APROVADO CONFORME PARECER Nº 013/13 – TDME - ENERGIA**	**17/06/13**	**ViLA**	**MHY**	**ITF**	**26/06/13**	**ELJ/ ELM/ OOP**	**CAC**
0	EMISSÃO INICIAL	06/06/13	ViLA	WPFe/ RGCdA	JoWe	05/06/13	ELJ/ ELM/ OOP	CAC
N°	MODIFICAÇÃO	DATA	FEIT O	VISTO	APRO VO	DATA	VERIF.	APRO V
		CONTRATADA				**METRÔ - DF**		
R E V I S Õ E S								

METRÔ DF
RT.4/EX.99/00.007

Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento.

SISTEMA DE ENERGIA
PROJETO BÁSICO

SUMÁRIO

1 OBJETO DO RELATÓRIO 5

2 METODOLOGIA DE CÁLCULO 5

3 CRITÉRIOS OPERACIONAIS 8

4 DADOS DE ENTRADA DAS SIMULAÇÕES 8

5 VERIFICAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE ELIMINAR A SR64. 12

6 RESULTADOS RESUMIDOS DAS SIMULAÇÕES 13

7 VERIFICAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE DESLOCAMENTO DA SR63 16

8 CONCLUSÕES 18

ANEXOS 20

ANEXO I - MAPA GEOELÉTRICO DO METRÔ-DF 21

ANEXO II - GRÁFICOS DAS POTÊNCIAS 23

ANEXO III - RESULTADOS DETALHADOS DAS SIMULAÇÕES 37

ANEXO IV - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES SEM A SR64 131

ANEXO V - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES COM A SR63 DESLOCADA 143

1 OBJETO DO RELATÓRIO

O presente relatório tem por objetivo apresentar os resultados das novas simulações elétricas correspondentes à 1ª etapa de estudos do sistema de tração elétrica do Metrô de Brasília, com "headway" de 180 segundos. Essas simulações foram feitas com dados de entrada mais precisos que os utilizados anteriormente no relatório técnico consolidado da Simulação Elétrica Vinculada a Simulação de Marcha RT.4/EX.99/00.006 – rev. 0, destacando-se as seguintes alterações:

- Utilização da curva esforço x velocidade de motores das séries 1000 e 2000 na simulação de marcha, ao invés de apenas motores da série 1000 como na simulação anterior, bem como utilização de curva mais precisa do motor da série 1000;

- Utilização de dados da via finais na simulação de marcha, com algumas correções em relação aos dados da simulação anterior;

- Otimização das posições das subestações retificadoras, com pequenas alterações das localizações.

Da mesma forma que nas simulações anteriores, as novas simulações abrangem os 2 trechos de linha a seguir:

- De Ceilândia a Asa Norte;

- De Águas Claras a Samambaia.

Os 2 trechos foram considerados como sendo independentes do ponto de vista operacional dos trens, porém interligados eletricamente nas proximidades da Estação Águas Claras. Os trechos compreendem tanto estações e subestações existentes como futuras e são mostrados esquematicamente no diagrama do Anexo I.

No item 5 deste relatório é apresentada uma verificação da viabilidade de eliminar a SR64 localizada no trecho Águas Claras – Samambaia.

No item 7 são apresentados os resultados das simulações com o deslocamento da SR63 na direção oeste, confrontados com os resultados obtidos na posição anterior.

As simulações elétricas foram feitas a partir das simulações de marcha e das grades horárias apresentadas no relatório RT.7/00.0Z/K1.005 – rev. 0.

2 METODOLOGIA DE CÁLCULO

O programa de simulação elétrica utilizado foi desenvolvido em Visual Basic. Ele calcula, a cada instante, as tensões nos nós e as correntes nos vários elementos do sistema de tração elétrica.

O intervalo de tempo adotado entre instantes subseqüentes é de 1 segundo, acompanhando o intervalo considerado na grade horária.

A rede elétrica é representada por um circuito elétrico equivalente incluindo modelos para trens, subestações, linha de contato e retorno.

Os trens são modelados como fontes ideais de corrente cuja posição e valor são dados através da simulação de marcha e da simulação de tráfego (grade horária). Da variação das posições e valores resulta a alteração do fluxo de cargas de instante para instante.

As fontes de tensão (subestações retificadoras) são modeladas considerando uma tensão em vazio, U_{do}, em série com uma resistência interna, Ri. Essa resistência é calculada através da seguinte fórmula:

$Ri = (U_{do} – U_{dn})_{x} 1000 / I_n$

Onde:

Ri: .....Resistência interna do grupo em mΩ

U_{do}: .....Tensão em vazio em V

U_{dn}: .....Tensão em nominal em V

I_n: ..... Corrente nominal do grupo em A

Para as tensões em vazio e nominal consideradas, respectivamente 862,5 V e 825 V, foram obtidas as seguintes resistências internas para as subestações:

- 2 x 1750 kW: 8,8 mΩ;
- 2 x 2000 kW: 7,7 mΩ;
- 2 x 2750 kW: 5,6 mΩ.

As resistências das subestações com 2 grupos em paralelo é igual à metade da resistência interna de cada grupo.

A partir dos valores instantâneos de corrente são calculadas as correntes eficazes nos grupos das subestações retificadoras e nos alimentadores das subestações para o intervalo de tempo considerado, correspondente a um ciclo de operação.

A formula de cálculo é a seguinte: $I_{rms} = \sqrt{\sum i^2}_{x} \triangle t / N_{inst\,x} \triangle t$

Onde:

$I_{rms:}$ ..... Corrente eficaz ou r.m.s.

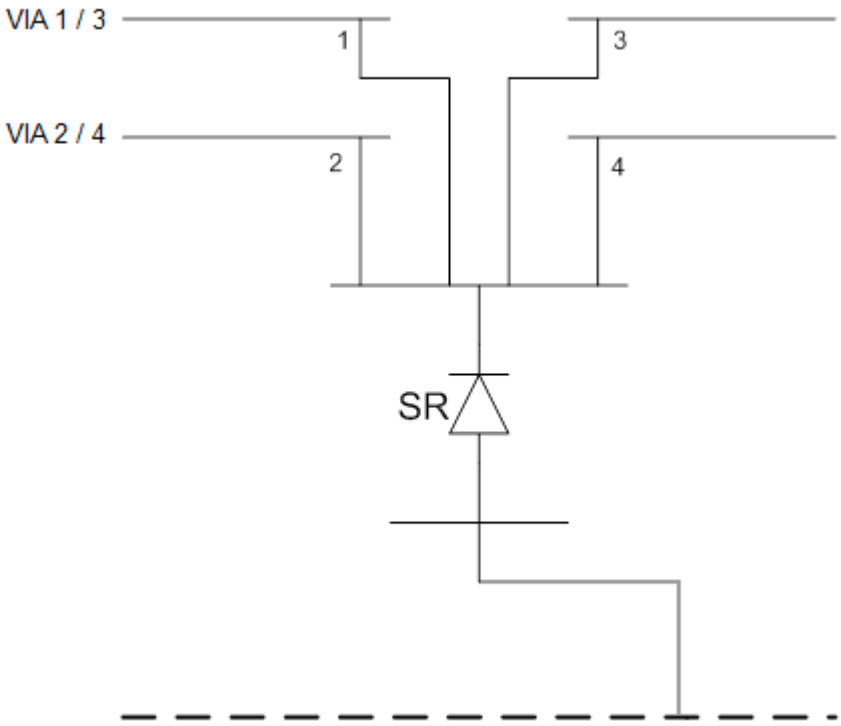
i: ..... Valor instantâneo da corrente em amperes.

$\triangle t$: ..... Incremento de tempo considerado igual a 1 segundo.

N_{inst} : ..... Número de instantes do ciclo considerado.

São também calculadas as quedas de tensão nos diversos elementos do sistema, tanto no circuito positivo como no de retorno. O programa calcula a tensão aplicada entre os terminais positivo e negativo dos trens e determina a menor tensão que ocorre ao longo do ciclo de operação considerado. Essa tensão é de interesse para verificação das condições operacionais do trem quanto à mínima tensão admissível.

Os alimentadores da subestação são identificados por números, conforme mostrado no diagrama a seguir:



No trecho Ceilândia - Asa Norte, os alimentadores 1 e 2 localizam-se do lado Ceilândia, em relação ao gap.

No trecho Samambaia - Águas Claras, os alimentadores 1 e 2 localizam-se do lado de Samambaia. Nesse caso as vias são a 3 e a 4, ao invés de 1 e 2 como mostrado no diagrama acima.

Neste relatório não serão apresentadas as potências calculadas para 1 minuto. Os resultados apresentados no Relatório da Simulação Elétrica Vinculada a Simulação de Marcha RT.4/EX.99/00.006 – rev. 0 mostraram que, para os “headways” considerados, elas não são determinantes para o dimensionamento dos grupos retificadores, não sendo muito superiores às potências em regime.

3 CRITÉRIOS OPERACIONAIS

Conforme apresentado no relatório RT.7/00.0Z/K1.005 – rev. 0 da Simulação de marcha e grade horária, do ponto de vista operacional dos trens serão considerados os seguintes "loops" independentes:

- De Ceilândia a Asa Norte;
- De Águas Claras a Samambaia.

Em ambos os "loops" o "headway" será de 180 seg., não havendo interpenetração dos trens de um "loop" para o outro.

Os sistemas de tração, contudo, através de ligações do 3º trilho e do retorno nas proximidades da Estação Águas Claras, serão interligados de forma que as subestações retificadoras dos 2 trechos operarão em paralelo.

Para o dimensionamento do sistema de tração serão considerados os seguintes casos para simulação:

- Sistema íntegro, com todas as 25 subestações retificadoras em operação;
- Sistema degradado pela perda de uma subestação de cada vez, num total de 25 casos simulados. Não serão considerados casos de dupla degradação.

4 DADOS DE ENTRADA DAS SIMULAÇÕES

4.1 Localização das subestações

Em conformidade com a grade horária, as vias foram denominadas da seguinte forma:

- Via 1, de Asa Norte para Ceilândia e Via 2, de Ceilândia para Asa Norte;
- Via 3, de Águas Claras para Samambaia e Via 4, de Samambaia para Águas Claras.

Nas proximidades da Estação Águas Claras foi prevista a interligação do terceiro trilho das vias 1 e 3 e das vias 2 e 4.

A origem da quilometragem para o trecho Ceilândia – Asa Norte foi considerada no km 98.161,739 da Linha, nas proximidades da Estação Ceilândia. Assim sendo, para efeito das simulações elétricas, em correspondência com a grade horária, esse é o início (km 0) para esse trecho.

Já para o trecho Águas Claras – Samambaia, a origem das quilometragens foi assumida em Samambaia em conformidade com a grade horária.

A localização das subestações retificadoras das tabelas seguintes está, portanto, referida a esses pontos. Essas localizações referem-se aos pontos aproximados de ligação dos alimentadores ao terceiro trilho das vias.

4.1.1 Trecho Ceilândia – Asa Norte

Subestação	Localização (km)		Distância (KM)
SR16	0,261	98423	
			1,16
SR15	1,42	99581	
			2,24
SR14	3,62	101781	
			0,98
SR13	4,60	102766	
			3,07
SR12	7,67	105834	
			2,12
SR11	9,79	107972	
			3,58
SR10	13,37	111547	
			1,77
SR9	15,13	113312	
			2,65
SR8	17,8	115966	
			2,26
SR7	20,04	118221	
			2,96
SR6	23,0	121181	
			2,2

SR5	25,2	123381	
			3,15
SR4	28,35	126529	
			2,16
SR3	30,51	128687	
			2,16
SR2	32,66	130845	
			0,76
SR1	33,42	131605	
			1,46
SR21	34,88	133065	
			2,20
SR22	37,10	135250	
			2,16
SR23	39,23	137410	
			1,30
SR24	40,53	138710	

4.1.2 Trecho Águas Claras – Samambaia

Subestação	Localização (km)		Distância (km)
SR65	0,15	57250	
			1,15
SR64	1,30	58400	
			1,41
SR63	2,71	59810	
			2,6

SR62	5,31	62410	
			3,79
SR61	9,10	66200	

As subestações anteriormente denominadas 15 e 16 (projeto de 1992) são agora denominadas subestações 62 e 61 respectivamente.

4.2 Dados elétricos

Todas as subestações estão equipadas com 2 grupos retificadores que operam em paralelo em condições normais.

As potências nominais dos grupos retificadores podem ser 1.750 kW, 2.000 kW ou 2.750 kW. A potência total instalada em cada subestação é mostrada na tabela 4.1 do item 4. Para as subestações futuras as potências indicadas foram assumidas a partir dos resultados preliminares das simulações.

Conforme exposto no item 2 acima, resultaram as seguintes resistências das SRs que foram utilizadas nas simulações:

- 2x1750 kW: 8,8 mΩ;
- 2x2000 kW: 7,7 mΩ;
- 2x2750 kW: 5,6 mΩ.

As condições de sobrecarga admissíveis, para a classe VI “Heavy Traction” da norma IEC 146, que serão confrontadas com os resultados obtidos, são as seguintes:

- 150% durante 2 horas;
- 300% durante 1 minuto.

Para o terceiro trilho e retorno foram consideradas as seguintes resistências específicas:

- 3º trilho: 12,42 mΩ/km;
- Trilhos de rolamento (4 trilhos em paralelo): 12,0 mΩ/km.

Os limites de tensão admissíveis no 3º trilho, para a nominal de 750 V, são 500 V e 900 V.

A corrente máxima admissível em regime do 3º trilho é de 3.300 A, conforme memorial de calculo do terceiro trilho MC.4/EF.99/00.301.

5 VERIFICAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE ELIMINAR A SR64.

Neste item será verificada a possibilidade de suprimir a subestação SR64 no trecho Samambaia-Águas Claras. Os resultados completos das simulações feitas sem a SR64 são apresentadas no Anexo IV.

Foram simulados os seguintes casos:

- Sistema íntegro;
- SR65 fora de operação;
- SR63 fora de operação.

O resumo das potências máximas calculadas, para as SRs no entorno da SR64, é apresentado na tabela a seguir.

SR	Sistema íntegro	Sistema degradado	Potência nominal	Sobrecarga adm. 150%
65	2629,7 kW	4344,4 kW	4000 kW	6000 kW
63	4012,7 kW	5965,7 kW	5500 kW	8250 kW
62	4236,1 kW	5960,3 kW	5500 kW	8250 kW

As tensões mínimas para o trem obtidas nos casos simulados são apresentadas na tabela a seguir.

Caso Simulado	Tensão mínima
Sistema Integro	706,7 V
SR65 fora	523,6 V
SR63 fora	642,5 V

Verifica-se dos resultados obtidos que:

- Quanto ao critério da capacidade de potência é possível suprimir a SR64;
- Quanto ao critério da tensão admissível para o trem, contudo, a tensão 523,6 V que resulta quando a SR65 está fora de operação, não é admissível, pois é inferior à tensão mínima aceitável com margem de segurança (550V).

6 RESULTADOS RESUMIDOS DAS SIMULAÇÕES

A tabela do item 6.1 apresenta os seguintes valores de potência das subestações retificadoras:

- Potência calculada com o sistema íntegro;
- Maior potência calculada dentre os casos simulados com o sistema degradado;
- Potência nominal da subestação;
- Sobrecarga admissível durante 2 horas.

Como cada SR tem 2 grupos operando em paralelo em condições normais, as potências das SRs correspondem ao produto da potência nominal do grupo pelo nº de grupos instalados na SR.

As tabelas permitem o confronto entre as potências instaladas nas SRs existentes, ou que foram admitidas preliminarmente para as SRs futuras, e os valores calculados através das simulações.

A tabela do item 6.2 apresenta as tensões mínimas para o trem para cada um dos casos simulados.

No item 6.3 é apresentada a verificação da capacidade de corrente do 3° trilho em função das correntes eficazes calculadas nos alimentadores das subestações.

6.1 Potências das subestações

SR	Sistema íntegro	Sistema degradado	Potência nominal	Sobrecarga adm. 150%
16	1744,5 kW	3121,0 kW	4000 kW	6000 kW
15	2494,6 kW	3754,7 kW	4000 kW	6000 kW
14	2702,3 kW	4424,2 kW	4000 kW	6000 kW
13	3293,5 kW	4594,9 kW	4000 kW	6000 kW

12	3358,8 kW	4866,1 kW	4000 kW	6000 kW
11	3477,5 kW	4812,1 kW	3500 kW	5250 kW
10	4022,7 kW	5512,4 kW	5500 kW	8250 kW
9	4214,1 kW	6081,5 kW	5500 kW	8250 kW
65	1642,9 kW	2629,8 kW	4000 kW	6000 kW
64	2117,9 kW	3425,5 kW	4000 kW	6000 kW
63	3241,9 kW	5087,5 kW	5500 kW	8250 kW
62	4127,5 kW	5266,5 kW	5500 kW	8250 kW
61	3737,9 kW	4953,7 kW	4000 kW	6000 kW
8	2433,1 kW	3516,7 kW	3500 kW	5250 kW
7	3000,8 kW	3801,4 kW	3500 kW	5250 kW
6	2526,2 kW	3845,9 kW	3500 kW	5250 kW
5	3100,4 kW	4191,3 kW	4000 kW	6000 kW
4	4014,7 kW	5655,1 kW	4000 kW	6000 kW
3	4393,3 kW	6258,3 kW	5500 kW	8250 kW
2	2919,25 kW	4300,9 kW	5500 kW	8250 kW
1	2331,9 kW	3729,9 kW	3500 kW	5250 kW
21	4055,5 kW	5299,5 kW	5500 kW	8250 kW
22	3783,8 kW	5005,0 kW	5500 kW	8250 kW
23	3528,8 kW	5351,8 kW	5500 kW	8250 kW
24	2365,3 kW	4346,1 kW	5500 kW	8250 kW

6.2 Tensões mínimas

Caso Simulado	Tensão mínima
Sistema Integro	706,7 V
SR16 fora	679,5 V
SR15 fora	706,7 V
SR14 fora	705,4 V
SR13 fora	656,3 V
SR12 fora	638,1 V
SR11 fora	608,7 V
SR10 fora	600,0 V
SR9 fora	666,8 V
SR65 fora	694,7 V
SR64 fora	706,7 V
SR63 fora	680,5 V
SR62 fora	603,0 V
SR61 fora	613,9 V
SR8 fora	686,8 V
SR7 fora	634,6 V
SR6 fora	647,8 V
SR5 fora	637,2 V
SR4 fora	590,0 V
SR3 fora	619,8 V
SR2 fora	706,2 V
SR1 fora	706,6 V
SR21 fora	662,9 V
SR22 fora	661,0 V

SR23 fora	690,6 V
SR24 fora	634,3 V

6.3 Capacidade de corrente do 3º trilho

Serão consideradas as correntes eficazes calculadas nos alimentadores das subestações retificadoras.

Verifica-se dos Resultados Detalhados das Simulações do Anexo III, que nos seguintes casos a máxima admissível em regime continuo de 3.300 A foi ultrapassada:

- 3347,03 A no alimentador 1 da SR3 com a SR4 fora;
- 3607,42 A no alimentador 4 da SR9 com a SR8 fora;
- 3483,05 A no alimentador 1 da SR9 com a SR10 fora;
- 3731,05 A no alimentador 1 da SR23 com a SR22 fora;
- 3869,31 A no alimentador 4 da SR9 com a SR61 fora.

Na análise desses resultados, deve ser considerado que essas correntes só ocorrem nos períodos de pico de operação, com duração aproximada de 2 horas.

Deve ser ressaltado que os resultados das simulações são conservativos, podendo-se estimar que são, no mínimo, 10% superiores aos valores reais. Assim sendo, apenas os 2 últimos casos devem ser verificados mais detalhadamente.

No caso do alimentador 1 da SR23 trata-se de uma subestação futura. Quando do desenvolvimento do projeto final da Extensão Norte da Linha esse caso poderá ser reavaliado.

Já no caso do alimentador 4 da SR9, situada nas proximidades da Estação Águas Claras, esse resultado foi obtido para a condição de 2 “loops” independentes, conforme descrito no item 3 – Critérios Operacionais. Essa condição é mais crítica para as SRs do entorno de Águas Claras do que a condição alternativa de integração da linha e do ramal Samambaia, com interpenetração dos trens. Assim sendo, apenas no caso de adoção da alternativa com “loops” independentes será preciso analisar melhor a situação do trecho desse alimentador, prevendo-se, eventualmente, a instalação de uma nova SR próximo a alça do pátio Águas Claras ou o reforço do 3º trilho do citado setor elétrico. Contudo, para os casos de operação eventual do trecho Samambaia com headway de 180 seg. o recomendável é que para situação de contingência indicada (SR61 fora) se promova uma restrição operacional do sistema nesse trecho.

7 VERIFICAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE DESLOCAMENTO DA SR63

Neste item serão verificados os resultados obtidos com o deslocamento da SR63 para oeste, localizada no km 60.510 (km 3,41). Esses resultados serão confrontados com os

obtidos na posição anterior da SR63 no km 59.810 constantes do item anterior. Os resultados completos das simulações feitas com a SR63 deslocada são apresentadas no Anexo V.

Foram simulados os seguintes casos:

- Sistema íntegro;
- SR64 fora de operação;
- SR62 fora de operação.

A seguir são apresentados os resultados obtidos para a nova posição, comparados com os da posição anterior, para as subestações do trecho Samambaia-Águas Claras.

SR	Sistema íntegro		Sistema degradado		Potência nominal	Sobrecarga adm. 150%
	km 59.810	km 60.510	km 59.810	km 60.510		
65	1642,9 kW	1726,8 kW	2629,8 kW	3029,4 kW	4000 kW	6000 kW
64	2117,9 kW	2404,8 kW	3647,5 kW	3647,5 kW	4000 kW	6000 kW
63	3241,9 kW	3396,2 kW	5087,5 kW	5281,8 kW	5500 kW	8250 kW
62	4127,5 kW	3684,2 kW	5266,5 kW	5167,5 kW	5500 kW	8250 kW
61	3737,9 kW	3694,6 kW	4953,7 kW	4661,5 kW	4000 kW	6000 kW

A potência com o sistema degradado na SR 64 não se altera com a nova posição da SR63.

As tensões mínimas são mostradas a seguir.

Caso Simulado	Tensão mínima	
	km 59.810	km 60.510
Sistema Integro	706,7 V	706,7 V
SR64 fora	706,7 V	706,7 V
SR62 fora	603,0 V	631,3 V

SR61 fora	613,9 V	616,6 V

Do confronto dos resultados para as 2 posições, verifica-se que os resultados para a posição do km 60.510 são um pouco mais favoráveis do que os da posição anterior. Ambos, contudo são aceitáveis. A decisão sobre a localização da subestação deverá, portanto, basear-se nas condições mais vantajosas do ponto de vista de instalação.

8 CONCLUSÕES

Neste item são apresentadas as conclusões obtidas com base nos resultados das simulações apresentados no item anterior.

8.1 Potências das subestações

Da tabela do item 6.1, verifica-se que, para o "headway" de 180 seg., apenas na SR4 a potência calculada com o sistema íntegro de 4014,7 kW ultrapassa ligeiramente a potência nominal de 4000 kW da subestação.

Já para os casos de degradação devido à perda de uma subestação, em algumas subestações a potência calculada ultrapassa a nominal, porém, fica abaixo da capacidade de sobrecarga por 2 horas. Na tabela a seguir são relacionadas as SRs existentes onde isso ocorre.

SR	Sistema degradado	Potência nominal	Sobrecarga adm. 150%
14	4424,2 kW	4000 kW	6000 kW
13	4594,9 kW	4000 kW	6000 kW
12	4866,1 kW	4000 kW	6000 kW
11	4812,1 kW	3500 kW	5250 kW
10	5512,4 kW	5500 kW	8250 kW
9	6081,5 kW	5500 kW	8250 kW
61	4953,7 kW	4000 kW	6000 kW
8	3516,7 kW	3500 kW	5250 kW
7	3801,4 kW	3500 kW	5250 kW
6	3845,9 kW	3500 kW	5250 kW
5	4191,3 kW	4000 kW	6000 kW

4	5655,1 kW	4000 kW	6000 kW
3	6258,3 kW	5500 kW	8250 kW
1	3729,9 kW	3500 kW	5250 kW

Na maioria das SRs da tabela acima a potência nominal não é ultrapassada além de 20%. Somente nas SRs 4, 11 e 61 elas atingem valores superiores, mais próximos da capacidade de sobrecarga por 2 horas. Considerando, contudo, que as simulações dão sempre resultados conservativos para condições em regime, esses resultados podem ser considerados como aceitáveis.

Os carregamentos das subestações com o sistema íntegro e com cada uma das subestações fora de operação são mostrados nos gráficos do Anexo II.

Os resultados obtidos, juntamente com a análise das condições físicas para instalação de novas subestações, serão levados em consideração no redimensionamento do sistema de tração que será objeto da 2ª etapa de simulações com a redução do "headway" para 90 seg.

8.2 Tensões

As tensões consideradas são as tensões aplicadas nos terminais dos trens, ou seja, descontadas as quedas de tensão nos demais elementos do circuito de tração, inclusive no retorno.

Para a nominal de 750 V a mínima tensão admissível é 500 V. Consideraremos uma margem de segurança de 50 V, ou seja, 550V como mínima admissível.

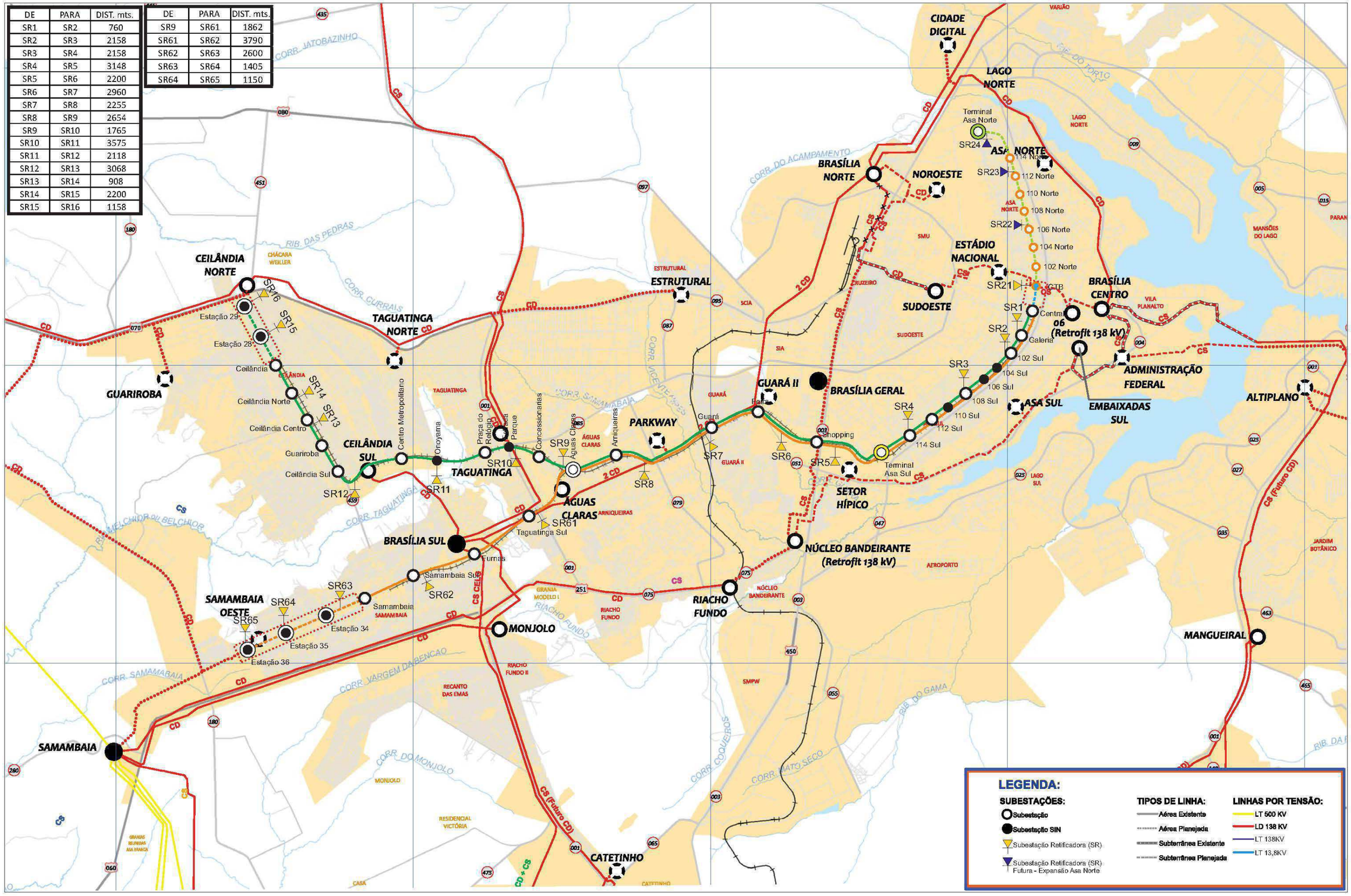
Verifica-se da tabela do item 6.2 que, mesmo nos casos de sistema degradado, essa tensão mínima não é ultrapassada. A mínima tensão, 590,0 V, ocorre quando do fora de operação da SR4.

ANEXOS

ANEXO I - MAPA GEOELÉTRICO DO METRÔ-DF

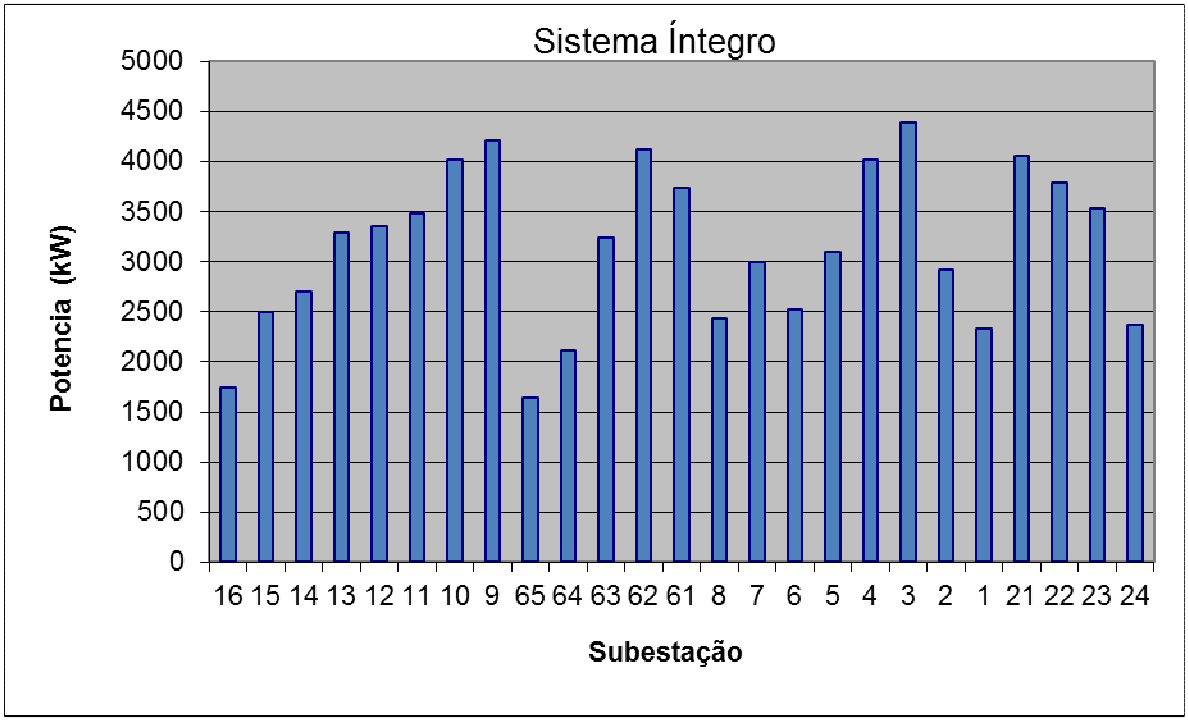
DE	PARA	DIST. mts.
SR1	SR2	760
SR2	SR3	2158
SR3	SR4	2158
SR4	SR5	3148
SR5	SR6	2200
SR6	SR7	2960
SR7	SR8	2255
SR8	SR9	2654
SR9	SR10	1765
SR10	SR11	3575
SR11	SR12	2118
SR12	SR13	3068
SR13	SR14	908
SR14	SR15	2200
SR15	SR16	1158

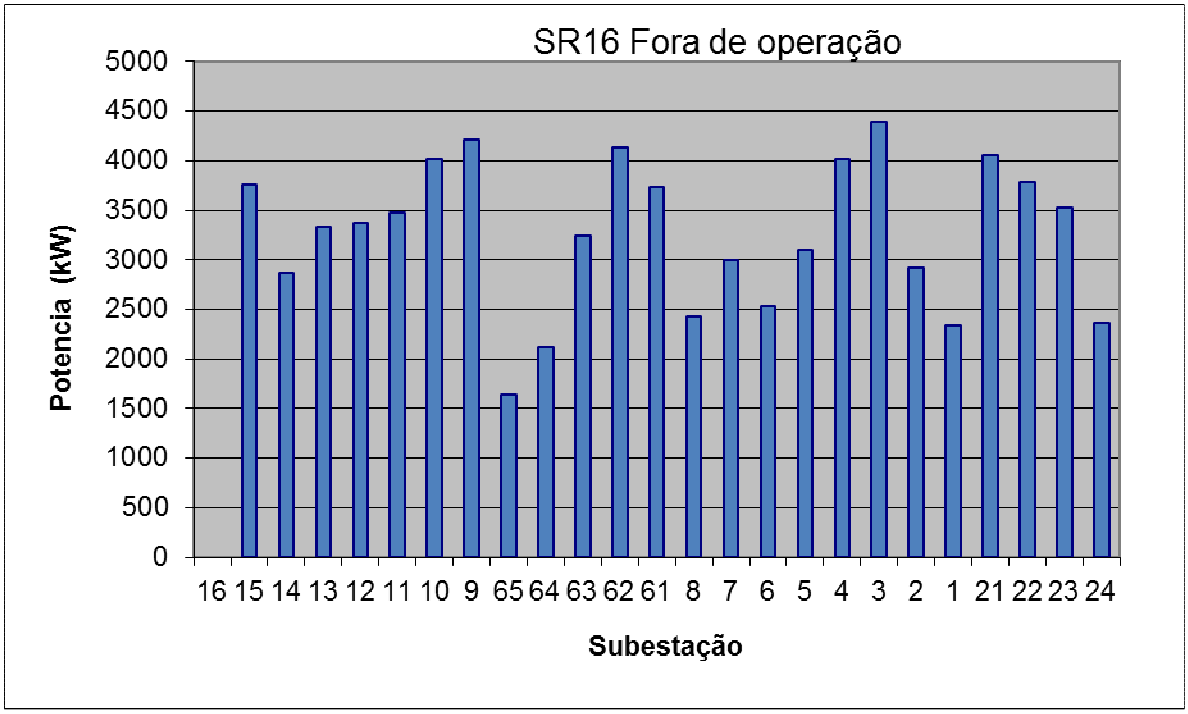
DE	PARA	DIST. mts.
SR9	SR61	1862
SR61	SR62	3790
SR62	SR63	2600
SR63	SR64	1405
SR64	SR65	1150

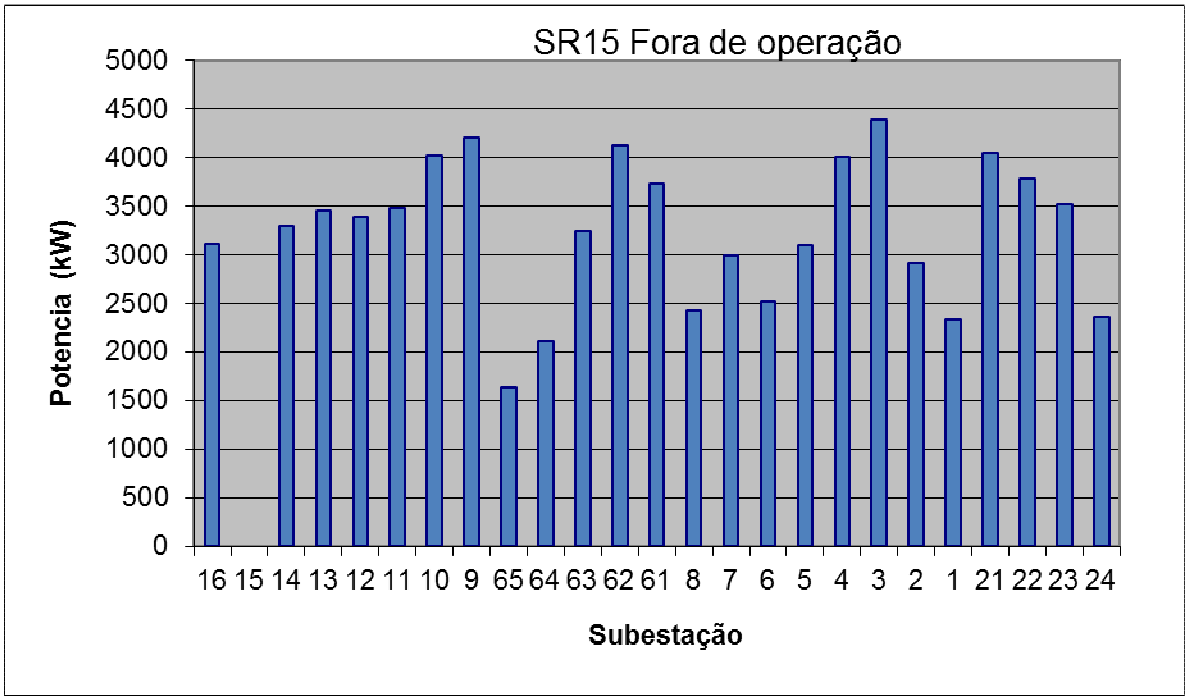


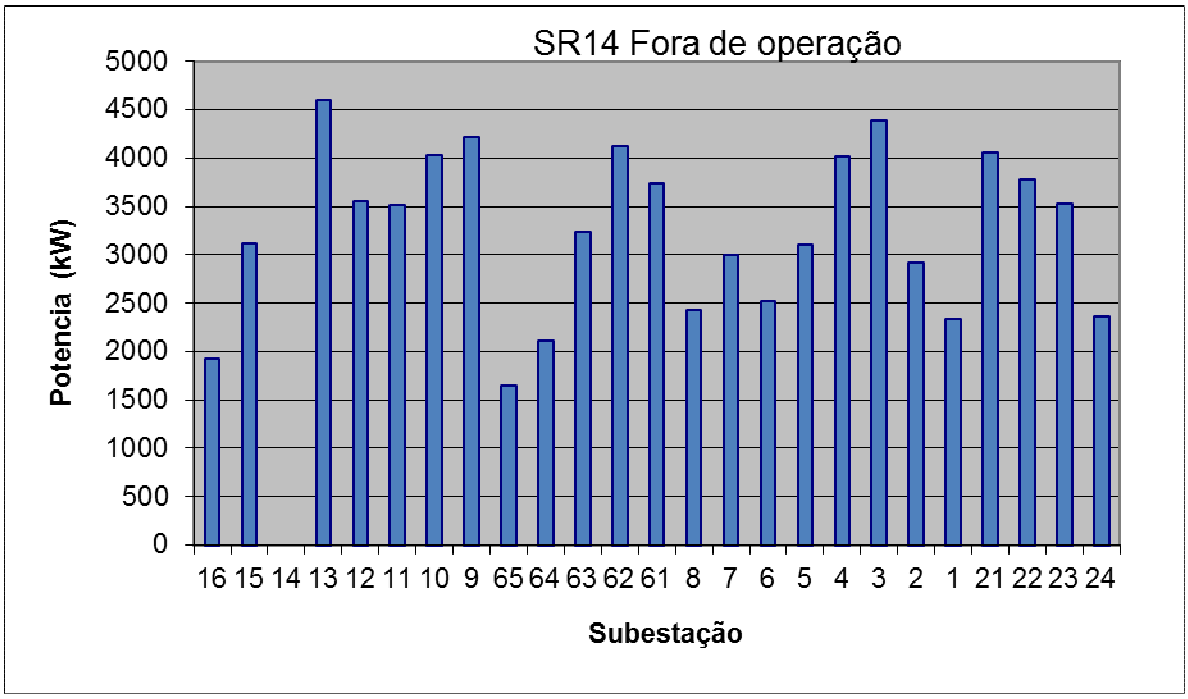
Projeto Básico - Relatório Técnico (RT.4/EX.99/00.007) (55914398) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 764

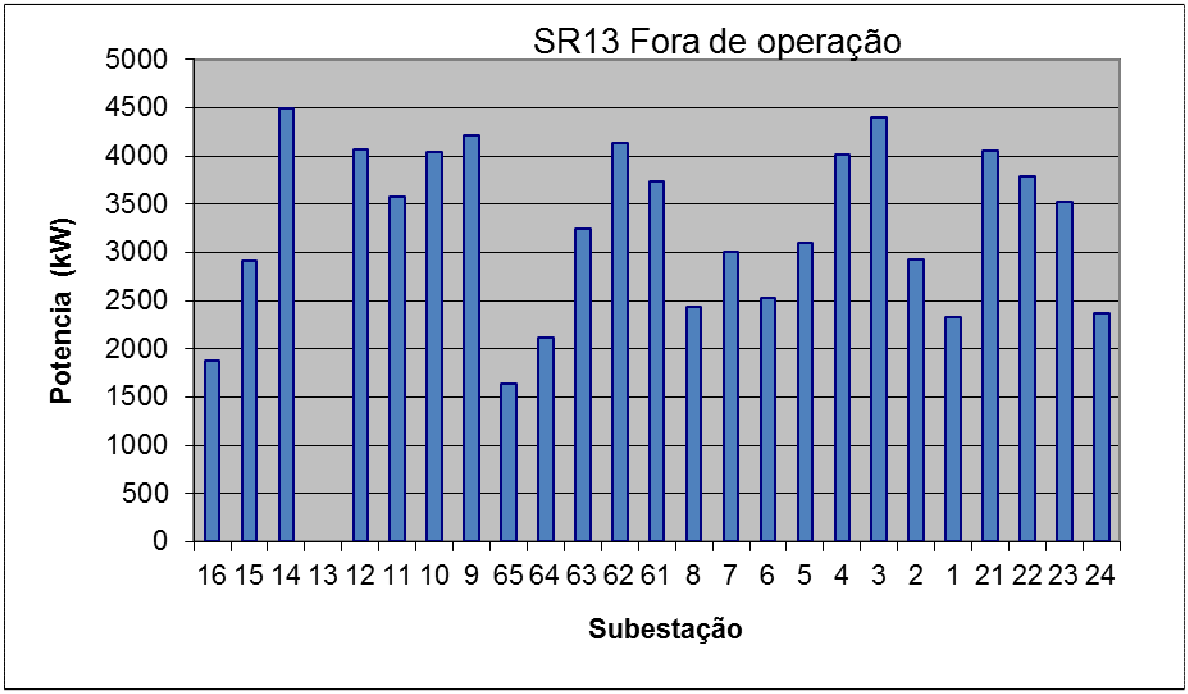
ANEXO II - GRÁFICOS DAS POTÊNCIAS

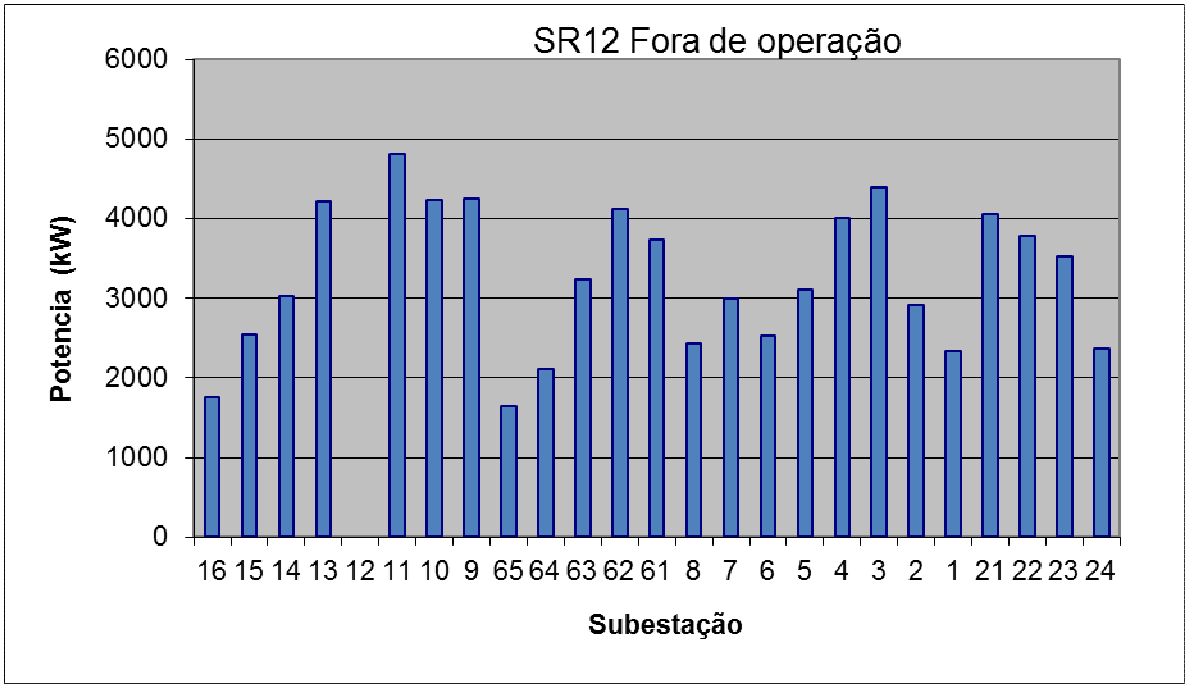

Sistema Íntegro
Potencia (kW)
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

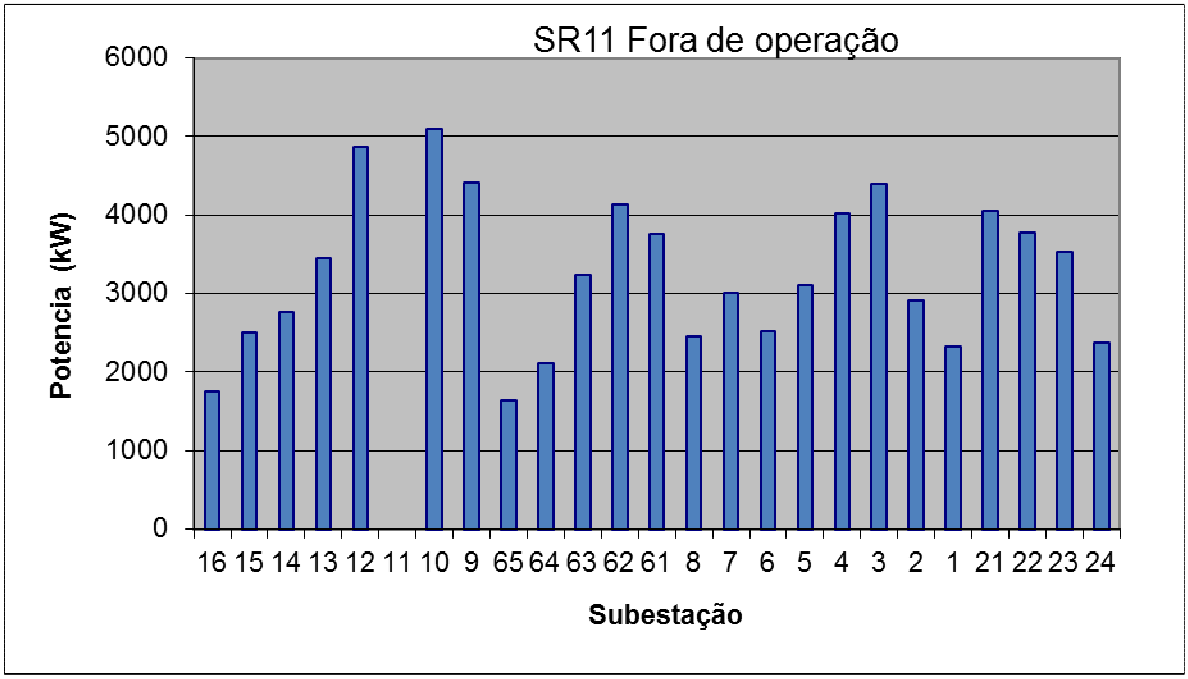

SR16 Fora de operação
Potencia (kW)
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

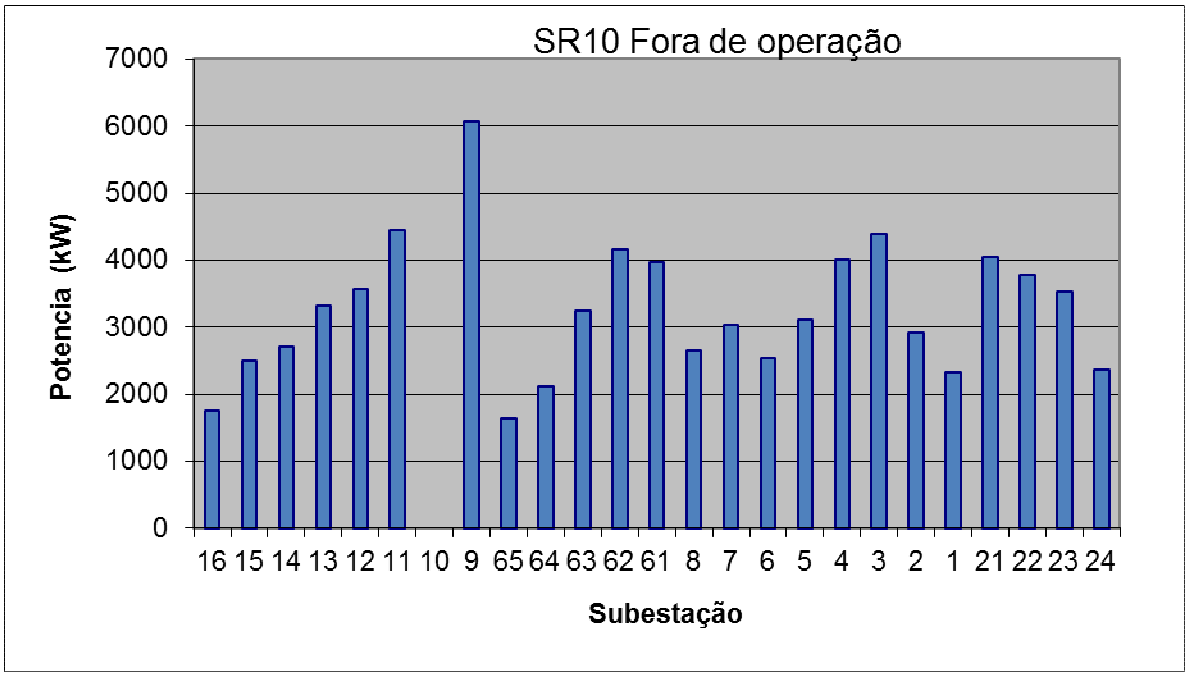

SR15 Fora de operação
Potencia (kW)
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

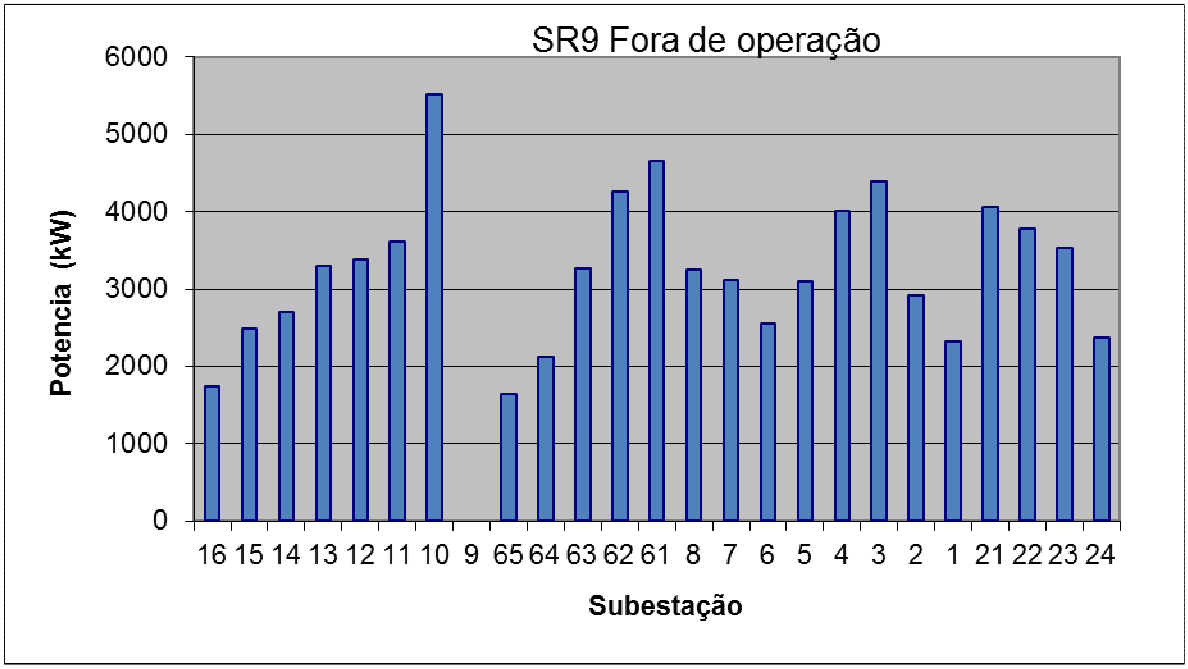

SR14 Fora de operação
Potencia (kW)
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

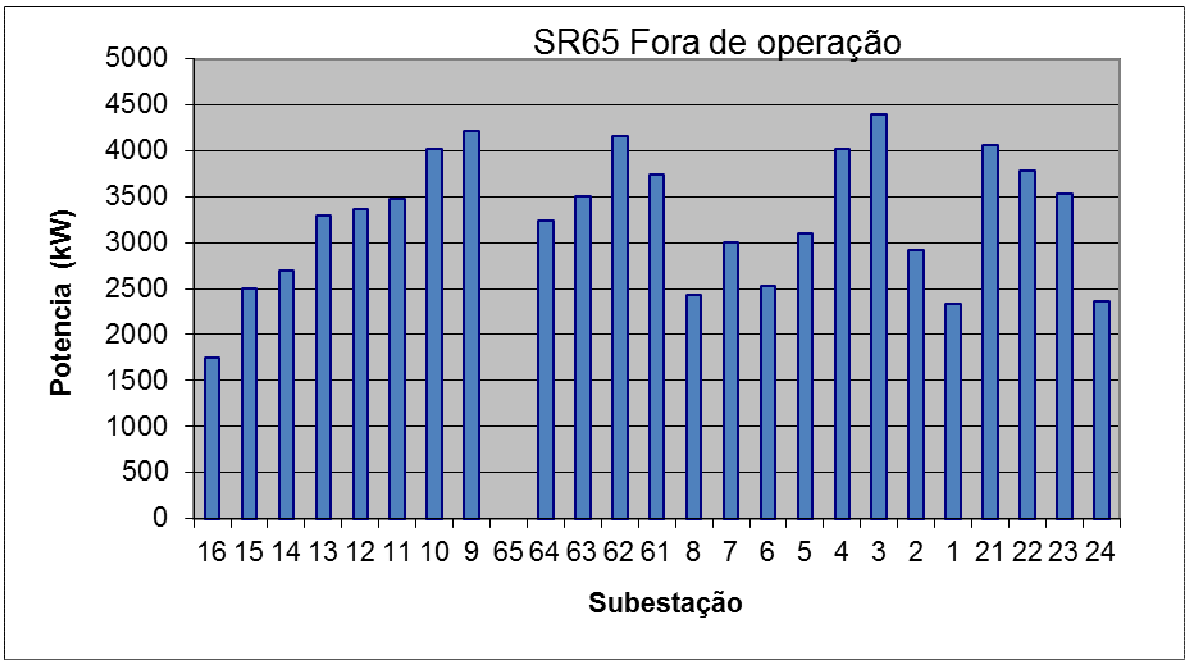

SR13 Fora de operação
Potencia (kW)
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

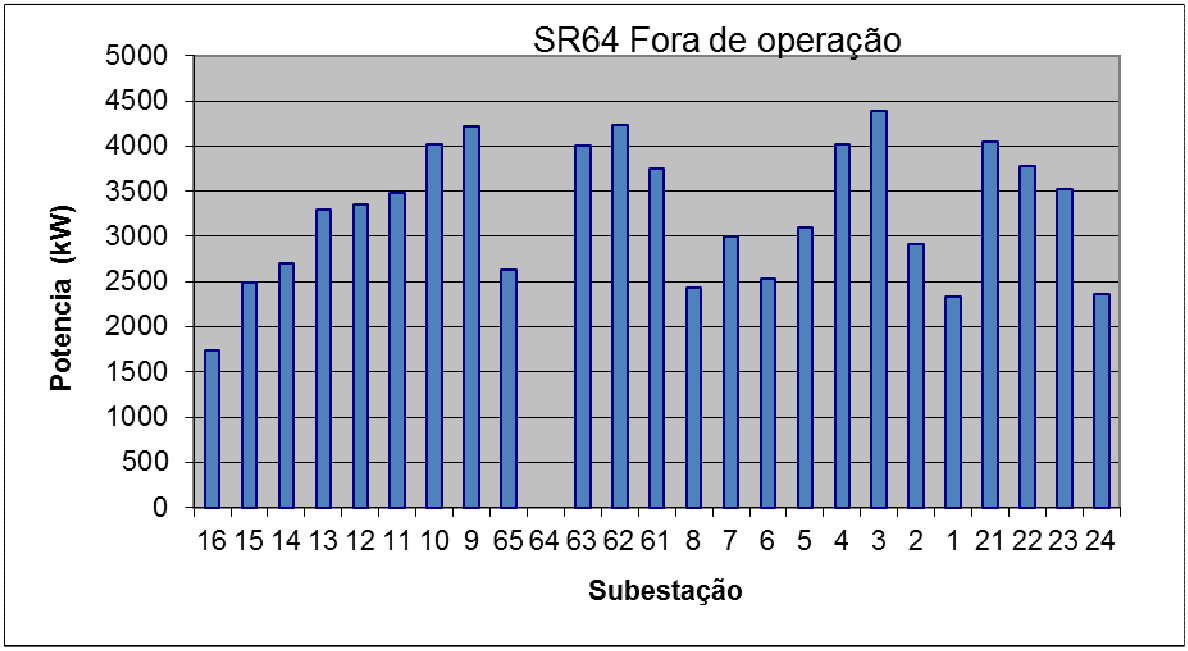

SR12 Fora de operação
Potencia (kW)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

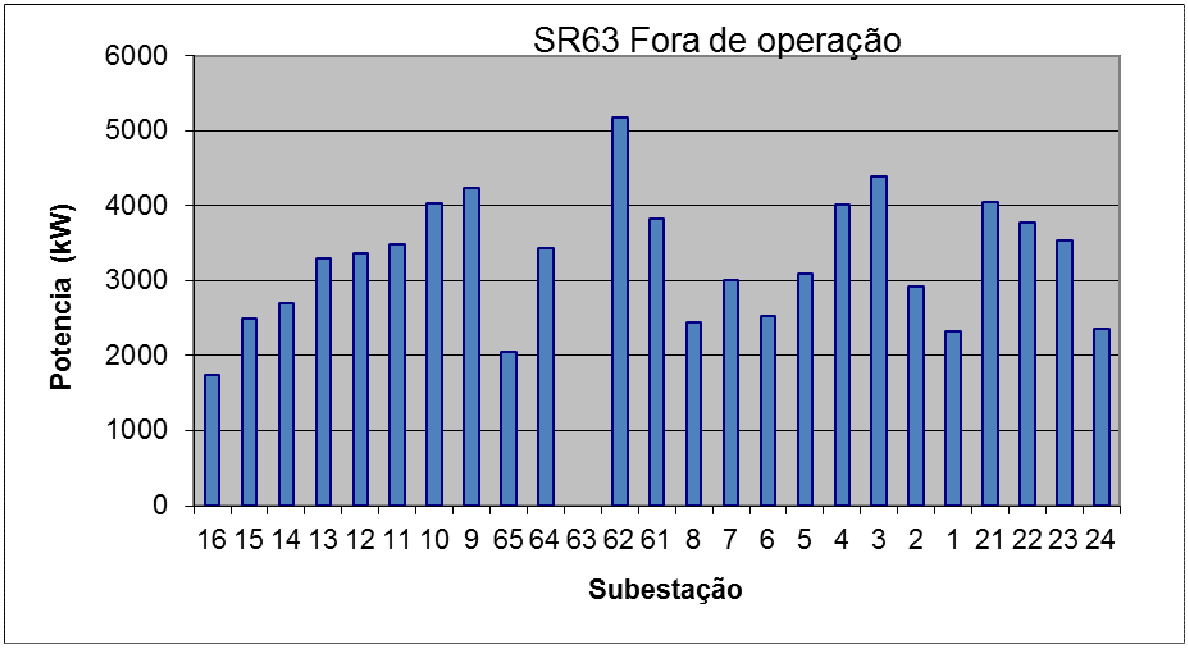

SR11 Fora de operação
Potencia (kW)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

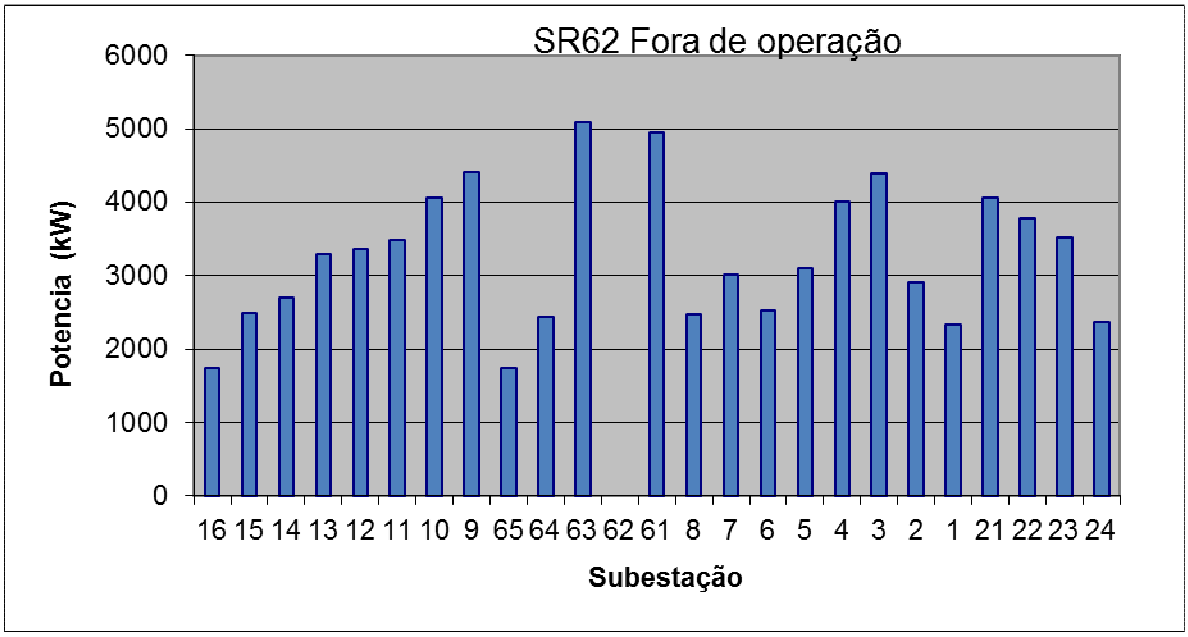

SR10 Fora de operação
Potencia (kW)
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

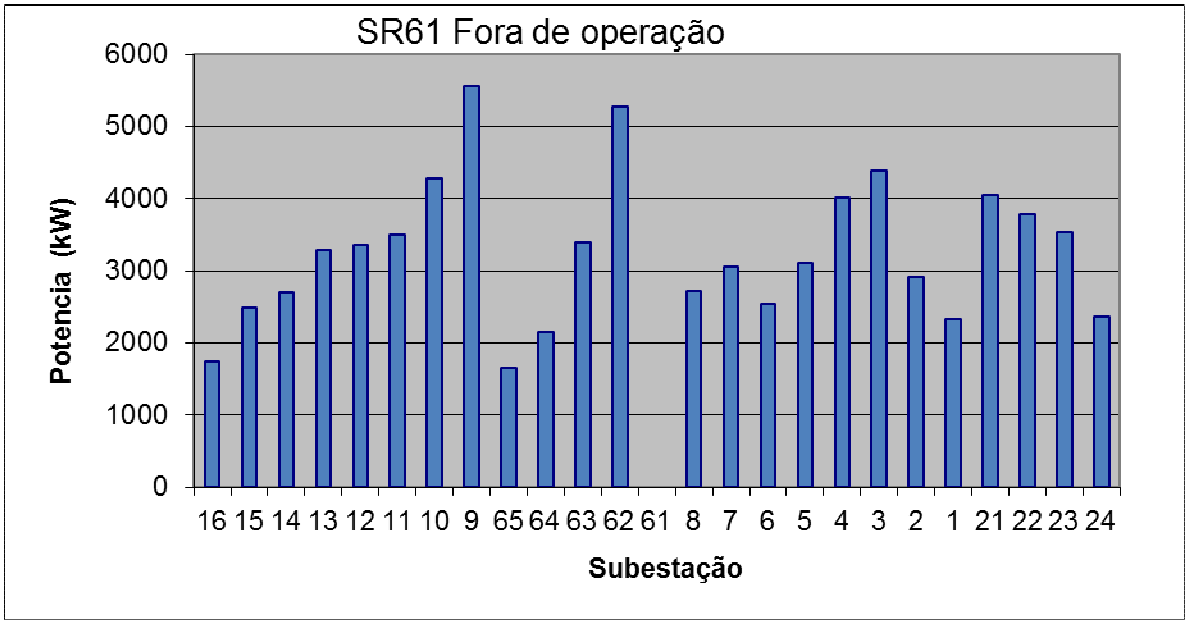

SR9 Fora de operação
Potencia (kW)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

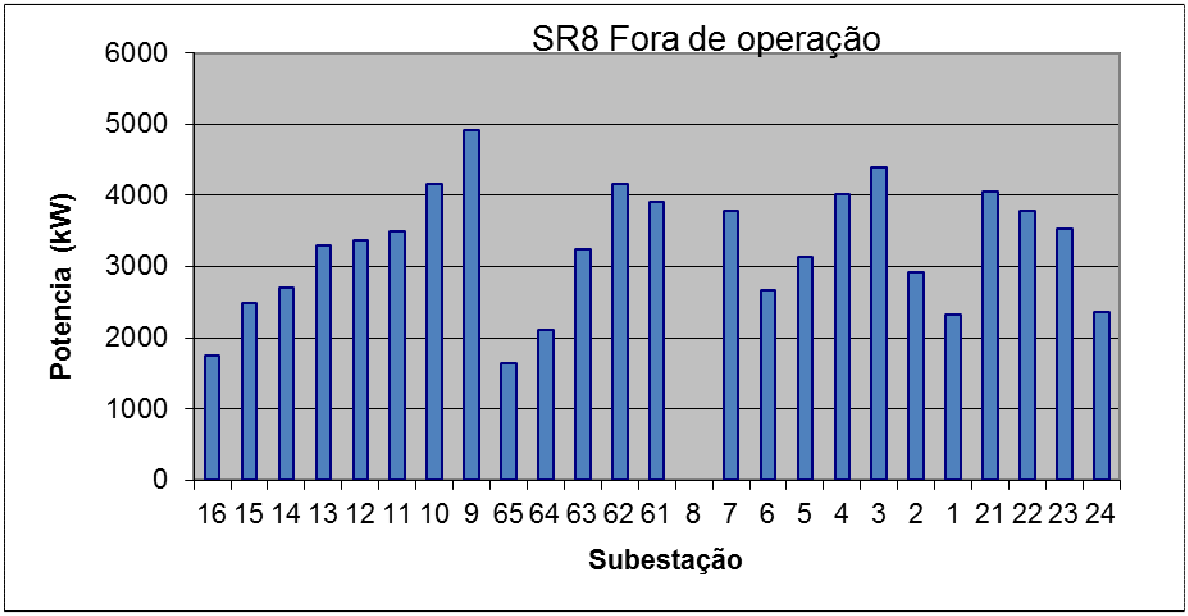

SR65 Fora de operação
Potencia (kW)
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

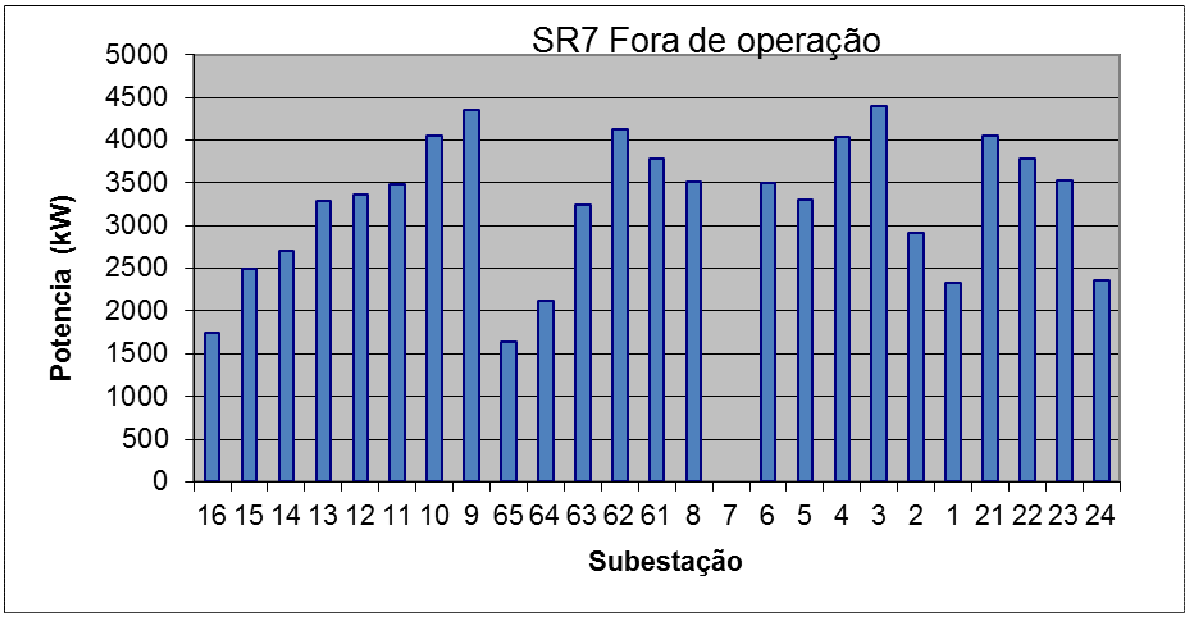

SR64 Fora de operação
Potencia (kW)
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

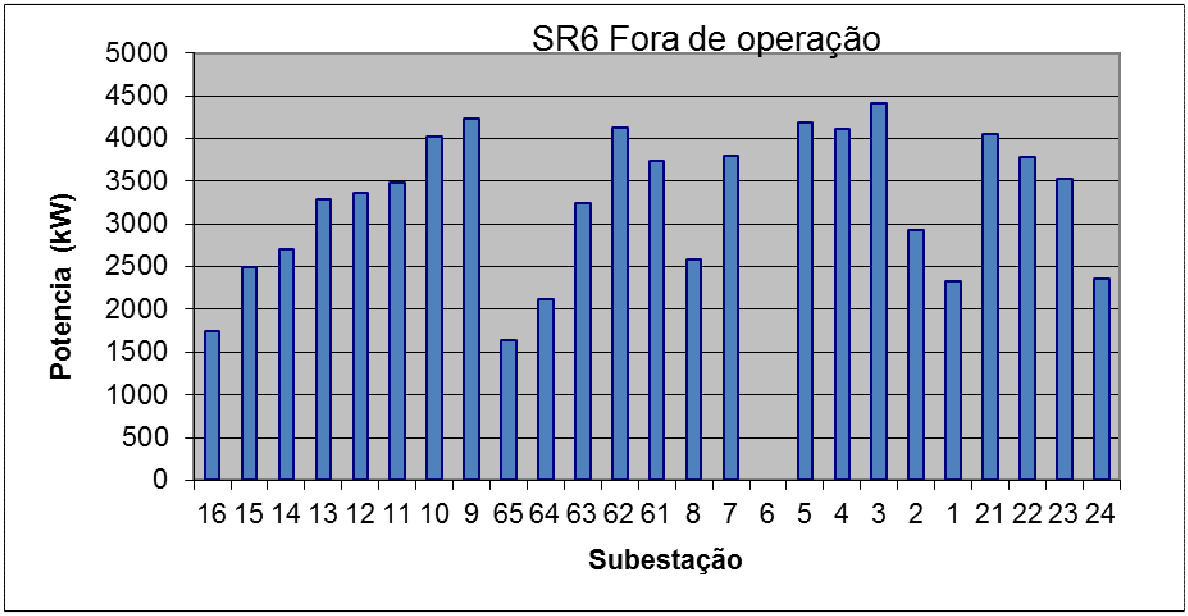

SR63 Fora de operação
Potencia (kW)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

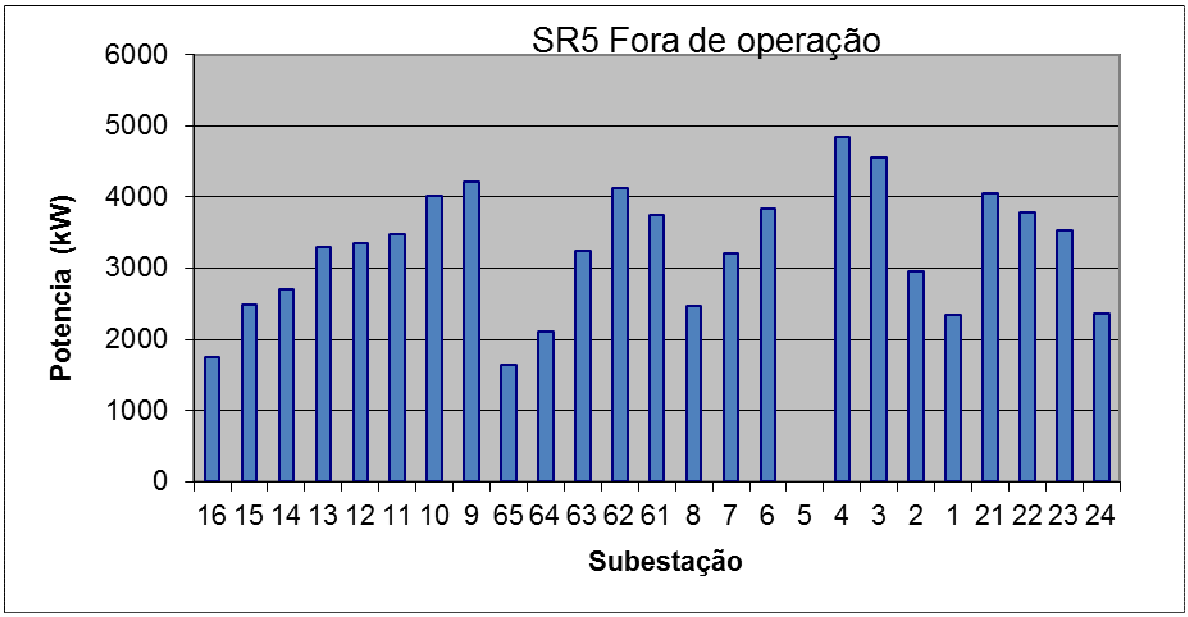

SR62 Fora de operação
Potencia (kW)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

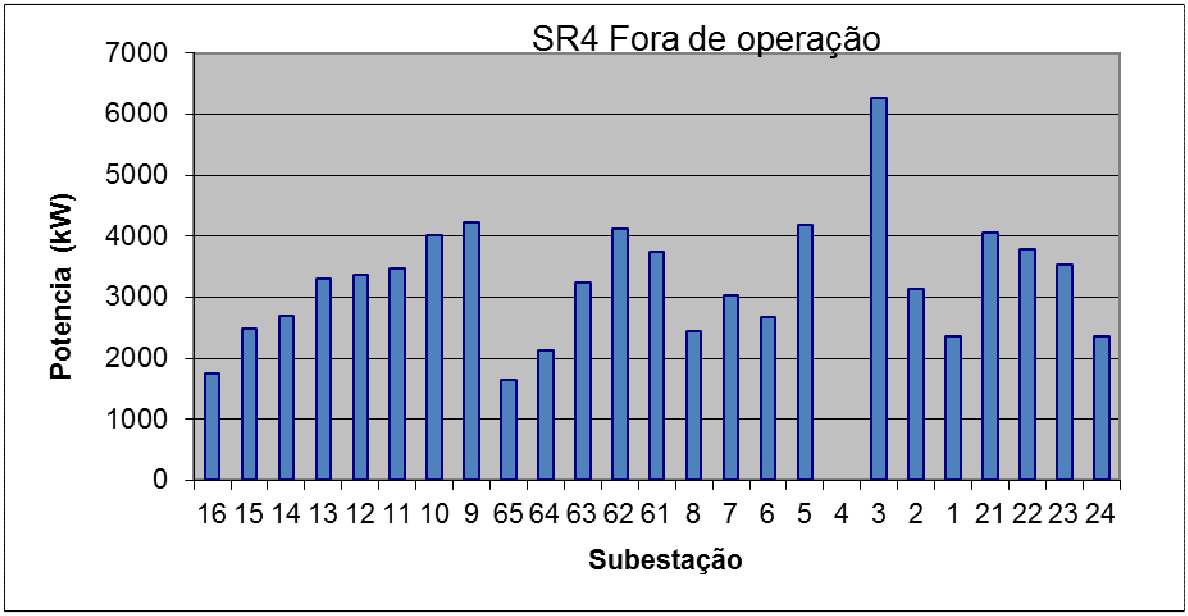

SR61 Fora de operação
Potencia (kW)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

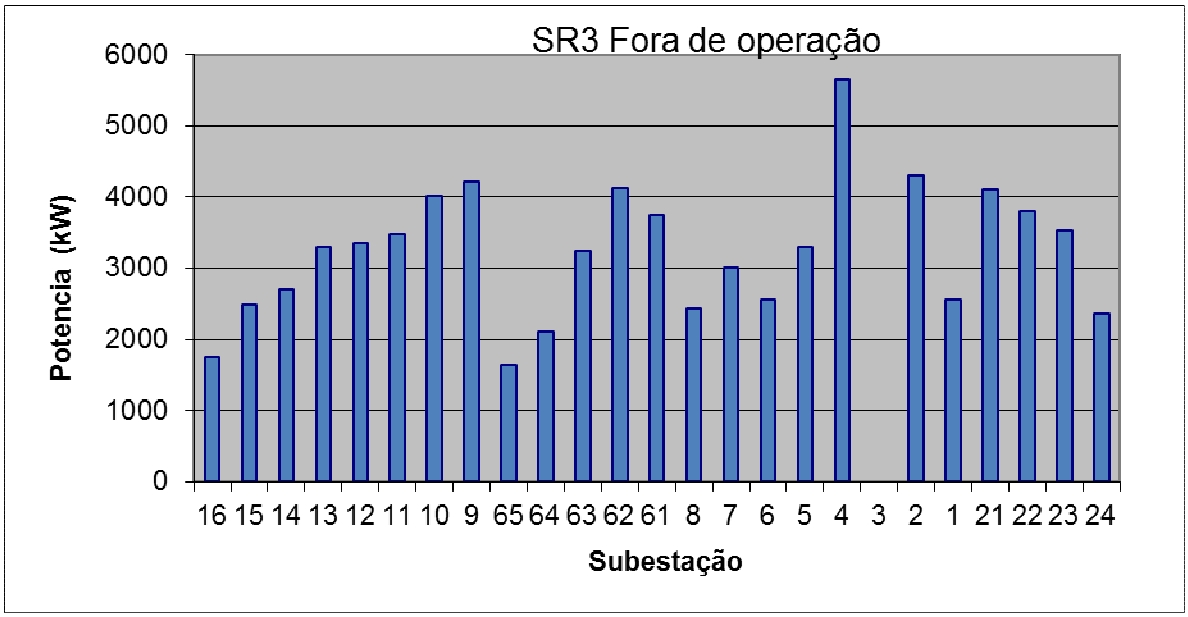

SR8 Fora de operação
Potencia (kW)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

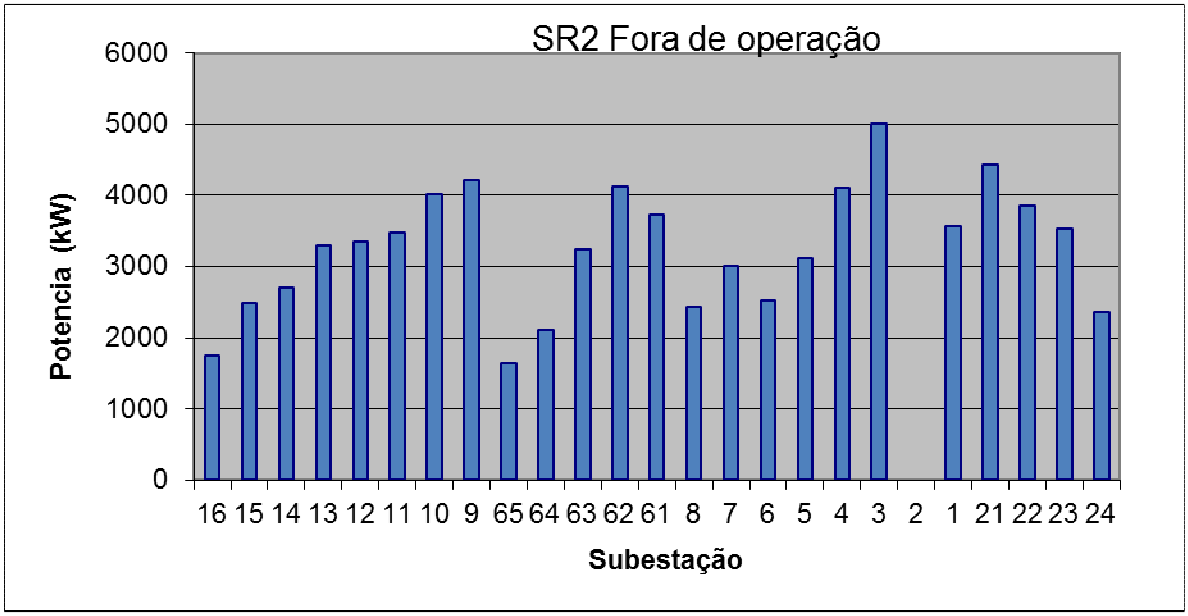

SR7 Fora de operação
Potencia (kW)
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

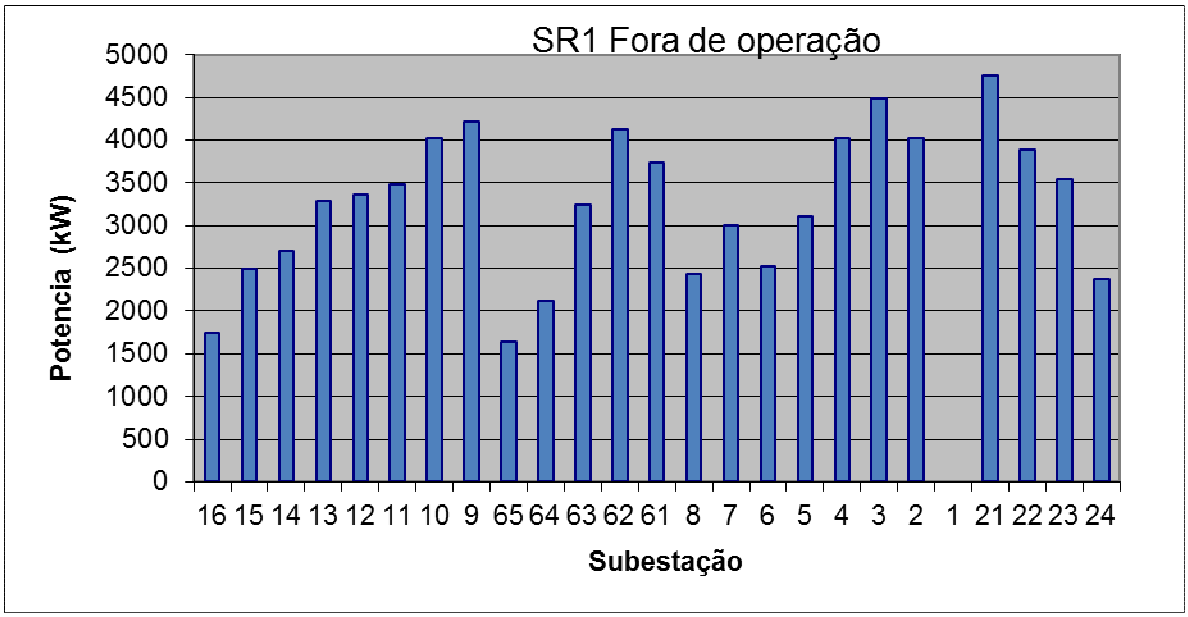

SR6 Fora de operação
Potencia (kW)
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

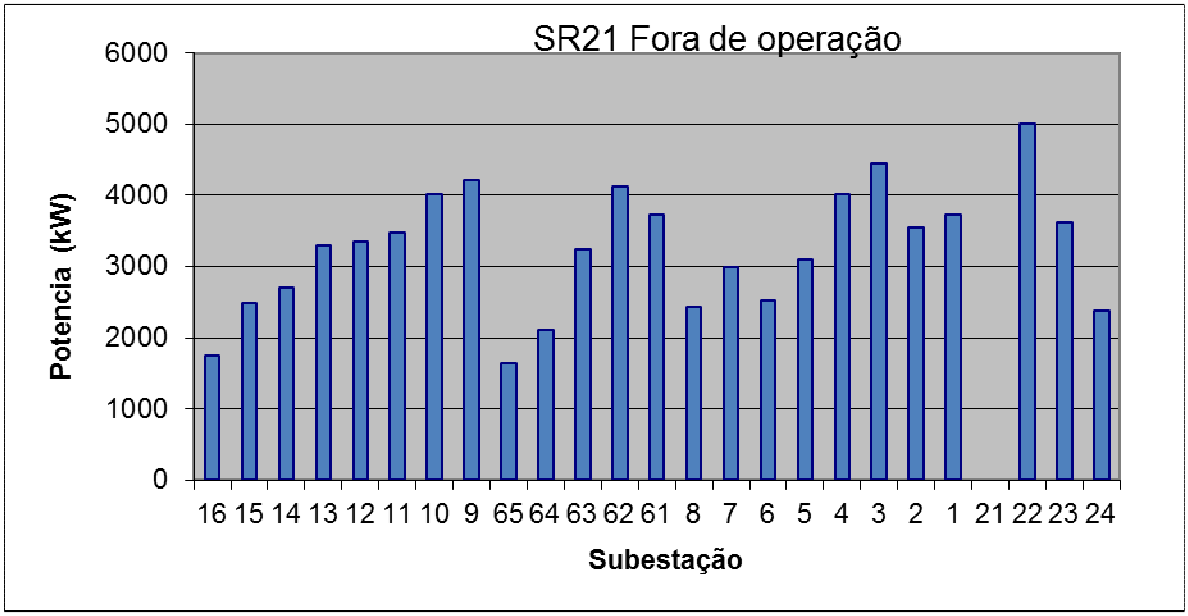

SR5 Fora de operação
Potencia (kW)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

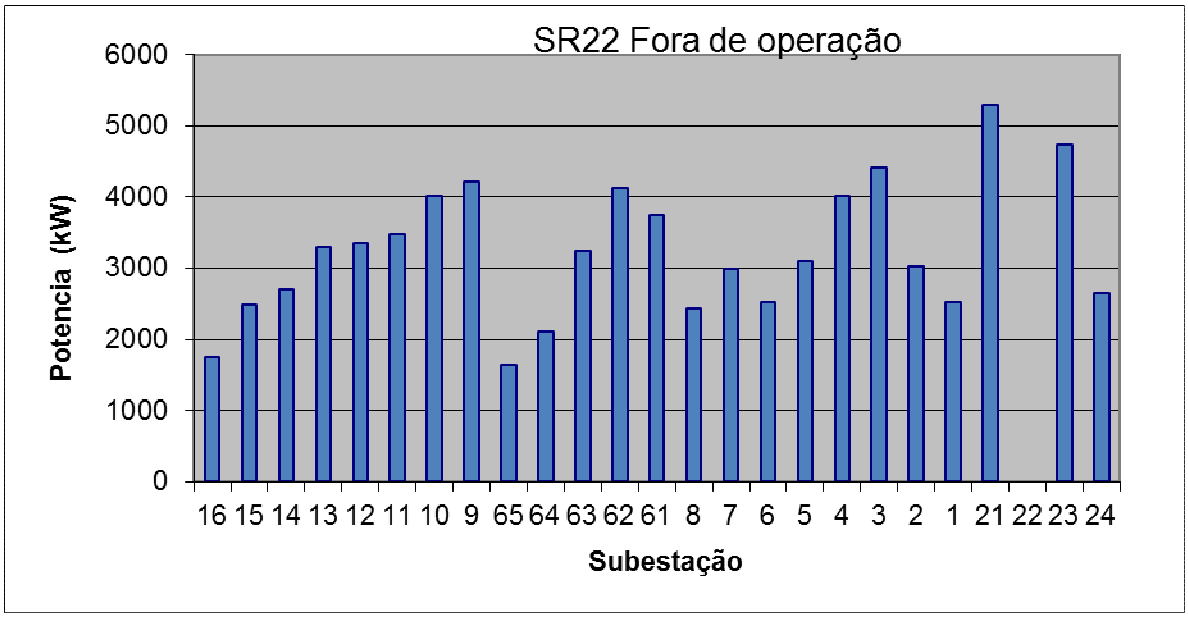

SR4 Fora de operação
Potencia (kW)
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

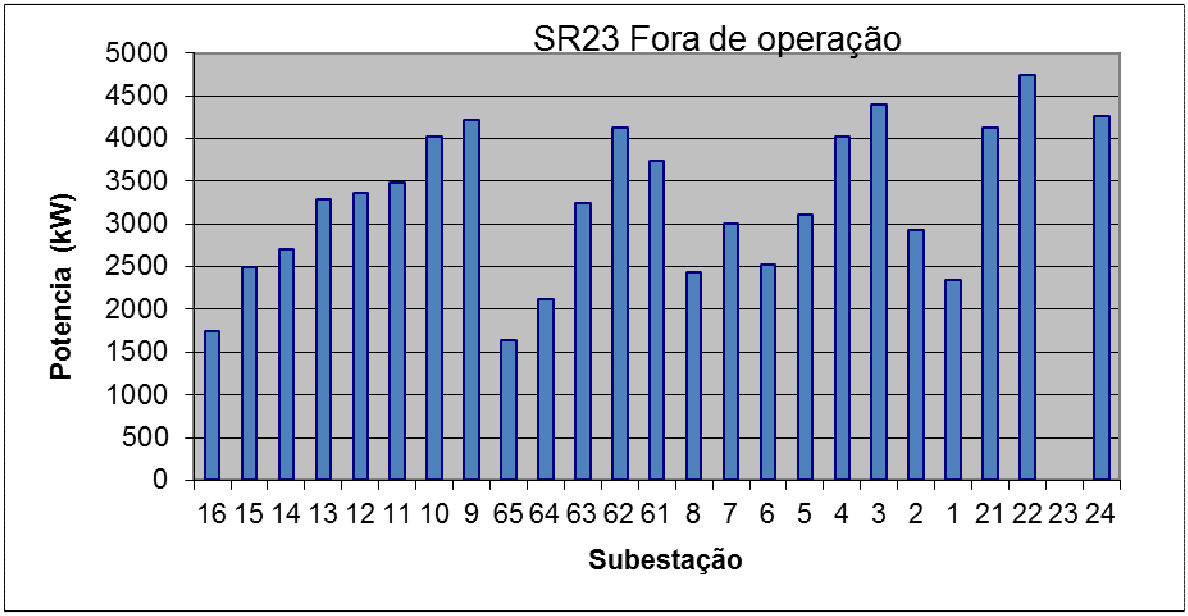

SR3 Fora de operação
Potencia (kW)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

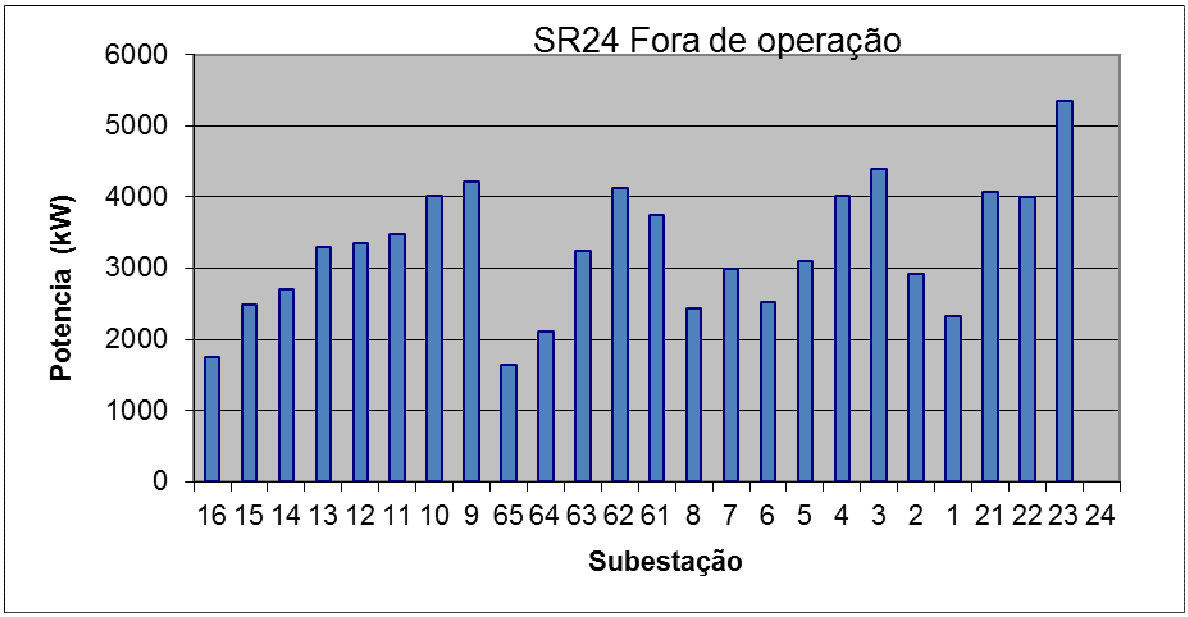

SR2 Fora de operação
Potencia (kW)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação


SR1 Fora de operação
Potencia (kW)
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação


SR21 Fora de operação
Potencia (kW)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação


SR22 Fora de operação
Potencia (kW)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação


SR23 Fora de operação
Potencia (kW)
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação


SR24 Fora de operação
Potencia (kW)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
16 15 14 13 12 11 10 9 65 64 63 62 61 8 7 6 5 4 3 2 1 21 22 23 24
Subestação

ANEXO III - RESULTADOS DETALHADOS DAS SIMULAÇÕES

1) Sistema Integro

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,5 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,3 kW

SR13: 3293,5 kW

SR12: 3358,8 kW

SR11: 3477,5 kW

SR10: 4022,7 kW

SR9: 4214,1 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2117,9 kW

SR63: 3241,9 kW

SR62: 4127,5 kW

SR61: 3737,9 kW

SR8: 2433,1 kW

SR7: 3000,8 kW

SR6: 2526,2 kW

SR5: 3100,4 kW

SR4: 4014,7 kW

SR3: 4393,3 kW

SR2: 2919,2 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,8 kW

SR23: 3528,8 kW

SR24: 2365,3 kW

Tensão mínima no trem:

706,7 V no instante 90

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,64 A Alimentador 4: 1612,86 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,07 A Alimentador 3: 1546,39 A Alimentador 4: 1928,68 A

SR14

Alimentador 1: 1719,21 A Alimentador 2: 1467,11 A Alimentador 3: 1005,07 A Alimentador 4: 1296,62 A

SR13

Alimentador 1: 1124,06 A Alimentador 2: 804,95 A Alimentador 3: 1747,05 A Alimentador 4: 2282,89 A

SR12

Alimentador 1: 1888,73 A Alimentador 2: 1734,92 A Alimentador 3: 1914,93 A Alimentador 4: 854,08 A

SR11

Alimentador 1: 1966,16 A Alimentador 2: 947,88 A Alimentador 3: 1293,58 A Alimentador 4: 1673,94 A

SR10

Alimentador 1: 2083,98 A Alimentador 2: 2012,24 A Alimentador 3: 1376,73 A Alimentador 4: 1716,48 A

SR9

Alimentador 1: 1572,93 A Alimentador 2: 820,71 A Alimentador 3: 2842,07 A Alimentador 4: 1484,11 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,65 A Alimentador 4: 1529,08 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 769,99 A Alimentador 4: 1639,40 A

SR63

Alimentador 1: 1015,69 A Alimentador 2: 1559,18 A Alimentador 3: 1655,32 A Alimentador 4: 1962,79 A

SR62

Alimentador 1: 1923,91 A Alimentador 2: 1294,30 A Alimentador 3: 1823,67 A Alimentador 4: 1830,74 A

SR61

Alimentador 1: 1941,17 A Alimentador 2: 1402,39 A Alimentador 3: 1351,79 A Alimentador 4: 1642,12 A

SR8

Alimentador 1: 1858,51 A Alimentador 2: 1068,64 A Alimentador 3: 1305,05 A Alimentador 4: 484,01 A

SR7

Alimentador 1: 484,25 A Alimentador 2: 957,30 A Alimentador 3: 1889,15 A Alimentador 4: 1763,44 A

SR6

Alimentador 1: 1205,84 A Alimentador 2: 1204,77 A Alimentador 3: 944,19 A Alimentador 4: 775,75 A

SR5

Alimentador 1: 1265,98 A Alimentador 2: 1522,20 A Alimentador 3: 1952,18 A Alimentador 4: 1160,66 A

SR4

Alimentador 1: 1722,13 A Alimentador 2: 1264,59 A Alimentador 3: 1450,80 A Alimentador 4: 1956,00 A

SR3

Alimentador 1: 2020,65 A Alimentador 2: 1839,33 A Alimentador 3: 1461,25 A Alimentador 4: 1898,42 A

SR2

Alimentador 1: 2041,29 A Alimentador 2: 1825,92 A Alimentador 3: 1047,53 A Alimentador 4: 1319,33 A

SR1

Alimentador 1: 1055,35 A Alimentador 2: 767,02 A Alimentador 3: 1315,28 A Alimentador 4: 1641,14 A

SR21

Alimentador 1: 1538,95 A Alimentador 2: 1160,42 A Alimentador 3: 1674,31 A Alimentador 4: 1802,49 A

SR22

Alimentador 1: 2217,59 A Alimentador 2: 1736,48 A Alimentador 3: 1955,91 A Alimentador 4: 1855,66 A

SR23

Alimentador 1: 2229,87 A Alimentador 2: 1523,30 A Alimentador 3: 997,37 A Alimentador 4: 1276,62 A

SR24

Alimentador 1: 1834,18 A Alimentador 2: 1237,05 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

2) SR16 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR15: 3754,7 kW

SR14: 2868,0 kW

SR13: 3336,9 kW

SR12: 3366,7 kW

SR11: 3479,3 kW

SR10: 4023,1 kW

SR9: 4214,4 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2117,9 kW

SR63: 3242,0 kW

SR62: 4127,5 kW

SR61: 3738,0 kW

SR8: 2433,2 kW

SR7: 3000,8 kW

SR6: 2526,3 kW

SR5: 3100,4 kW

SR4: 4014,7 kW

SR3: 4393,3 kW

SR2: 2919,2 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,8 kW

SR23: 3528,9 kW

SR24: 2365,4 kW

Tensão mínima no trem:

679,5 V no instante 9

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR15

Alimentador 1: 1510,75 A Alimentador 2: 2503,05 A Alimentador 3: 1482,31 A Alimentador 4: 1843,28 A

SR14

Alimentador 1: 1845,60 A Alimentador 2: 1595,55 A Alimentador 3: 998,71 A Alimentador 4: 1288,75 A

SR13

Alimentador 1: 1139,50 A Alimentador 2: 828,34 A Alimentador 3: 1743,26 A Alimentador 4: 2278,98 A

SR12

Alimentador 1: 1890,96 A Alimentador 2: 1737,92 A Alimentador 3: 1913,58 A Alimentador 4: 852,34 A

SR11

Alimentador 1: 1967,98 A Alimentador 2: 949,47 A Alimentador 3: 1293,14 A Alimentador 4: 1673,67 A

SR10

Alimentador 1: 2084,48 A Alimentador 2: 2012,53 A Alimentador 3: 1376,34 A Alimentador 4: 1716,21 A

SR9

Alimentador 1: 1573,19 A Alimentador 2: 820,87 A Alimentador 3: 2841,80 A Alimentador 4: 1483,87 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,66 A Alimentador 4: 1529,08 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 770,00 A Alimentador 4: 1639,41 A

SR63

Alimentador 1: 1015,69 A Alimentador 2: 1559,17 A Alimentador 3: 1655,34 A Alimentador 4: 1962,80 A

SR62

Alimentador 1: 1923,89 A Alimentador 2: 1294,29 A Alimentador 3: 1823,69 A Alimentador 4: 1830,78 A

SR61

Alimentador 1: 1941,15 A Alimentador 2: 1402,36 A Alimentador 3: 1351,85 A Alimentador 4: 1642,18 A

SR8

Alimentador 1: 1858,63 A Alimentador 2: 1068,75 A Alimentador 3: 1304,97 A Alimentador 4: 483,93 A

SR7

Alimentador 1: 484,36 A Alimentador 2: 957,41 A Alimentador 3: 1889,08 A Alimentador 4: 1763,35 A

SR6

Alimentador 1: 1205,92 A Alimentador 2: 1204,87 A Alimentador 3: 944,14 A Alimentador 4: 775,67 A

SR5

Alimentador 1: 1266,03 A Alimentador 2: 1522,29 A Alimentador 3: 1952,11 A Alimentador 4: 1160,60 A

SR4

Alimentador 1: 1722,19 A Alimentador 2: 1264,67 A Alimentador 3: 1450,75 A Alimentador 4: 1955,94 A

SR3

Alimentador 1: 2020,71 A Alimentador 2: 1839,39 A Alimentador 3: 1461,18 A Alimentador 4: 1898,38 A

SR2

Alimentador 1: 2041,37 A Alimentador 2: 1825,96 A Alimentador 3: 1047,50 A Alimentador 4: 1319,30 A

SR1

Alimentador 1: 1055,38 A Alimentador 2: 767,04 A Alimentador 3: 1315,22 A Alimentador 4: 1641,09 A

SR21

Alimentador 1: 1539,00 A Alimentador 2: 1160,47 A Alimentador 3: 1674,26 A Alimentador 4: 1802,42 A

SR22

Alimentador 1: 2217,63 A Alimentador 2: 1736,54 A Alimentador 3: 1955,88 A Alimentador 4: 1855,62 A

SR23

Alimentador 1: 2229,90 A Alimentador 2: 1523,34 A Alimentador 3: 997,35 A Alimentador 4: 1276,60 A

SR24

Alimentador 1: 1834,20 A Alimentador 2: 1237,08 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

3) SR15 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 3121,0 kW

SR14: 3304,3 kW

SR13: 3460,8 kW

SR12: 3387,2 kW

SR11: 3483,6 kW

SR10: 4023,9 kW

SR9: 4214,7 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2118,0 kW

SR63: 3242,0 kW

SR62: 4127,5 kW

SR61: 3738,0 kW

SR8: 2433,2 kW

SR7: 3000,8 kW

SR6: 2526,3 kW

SR5: 3100,4 kW

SR4: 4014,8 kW

SR3: 4393,4 kW

SR2: 2919,2 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,8 kW

SR23: 3528,9 kW

SR24: 2365,4 kW

Tensão mínima no trem:

706,7 V no instante 90

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 1650,52 A Alimentador 4: 2752,51 A

SR14

Alimentador 1: 2368,17 A Alimentador 2: 2271,76 A Alimentador 3: 971,01 A Alimentador 4: 1257,53 A

SR13

Alimentador 1: 1191,26 A Alimentador 2: 883,37 A Alimentador 3: 1732,94 A Alimentador 4: 2268,08 A

SR12

Alimentador 1: 1898,82 A Alimentador 2: 1747,36 A Alimentador 3: 1910,64 A Alimentador 4: 850,65 A

SR11

Alimentador 1: 1971,01 A Alimentador 2: 950,95 A Alimentador 3: 1292,51 A Alimentador 4: 1673,13 A

SR10

Alimentador 1: 2085,21 A Alimentador 2: 2013,00 A Alimentador 3: 1376,14 A Alimentador 4: 1716,04 A

SR9

Alimentador 1: 1573,48 A Alimentador 2: 821,06 A Alimentador 3: 2841,69 A Alimentador 4: 1483,74 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,66 A Alimentador 4: 1529,09 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 770,00 A Alimentador 4: 1639,41 A

SR63

Alimentador 1: 1015,69 A Alimentador 2: 1559,17 A Alimentador 3: 1655,35 A Alimentador 4: 1962,80 A

SR62

Alimentador 1: 1923,89 A Alimentador 2: 1294,29 A Alimentador 3: 1823,71 A Alimentador 4: 1830,79 A

SR61

Alimentador 1: 1941,13 A Alimentador 2: 1402,35 A Alimentador 3: 1351,89 A Alimentador 4: 1642,21 A

SR8

Alimentador 1: 1858,71 A Alimentador 2: 1068,84 A Alimentador 3: 1304,93 A Alimentador 4: 483,90 A

SR7

Alimentador 1: 484,37 A Alimentador 2: 957,42 A Alimentador 3: 1889,02 A Alimentador 4: 1763,29 A

SR6

Alimentador 1: 1205,97 A Alimentador 2: 1204,93 A Alimentador 3: 944,09 A Alimentador 4: 775,61 A

SR5

Alimentador 1: 1266,06 A Alimentador 2: 1522,32 A Alimentador 3: 1952,05 A Alimentador 4: 1160,56 A

SR4

Alimentador 1: 1722,24 A Alimentador 2: 1264,70 A Alimentador 3: 1450,71 A Alimentador 4: 1955,89 A

SR3

Alimentador 1: 2020,75 A Alimentador 2: 1839,43 A Alimentador 3: 1461,15 A Alimentador 4: 1898,35 A

SR2

Alimentador 1: 2041,40 A Alimentador 2: 1826,00 A Alimentador 3: 1047,46 A Alimentador 4: 1319,28 A

SR1

Alimentador 1: 1055,43 A Alimentador 2: 767,04 A Alimentador 3: 1315,19 A Alimentador 4: 1641,05 A

SR21

Alimentador 1: 1539,04 A Alimentador 2: 1160,51 A Alimentador 3: 1674,24 A Alimentador 4: 1802,38 A

SR22

Alimentador 1: 2217,66 A Alimentador 2: 1736,58 A Alimentador 3: 1955,86 A Alimentador 4: 1855,61 A

SR23

Alimentador 1: 2229,94 A Alimentador 2: 1523,37 A Alimentador 3: 997,34 A Alimentador 4: 1276,58 A

SR24

Alimentador 1: 1834,22 A Alimentador 2: 1237,11 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

4) SR14 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1924,8 kW

SR15: 3119,9 kW

SR13: 4594,9 kW

SR12: 3555,5 kW

SR11: 3511,0 kW

SR10: 4028,6 kW

SR9: 4215,4 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2117,9 kW

SR63: 3242,0 kW

SR62: 4127,5 kW

SR61: 3738,2 kW

SR8: 2433,3 kW

SR7: 3000,8 kW

SR6: 2526,3 kW

SR5: 3100,4 kW

SR4: 4014,8 kW

SR3: 4393,3 kW

SR2: 2919,2 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,8 kW

SR23: 3528,9 kW

SR24: 2365,4 kW

Tensão mínima no trem:

705,4 V no instante 72

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 705,13 A Alimentador 4: 1702,21 A

SR15

Alimentador 1: 1209,01 A Alimentador 2: 1090,17 A Alimentador 3: 2211,29 A Alimentador 4: 2573,50 A

SR13

Alimentador 1: 2230,15 A Alimentador 2: 1847,11 A Alimentador 3: 1630,18 A Alimentador 4: 2170,67 A

SR12

Alimentador 1: 2002,83 A Alimentador 2: 1852,88 A Alimentador 3: 1897,25 A Alimentador 4: 847,02 A

SR11

Alimentador 1: 1988,72 A Alimentador 2: 961,14 A Alimentador 3: 1290,17 A Alimentador 4: 1670,87 A

SR10

Alimentador 1: 2087,38 A Alimentador 2: 2016,42 A Alimentador 3: 1375,95 A Alimentador 4: 1715,67 A

SR9

Alimentador 1: 1573,66 A Alimentador 2: 821,55 A Alimentador 3: 2841,58 A Alimentador 4: 1483,66 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,66 A Alimentador 4: 1529,08 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 770,00 A Alimentador 4: 1639,41 A

SR63

Alimentador 1: 1015,69 A Alimentador 2: 1559,17 A Alimentador 3: 1655,35 A Alimentador 4: 1962,81 A

SR62

Alimentador 1: 1923,88 A Alimentador 2: 1294,28 A Alimentador 3: 1823,72 A Alimentador 4: 1830,79 A

SR61

Alimentador 1: 1941,12 A Alimentador 2: 1402,34 A Alimentador 3: 1351,95 A Alimentador 4: 1642,26 A

SR8

Alimentador 1: 1858,80 A Alimentador 2: 1068,83 A Alimentador 3: 1304,94 A Alimentador 4: 483,92 A

SR7

Alimentador 1: 484,35 A Alimentador 2: 957,39 A Alimentador 3: 1889,00 A Alimentador 4: 1763,30 A

SR6

Alimentador 1: 1205,99 A Alimentador 2: 1204,91 A Alimentador 3: 944,07 A Alimentador 4: 775,66 A

SR5

Alimentador 1: 1266,09 A Alimentador 2: 1522,27 A Alimentador 3: 1952,05 A Alimentador 4: 1160,53 A

SR4

Alimentador 1: 1722,26 A Alimentador 2: 1264,71 A Alimentador 3: 1450,69 A Alimentador 4: 1955,90 A

SR3

Alimentador 1: 2020,77 A Alimentador 2: 1839,45 A Alimentador 3: 1461,20 A Alimentador 4: 1898,30 A

SR2

Alimentador 1: 2041,37 A Alimentador 2: 1826,04 A Alimentador 3: 1047,48 A Alimentador 4: 1319,28 A

SR1

Alimentador 1: 1055,40 A Alimentador 2: 767,07 A Alimentador 3: 1315,20 A Alimentador 4: 1641,05 A

SR21

Alimentador 1: 1539,04 A Alimentador 2: 1160,49 A Alimentador 3: 1674,22 A Alimentador 4: 1802,40 A

SR22

Alimentador 1: 2217,68 A Alimentador 2: 1736,55 A Alimentador 3: 1955,82 A Alimentador 4: 1855,62 A

SR23

Alimentador 1: 2229,97 A Alimentador 2: 1523,36 A Alimentador 3: 997,34 A Alimentador 4: 1276,57 A

SR24

Alimentador 1: 1834,23 A Alimentador 2: 1237,13 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

5) SR13 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1810,7 kW

SR15: 2737,5 kW

SR14: 4424,2 kW

SR12: 4066,4 kW

SR11: 3582,0 kW

SR10: 4040,9 kW

SR9: 4217,5 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2118,0 kW

SR63: 3242,0 kW

SR62: 4127,6 kW

SR61: 3738,6 kW

SR8: 2433,6 kW

SR7: 3000,9 kW

SR6: 2526,3 kW

SR5: 3100,4 kW

SR4: 4014,8 kW

SR3: 4393,4 kW

SR2: 2919,3 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,8 kW

SR23: 3528,9 kW

SR24: 2365,5 kW

Tensão mínima no trem:

656,3 V no instante 72

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 622,72 A Alimentador 4: 1644,67 A

SR15

Alimentador 1: 1209,51 A Alimentador 2: 1096,84 A Alimentador 3: 1708,30 A Alimentador 4: 2085,51 A

SR14

Alimentador 1: 1600,50 A Alimentador 2: 1350,54 A Alimentador 3: 2499,35 A Alimentador 4: 2749,56 A

SR12

Alimentador 1: 2491,56 A Alimentador 2: 2301,85 A Alimentador 3: 1878,94 A Alimentador 4: 856,07 A

SR11

Alimentador 1: 2029,98 A Alimentador 2: 992,90 A Alimentador 3: 1284,18 A Alimentador 4: 1663,68 A

SR10

Alimentador 1: 2092,66 A Alimentador 2: 2027,17 A Alimentador 3: 1375,29 A Alimentador 4: 1714,53 A

SR9

Alimentador 1: 1574,31 A Alimentador 2: 823,21 A Alimentador 3: 2841,11 A Alimentador 4: 1483,29 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,66 A Alimentador 4: 1529,09 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 770,01 A Alimentador 4: 1639,41 A

SR63

Alimentador 1: 1015,69 A Alimentador 2: 1559,17 A Alimentador 3: 1655,36 A Alimentador 4: 1962,83 A

SR62

Alimentador 1: 1923,86 A Alimentador 2: 1294,27 A Alimentador 3: 1823,77 A Alimentador 4: 1830,81 A

SR61

Alimentador 1: 1941,07 A Alimentador 2: 1402,30 A Alimentador 3: 1352,22 A Alimentador 4: 1642,35 A

SR8

Alimentador 1: 1859,11 A Alimentador 2: 1068,90 A Alimentador 3: 1304,84 A Alimentador 4: 483,86 A

SR7

Alimentador 1: 484,36 A Alimentador 2: 957,41 A Alimentador 3: 1888,87 A Alimentador 4: 1763,23 A

SR6

Alimentador 1: 1206,10 A Alimentador 2: 1204,99 A Alimentador 3: 943,96 A Alimentador 4: 775,65 A

SR5

Alimentador 1: 1266,20 A Alimentador 2: 1522,28 A Alimentador 3: 1951,98 A Alimentador 4: 1160,44 A

SR4

Alimentador 1: 1722,34 A Alimentador 2: 1264,77 A Alimentador 3: 1450,62 A Alimentador 4: 1955,86 A

SR3

Alimentador 1: 2020,82 A Alimentador 2: 1839,51 A Alimentador 3: 1461,20 A Alimentador 4: 1898,20 A

SR2

Alimentador 1: 2041,38 A Alimentador 2: 1826,14 A Alimentador 3: 1047,46 A Alimentador 4: 1319,22 A

SR1

Alimentador 1: 1055,40 A Alimentador 2: 767,11 A Alimentador 3: 1315,15 A Alimentador 4: 1640,98 A

SR21

Alimentador 1: 1539,09 A Alimentador 2: 1160,53 A Alimentador 3: 1674,12 A Alimentador 4: 1802,37 A

SR22

Alimentador 1: 2217,76 A Alimentador 2: 1736,56 A Alimentador 3: 1955,73 A Alimentador 4: 1855,62 A

SR23

Alimentador 1: 2230,06 A Alimentador 2: 1523,38 A Alimentador 3: 997,32 A Alimentador 4: 1276,55 A

SR24

Alimentador 1: 1834,26 A Alimentador 2: 1237,17 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

6) SR12 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1759,4 kW

SR15: 2545,7 kW

SR14: 3023,8 kW

SR13: 4225,6 kW

SR11: 4812,1 kW

SR10: 4234,4 kW

SR9: 4249,8 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2118,0 kW

SR63: 3242,1 kW

SR62: 4128,3 kW

SR61: 3743,3 kW

SR8: 2437,6 kW

SR7: 3001,6 kW

SR6: 2526,5 kW

SR5: 3100,5 kW

SR4: 4014,8 kW

SR3: 4393,4 kW

SR2: 2919,3 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,9 kW

SR23: 3529,0 kW

SR24: 2365,7 kW

Tensão mínima no trem:

638,1 V no instante 62

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 580,81 A Alimentador 4: 1620,30 A

SR15

Alimentador 1: 1207,25 A Alimentador 2: 1107,99 A Alimentador 3: 1579,94 A Alimentador 4: 1960,88 A

SR14

Alimentador 1: 1688,99 A Alimentador 2: 1441,98 A Alimentador 3: 1180,04 A Alimentador 4: 1445,34 A

SR13

Alimentador 1: 1012,34 A Alimentador 2: 820,17 A Alimentador 3: 2736,73 A Alimentador 4: 2944,58 A

SR11

Alimentador 1: 3223,47 A Alimentador 2: 1726,05 A Alimentador 3: 1200,69 A Alimentador 4: 1556,87 A

SR10

Alimentador 1: 2199,73 A Alimentador 2: 2161,26 A Alimentador 3: 1362,17 A Alimentador 4: 1700,54 A

SR9

Alimentador 1: 1590,77 A Alimentador 2: 840,93 A Alimentador 3: 2835,62 A Alimentador 4: 1478,52 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,67 A Alimentador 4: 1529,09 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 770,03 A Alimentador 4: 1639,44 A

SR63

Alimentador 1: 1015,68 A Alimentador 2: 1559,16 A Alimentador 3: 1655,44 A Alimentador 4: 1962,92 A

SR62

Alimentador 1: 1923,78 A Alimentador 2: 1294,20 A Alimentador 3: 1824,19 A Alimentador 4: 1831,18 A

SR61

Alimentador 1: 1940,64 A Alimentador 2: 1401,89 A Alimentador 3: 1354,77 A Alimentador 4: 1644,12 A

SR8

Alimentador 1: 1861,97 A Alimentador 2: 1070,95 A Alimentador 3: 1304,47 A Alimentador 4: 483,58 A

SR7

Alimentador 1: 484,67 A Alimentador 2: 957,63 A Alimentador 3: 1888,58 A Alimentador 4: 1762,95 A

SR6

Alimentador 1: 1206,35 A Alimentador 2: 1205,21 A Alimentador 3: 943,70 A Alimentador 4: 775,43 A

SR5

Alimentador 1: 1266,39 A Alimentador 2: 1522,37 A Alimentador 3: 1951,74 A Alimentador 4: 1160,24 A

SR4

Alimentador 1: 1722,57 A Alimentador 2: 1264,95 A Alimentador 3: 1450,48 A Alimentador 4: 1955,71 A

SR3

Alimentador 1: 2020,99 A Alimentador 2: 1839,69 A Alimentador 3: 1461,09 A Alimentador 4: 1898,04 A

SR2

Alimentador 1: 2041,51 A Alimentador 2: 1826,32 A Alimentador 3: 1047,38 A Alimentador 4: 1319,13 A

SR1

Alimentador 1: 1055,53 A Alimentador 2: 767,21 A Alimentador 3: 1315,07 A Alimentador 4: 1640,87 A

SR21

Alimentador 1: 1539,22 A Alimentador 2: 1160,64 A Alimentador 3: 1673,99 A Alimentador 4: 1802,24 A

SR22

Alimentador 1: 2217,89 A Alimentador 2: 1736,67 A Alimentador 3: 1955,59 A Alimentador 4: 1855,54 A

SR23

Alimentador 1: 2230,22 A Alimentador 2: 1523,49 A Alimentador 3: 997,27 A Alimentador 4: 1276,49 A

SR24

Alimentador 1: 1834,34 A Alimentador 2: 1237,28 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

7) SR11 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1748,4 kW

SR15: 2506,9 kW

SR14: 2764,6 kW

SR13: 3451,8 kW

SR12: 4866,1 kW

SR10: 5102,7 kW

SR9: 4405,4 kW

SR65: 1643,0 kW

SR64: 2118,1 kW

SR63: 3242,5 kW

SR62: 4131,0 kW

SR61: 3760,8 kW

SR8: 2454,5 kW

SR7: 3003,8 kW

SR6: 2526,9 kW

SR5: 3100,6 kW

SR4: 4014,9 kW

SR3: 4393,4 kW

SR2: 2919,3 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,9 kW

SR23: 3529,1 kW

SR24: 2365,9 kW

Tensão mínima no trem:

608,7 V no instante 107

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 572,23 A Alimentador 4: 1614,89 A

SR15

Alimentador 1: 1207,33 A Alimentador 2: 1109,54 A Alimentador 3: 1555,10 A Alimentador 4: 1934,91 A

SR14

Alimentador 1: 1711,29 A Alimentador 2: 1462,06 A Alimentador 3: 1036,86 A Alimentador 4: 1309,72 A

SR13

Alimentador 1: 1096,21 A Alimentador 2: 795,72 A Alimentador 3: 1873,05 A Alimentador 4: 2372,33 A

SR12

Alimentador 1: 1811,08 A Alimentador 2: 1670,68 A Alimentador 3: 3301,73 A Alimentador 4: 1704,56 A

SR10

Alimentador 1: 2929,45 A Alimentador 2: 2573,57 A Alimentador 3: 1296,09 A Alimentador 4: 1635,47 A

SR9

Alimentador 1: 1673,22 A Alimentador 2: 914,79 A Alimentador 3: 2810,19 A Alimentador 4: 1455,34 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,70 A Alimentador 4: 1529,11 A

SR64

Alimentador 1: 1302,49 A Alimentador 2: 1036,20 A Alimentador 3: 770,09 A Alimentador 4: 1639,47 A

SR63

Alimentador 1: 1015,62 A Alimentador 2: 1559,14 A Alimentador 3: 1655,75 A Alimentador 4: 1963,08 A

SR62

Alimentador 1: 1923,58 A Alimentador 2: 1294,02 A Alimentador 3: 1825,25 A Alimentador 4: 1833,22 A

SR61

Alimentador 1: 1939,53 A Alimentador 2: 1400,49 A Alimentador 3: 1364,23 A Alimentador 4: 1653,86 A

SR8

Alimentador 1: 1873,85 A Alimentador 2: 1083,65 A Alimentador 3: 1304,09 A Alimentador 4: 483,56 A

SR7

Alimentador 1: 487,02 A Alimentador 2: 959,48 A Alimentador 3: 1888,53 A Alimentador 4: 1762,74 A

SR6

Alimentador 1: 1206,43 A Alimentador 2: 1205,44 A Alimentador 3: 943,48 A Alimentador 4: 774,93 A

SR5

Alimentador 1: 1266,33 A Alimentador 2: 1522,60 A Alimentador 3: 1951,44 A Alimentador 4: 1160,15 A

SR4

Alimentador 1: 1722,81 A Alimentador 2: 1265,09 A Alimentador 3: 1450,30 A Alimentador 4: 1955,32 A

SR3

Alimentador 1: 2021,32 A Alimentador 2: 1839,99 A Alimentador 3: 1460,83 A Alimentador 4: 1898,04 A

SR2

Alimentador 1: 2041,86 A Alimentador 2: 1826,40 A Alimentador 3: 1047,43 A Alimentador 4: 1319,27 A

SR1

Alimentador 1: 1055,79 A Alimentador 2: 767,28 A Alimentador 3: 1315,10 A Alimentador 4: 1640,93 A

SR21

Alimentador 1: 1539,22 A Alimentador 2: 1160,71 A Alimentador 3: 1674,05 A Alimentador 4: 1802,10 A

SR22

Alimentador 1: 2217,78 A Alimentador 2: 1736,82 A Alimentador 3: 1955,54 A Alimentador 4: 1855,29 A

SR23

Alimentador 1: 2230,24 A Alimentador 2: 1523,68 A Alimentador 3: 997,17 A Alimentador 4: 1276,33 A

SR24

Alimentador 1: 1834,43 A Alimentador 2: 1237,43 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

8) SR10 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1745,2 kW

SR15: 2496,6 kW

SR14: 2712,0 kW

SR13: 3317,8 kW

SR12: 3571,9 kW

SR11: 4453,0 kW

SR9: 6081,5 kW

SR65: 1643,2 kW

SR64: 2118,9 kW

SR63: 3246,7 kW

SR62: 4161,6 kW

SR61: 3965,9 kW

SR8: 2646,5 kW

SR7: 3033,9 kW

SR6: 2532,8 kW

SR5: 3102,2 kW

SR4: 4015,2 kW

SR3: 4393,6 kW

SR2: 2919,5 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3784,1 kW

SR23: 3529,6 kW

SR24: 2367,5 kW

Tensão mínima no trem:

600,0 V no instante 33

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 570,11 A Alimentador 4: 1613,23 A

SR15

Alimentador 1: 1207,72 A Alimentador 2: 1109,95 A Alimentador 3: 1547,74 A Alimentador 4: 1929,85 A

SR14

Alimentador 1: 1717,94 A Alimentador 2: 1466,10 A Alimentador 3: 1009,54 A Alimentador 4: 1298,94 A

SR13

Alimentador 1: 1119,23 A Alimentador 2: 802,67 A Alimentador 3: 1764,84 A Alimentador 4: 2296,13 A

SR12

Alimentador 1: 1875,83 A Alimentador 2: 1722,23 A Alimentador 3: 2054,28 A Alimentador 4: 963,18 A

SR11

Alimentador 1: 1826,19 A Alimentador 2: 884,29 A Alimentador 3: 2177,52 A Alimentador 4: 2355,21 A

SR9

Alimentador 1: 3483,05 A Alimentador 2: 2659,53 A Alimentador 3: 2557,97 A Alimentador 4: 1254,71 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,89 A Alimentador 4: 1529,25 A

SR64

Alimentador 1: 1302,46 A Alimentador 2: 1036,14 A Alimentador 3: 770,63 A Alimentador 4: 1639,98 A

SR63

Alimentador 1: 1015,29 A Alimentador 2: 1558,83 A Alimentador 3: 1658,65 A Alimentador 4: 1965,36 A

SR62

Alimentador 1: 1921,15 A Alimentador 2: 1292,04 A Alimentador 3: 1840,09 A Alimentador 4: 1852,24 A

SR61

Alimentador 1: 1925,81 A Alimentador 2: 1384,70 A Alimentador 3: 1491,68 A Alimentador 4: 1755,12 A

SR8

Alimentador 1: 2005,30 A Alimentador 2: 1198,02 A Alimentador 3: 1294,01 A Alimentador 4: 477,98 A

SR7

Alimentador 1: 506,34 A Alimentador 2: 977,25 A Alimentador 3: 1884,70 A Alimentador 4: 1758,41 A

SR6

Alimentador 1: 1210,22 A Alimentador 2: 1209,98 A Alimentador 3: 941,31 A Alimentador 4: 772,77 A

SR5

Alimentador 1: 1267,80 A Alimentador 2: 1523,82 A Alimentador 3: 1949,55 A Alimentador 4: 1158,86 A

SR4

Alimentador 1: 1724,70 A Alimentador 2: 1266,29 A Alimentador 3: 1449,12 A Alimentador 4: 1954,06 A

SR3

Alimentador 1: 2022,79 A Alimentador 2: 1841,34 A Alimentador 3: 1460,35 A Alimentador 4: 1896,66 A

SR2

Alimentador 1: 2042,77 A Alimentador 2: 1827,80 A Alimentador 3: 1046,72 A Alimentador 4: 1318,97 A

SR1

Alimentador 1: 1056,86 A Alimentador 2: 767,78 A Alimentador 3: 1314,49 A Alimentador 4: 1640,11 A

SR21

Alimentador 1: 1540,29 A Alimentador 2: 1161,47 A Alimentador 3: 1673,33 A Alimentador 4: 1800,94 A

SR22

Alimentador 1: 2218,45 A Alimentador 2: 1737,73 A Alimentador 3: 1954,31 A Alimentador 4: 1854,76 A

SR23

Alimentador 1: 2231,54 A Alimentador 2: 1524,44 A Alimentador 3: 996,84 A Alimentador 4: 1275,63 A

SR24

Alimentador 1: 1835,08 A Alimentador 2: 1238,59 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

9) SR9 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1745,0 kW

SR15: 2495,4 kW

SR14: 2704,1 kW

SR13: 3297,2 kW

SR12: 3388,3 kW

SR11: 3618,9 kW

SR10: 5512,4 kW

SR65: 1644,3 kW

SR64: 2121,5 kW

SR63: 3259,9 kW

SR62: 4258,3 kW

SR61: 4661,5 kW

SR8: 3258,7 kW

SR7: 3119,4 kW

SR6: 2548,7 kW

SR5: 3106,9 kW

SR4: 4016,5 kW

SR3: 4394,2 kW

SR2: 2920,1 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,6 kW

SR22: 3784,5 kW

SR23: 3531,1 kW

SR24: 2372,2 kW

Tensão mínima no trem:

666,8 V no instante 18

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,95 A Alimentador 4: 1613,08 A

SR15

Alimentador 1: 1207,77 A Alimentador 2: 1110,01 A Alimentador 3: 1547,13 A Alimentador 4: 1929,18 A

SR14

Alimentador 1: 1718,54 A Alimentador 2: 1466,70 A Alimentador 3: 1006,18 A Alimentador 4: 1297,06 A

SR13

Alimentador 1: 1122,95 A Alimentador 2: 804,43 A Alimentador 3: 1750,43 A Alimentador 4: 2285,13 A

SR12

Alimentador 1: 1886,40 A Alimentador 2: 1732,88 A Alimentador 3: 1935,14 A Alimentador 4: 873,44 A

SR11

Alimentador 1: 1941,63 A Alimentador 2: 931,99 A Alimentador 3: 1374,52 A Alimentador 4: 1739,47 A

SR10

Alimentador 1: 2010,20 A Alimentador 2: 1940,94 A Alimentador 3: 2682,19 A Alimentador 4: 2440,54 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 504,52 A Alimentador 4: 1529,81 A

SR64

Alimentador 1: 1302,13 A Alimentador 2: 1035,90 A Alimentador 3: 772,14 A Alimentador 4: 1641,13 A

SR63

Alimentador 1: 1014,40 A Alimentador 2: 1558,07 A Alimentador 3: 1669,38 A Alimentador 4: 1971,79 A

SR62

Alimentador 1: 1913,71 A Alimentador 2: 1285,16 A Alimentador 3: 1881,24 A Alimentador 4: 1918,11 A

SR61

Alimentador 1: 1886,15 A Alimentador 2: 1334,06 A Alimentador 3: 2175,82 A Alimentador 4: 2077,75 A

SR8

Alimentador 1: 2617,58 A Alimentador 2: 1455,51 A Alimentador 3: 1276,04 A Alimentador 4: 482,25 A

SR7

Alimentador 1: 589,80 A Alimentador 2: 1044,37 A Alimentador 3: 1875,99 A Alimentador 4: 1748,59 A

SR6

Alimentador 1: 1219,81 A Alimentador 2: 1221,09 A Alimentador 3: 935,51 A Alimentador 4: 766,22 A

SR5

Alimentador 1: 1270,95 A Alimentador 2: 1527,34 A Alimentador 3: 1944,07 A Alimentador 4: 1154,83 A

SR4

Alimentador 1: 1730,18 A Alimentador 2: 1270,06 A Alimentador 3: 1445,68 A Alimentador 4: 1949,61 A

SR3

Alimentador 1: 2027,66 A Alimentador 2: 1845,93 A Alimentador 3: 1458,80 A Alimentador 4: 1893,41 A

SR2

Alimentador 1: 2045,76 A Alimentador 2: 1831,58 A Alimentador 3: 1045,70 A Alimentador 4: 1318,60 A

SR1

Alimentador 1: 1059,58 A Alimentador 2: 769,34 A Alimentador 3: 1313,23 A Alimentador 4: 1638,42 A

SR21

Alimentador 1: 1542,56 A Alimentador 2: 1163,29 A Alimentador 3: 1671,63 A Alimentador 4: 1798,29 A

SR22

Alimentador 1: 2219,72 A Alimentador 2: 1739,75 A Alimentador 3: 1950,93 A Alimentador 4: 1852,59 A

SR23

Alimentador 1: 2234,82 A Alimentador 2: 1526,81 A Alimentador 3: 995,47 A Alimentador 4: 1273,25 A

SR24

Alimentador 1: 1837,14 A Alimentador 2: 1241,92 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

10) SR65 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,5 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,3 kW

SR13: 3293,5 kW

SR12: 3358,8 kW

SR11: 3477,5 kW

SR10: 4022,9 kW

SR9: 4215,0 kW

SR64: 3234,7 kW

SR63: 3508,9 kW

SR62: 4164,8 kW

SR61: 3741,7 kW

SR8: 2433,3 kW

SR7: 3000,8 kW

SR6: 2526,3 kW

SR5: 3100,4 kW

SR4: 4014,7 kW

SR3: 4393,3 kW

SR2: 2919,2 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,8 kW

SR23: 3528,9 kW

SR24: 2365,4 kW

Tensão mínima no trem:

694,7 V no instante 11

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,64 A Alimentador 4: 1612,87 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,06 A Alimentador 3: 1546,40 A Alimentador 4: 1928,69 A

SR14

Alimentador 1: 1719,21 A Alimentador 2: 1467,10 A Alimentador 3: 1005,07 A Alimentador 4: 1296,62 A

SR13

Alimentador 1: 1124,06 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 1747,06 A Alimentador 4: 2282,90 A

SR12

Alimentador 1: 1888,73 A Alimentador 2: 1734,91 A Alimentador 3: 1914,95 A Alimentador 4: 854,12 A

SR11

Alimentador 1: 1966,13 A Alimentador 2: 947,84 A Alimentador 3: 1293,61 A Alimentador 4: 1673,96 A

SR10

Alimentador 1: 2083,94 A Alimentador 2: 2012,22 A Alimentador 3: 1376,88 A Alimentador 4: 1716,58 A

SR9

Alimentador 1: 1572,84 A Alimentador 2: 820,67 A Alimentador 3: 2842,73 A Alimentador 4: 1484,66 A

SR64

Alimentador 1: 1590,94 A Alimentador 2: 2358,35 A Alimentador 3: 745,13 A Alimentador 4: 1574,53 A

SR63

Alimentador 1: 1107,56 A Alimentador 2: 1696,95 A Alimentador 3: 1629,85 A Alimentador 4: 1951,95 A

SR62

Alimentador 1: 1941,39 A Alimentador 2: 1305,92 A Alimentador 3: 1821,58 A Alimentador 4: 1827,64 A

SR61

Alimentador 1: 1943,31 A Alimentador 2: 1404,86 A Alimentador 3: 1351,14 A Alimentador 4: 1641,50 A

SR8

Alimentador 1: 1858,66 A Alimentador 2: 1068,78 A Alimentador 3: 1304,97 A Alimentador 4: 483,92 A

SR7

Alimentador 1: 484,35 A Alimentador 2: 957,40 A Alimentador 3: 1889,09 A Alimentador 4: 1763,37 A

SR6

Alimentador 1: 1205,90 A Alimentador 2: 1204,85 A Alimentador 3: 944,15 A Alimentador 4: 775,68 A

SR5

Alimentador 1: 1266,02 A Alimentador 2: 1522,27 A Alimentador 3: 1952,13 A Alimentador 4: 1160,61 A

SR4

Alimentador 1: 1722,18 A Alimentador 2: 1264,66 A Alimentador 3: 1450,77 A Alimentador 4: 1955,96 A

SR3

Alimentador 1: 2020,68 A Alimentador 2: 1839,37 A Alimentador 3: 1461,19 A Alimentador 4: 1898,39 A

SR2

Alimentador 1: 2041,35 A Alimentador 2: 1825,95 A Alimentador 3: 1047,51 A Alimentador 4: 1319,31 A

SR1

Alimentador 1: 1055,38 A Alimentador 2: 767,03 A Alimentador 3: 1315,24 A Alimentador 4: 1641,10 A

SR21

Alimentador 1: 1538,98 A Alimentador 2: 1160,46 A Alimentador 3: 1674,28 A Alimentador 4: 1802,44 A

SR22

Alimentador 1: 2217,62 A Alimentador 2: 1736,53 A Alimentador 3: 1955,89 A Alimentador 4: 1855,63 A

SR23

Alimentador 1: 2229,90 A Alimentador 2: 1523,33 A Alimentador 3: 997,36 A Alimentador 4: 1276,61 A

SR24

Alimentador 1: 1834,19 A Alimentador 2: 1237,07 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

11) SR64 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,5 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,3 kW

SR13: 3293,5 kW

SR12: 3358,8 kW

SR11: 3477,5 kW

SR10: 4023,1 kW

SR9: 4216,0 kW

SR65: 2629,8 kW

SR63: 4012,8 kW

SR62: 4236,1 kW

SR61: 3747,8 kW

SR8: 2433,5 kW

SR7: 3000,9 kW

SR6: 2526,3 kW

SR5: 3100,4 kW

SR4: 4014,7 kW

SR3: 4393,3 kW

SR2: 2919,2 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,8 kW

SR23: 3528,9 kW

SR24: 2365,4 kW

Tensão mínima no trem:

706,7 V no instante 90

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,64 A Alimentador 4: 1612,87 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,06 A Alimentador 3: 1546,40 A Alimentador 4: 1928,69 A

SR14

Alimentador 1: 1719,21 A Alimentador 2: 1467,10 A Alimentador 3: 1005,07 A Alimentador 4: 1296,62 A

SR13

Alimentador 1: 1124,06 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 1747,06 A Alimentador 4: 2282,90 A

SR12

Alimentador 1: 1888,72 A Alimentador 2: 1734,91 A Alimentador 3: 1914,96 A Alimentador 4: 854,12 A

SR11

Alimentador 1: 1966,13 A Alimentador 2: 947,84 A Alimentador 3: 1293,62 A Alimentador 4: 1673,97 A

SR10

Alimentador 1: 2083,92 A Alimentador 2: 2012,21 A Alimentador 3: 1377,01 A Alimentador 4: 1716,64 A

SR9

Alimentador 1: 1572,71 A Alimentador 2: 820,62 A Alimentador 3: 2843,40 A Alimentador 4: 1485,27 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 1049,65 A Alimentador 4: 2205,99 A

SR63

Alimentador 1: 1388,77 A Alimentador 2: 2303,07 A Alimentador 3: 1596,39 A Alimentador 4: 1927,36 A

SR62

Alimentador 1: 1973,80 A Alimentador 2: 1329,30 A Alimentador 3: 1817,03 A Alimentador 4: 1823,12 A

SR61

Alimentador 1: 1947,50 A Alimentador 2: 1408,67 A Alimentador 3: 1350,51 A Alimentador 4: 1640,96 A

SR8

Alimentador 1: 1858,78 A Alimentador 2: 1068,92 A Alimentador 3: 1304,93 A Alimentador 4: 483,88 A

SR7

Alimentador 1: 484,35 A Alimentador 2: 957,41 A Alimentador 3: 1889,06 A Alimentador 4: 1763,34 A

SR6

Alimentador 1: 1205,93 A Alimentador 2: 1204,87 A Alimentador 3: 944,14 A Alimentador 4: 775,66 A

SR5

Alimentador 1: 1266,03 A Alimentador 2: 1522,28 A Alimentador 3: 1952,11 A Alimentador 4: 1160,59 A

SR4

Alimentador 1: 1722,20 A Alimentador 2: 1264,67 A Alimentador 3: 1450,77 A Alimentador 4: 1955,96 A

SR3

Alimentador 1: 2020,69 A Alimentador 2: 1839,38 A Alimentador 3: 1461,18 A Alimentador 4: 1898,37 A

SR2

Alimentador 1: 2041,36 A Alimentador 2: 1825,97 A Alimentador 3: 1047,49 A Alimentador 4: 1319,30 A

SR1

Alimentador 1: 1055,40 A Alimentador 2: 767,03 A Alimentador 3: 1315,23 A Alimentador 4: 1641,08 A

SR21

Alimentador 1: 1539,00 A Alimentador 2: 1160,48 A Alimentador 3: 1674,26 A Alimentador 4: 1802,42 A

SR22

Alimentador 1: 2217,63 A Alimentador 2: 1736,54 A Alimentador 3: 1955,88 A Alimentador 4: 1855,63 A

SR23

Alimentador 1: 2229,91 A Alimentador 2: 1523,34 A Alimentador 3: 997,36 A Alimentador 4: 1276,61 A

SR24

Alimentador 1: 1834,20 A Alimentador 2: 1237,08 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

12) SR63 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,4 kW

SR13: 3293,6 kW

SR12: 3358,9 kW

SR11: 3477,8 kW

SR10: 4025,9 kW

SR9: 4229,6 kW

SR65: 2049,8 kW

SR64: 3425,5 kW

SR62: 5167,5 kW

SR61: 3831,4 kW

SR8: 2436,7 kW

SR7: 3001,5 kW

SR6: 2526,4 kW

SR5: 3100,5 kW

SR4: 4014,8 kW

SR3: 4393,4 kW

SR2: 2919,3 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,8 kW

SR23: 3528,9 kW

SR24: 2365,6 kW

Tensão mínima no trem:

680,5 V no instante 165

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,65 A Alimentador 4: 1612,87 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,06 A Alimentador 3: 1546,41 A Alimentador 4: 1928,70 A

SR14

Alimentador 1: 1719,19 A Alimentador 2: 1467,09 A Alimentador 3: 1005,09 A Alimentador 4: 1296,63 A

SR13

Alimentador 1: 1124,04 A Alimentador 2: 804,93 A Alimentador 3: 1747,11 A Alimentador 4: 2282,94 A

SR12

Alimentador 1: 1888,69 A Alimentador 2: 1734,87 A Alimentador 3: 1915,02 A Alimentador 4: 854,17 A

SR11

Alimentador 1: 1966,03 A Alimentador 2: 947,79 A Alimentador 3: 1293,82 A Alimentador 4: 1674,18 A

SR10

Alimentador 1: 2083,72 A Alimentador 2: 2011,97 A Alimentador 3: 1378,03 A Alimentador 4: 1717,81 A

SR9

Alimentador 1: 1571,70 A Alimentador 2: 819,50 A Alimentador 3: 2852,65 A Alimentador 4: 1493,79 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 775,21 A Alimentador 4: 1747,32 A

SR64

Alimentador 1: 1274,47 A Alimentador 2: 962,37 A Alimentador 3: 1865,70 A Alimentador 4: 2920,27 A

SR62

Alimentador 1: 2406,69 A Alimentador 2: 2046,62 A Alimentador 3: 1767,66 A Alimentador 4: 1779,13 A

SR61

Alimentador 1: 2001,59 A Alimentador 2: 1457,30 A Alimentador 3: 1340,90 A Alimentador 4: 1632,73 A

SR8

Alimentador 1: 1861,04 A Alimentador 2: 1070,52 A Alimentador 3: 1304,57 A Alimentador 4: 483,64 A

SR7

Alimentador 1: 484,73 A Alimentador 2: 957,74 A Alimentador 3: 1888,81 A Alimentador 4: 1763,12 A

SR6

Alimentador 1: 1206,19 A Alimentador 2: 1205,10 A Alimentador 3: 943,93 A Alimentador 4: 775,50 A

SR5

Alimentador 1: 1266,21 A Alimentador 2: 1522,39 A Alimentador 3: 1951,91 A Alimentador 4: 1160,37 A

SR4

Alimentador 1: 1722,44 A Alimentador 2: 1264,87 A Alimentador 3: 1450,62 A Alimentador 4: 1955,80 A

SR3

Alimentador 1: 2020,87 A Alimentador 2: 1839,55 A Alimentador 3: 1461,10 A Alimentador 4: 1898,18 A

SR2

Alimentador 1: 2041,48 A Alimentador 2: 1826,18 A Alimentador 3: 1047,46 A Alimentador 4: 1319,24 A

SR1

Alimentador 1: 1055,48 A Alimentador 2: 767,11 A Alimentador 3: 1315,12 A Alimentador 4: 1640,98 A

SR21

Alimentador 1: 1539,11 A Alimentador 2: 1160,59 A Alimentador 3: 1674,13 A Alimentador 4: 1802,31 A

SR22

Alimentador 1: 2217,74 A Alimentador 2: 1736,63 A Alimentador 3: 1955,71 A Alimentador 4: 1855,56 A

SR23

Alimentador 1: 2230,09 A Alimentador 2: 1523,43 A Alimentador 3: 997,33 A Alimentador 4: 1276,53 A

SR24

Alimentador 1: 1834,28 A Alimentador 2: 1237,22 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

13) SR62 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,7 kW

SR14: 2702,5 kW

SR13: 3293,7 kW

SR12: 3359,9 kW

SR11: 3481,3 kW

SR10: 4063,1 kW

SR9: 4413,8 kW

SR65: 1738,8 kW

SR64: 2435,4 kW

SR63: 5087,5 kW

SR61: 4953,7 kW

SR8: 2478,3 kW

SR7: 3008,8 kW

SR6: 2527,8 kW

SR5: 3100,9 kW

SR4: 4014,9 kW

SR3: 4393,5 kW

SR2: 2919,4 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3784,0 kW

SR23: 3529,3 kW

SR24: 2366,5 kW

Tensão mínima no trem:

603,0 V no instante 14

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,68 A Alimentador 4: 1612,89 A

SR15

Alimentador 1: 1207,78 A Alimentador 2: 1110,05 A Alimentador 3: 1546,48 A Alimentador 4: 1928,75 A

SR14

Alimentador 1: 1719,12 A Alimentador 2: 1467,04 A Alimentador 3: 1005,18 A Alimentador 4: 1296,69 A

SR13

Alimentador 1: 1123,96 A Alimentador 2: 804,91 A Alimentador 3: 1747,33 A Alimentador 4: 2283,12 A

SR12

Alimentador 1: 1888,50 A Alimentador 2: 1734,69 A Alimentador 3: 1915,61 A Alimentador 4: 854,55 A

SR11

Alimentador 1: 1965,29 A Alimentador 2: 947,35 A Alimentador 3: 1295,93 A Alimentador 4: 1676,19 A

SR10

Alimentador 1: 2081,63 A Alimentador 2: 2009,43 A Alimentador 3: 1392,34 A Alimentador 4: 1733,34 A

SR9

Alimentador 1: 1559,23 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 2981,06 A Alimentador 4: 1608,18 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,11 A Alimentador 4: 1579,90 A

SR64

Alimentador 1: 1288,49 A Alimentador 2: 1011,34 A Alimentador 3: 975,38 A Alimentador 4: 1843,63 A

SR63

Alimentador 1: 987,58 A Alimentador 2: 1429,16 A Alimentador 3: 3135,48 A Alimentador 4: 2974,29 A

SR61

Alimentador 1: 2999,03 A Alimentador 2: 2232,28 A Alimentador 3: 1227,98 A Alimentador 4: 1537,54 A

SR8

Alimentador 1: 1888,92 A Alimentador 2: 1090,60 A Alimentador 3: 1301,24 A Alimentador 4: 481,33 A

SR7

Alimentador 1: 488,21 A Alimentador 2: 960,72 A Alimentador 3: 1887,13 A Alimentador 4: 1761,59 A

SR6

Alimentador 1: 1207,88 A Alimentador 2: 1206,53 A Alimentador 3: 942,94 A Alimentador 4: 774,65 A

SR5

Alimentador 1: 1266,99 A Alimentador 2: 1522,78 A Alimentador 3: 1950,83 A Alimentador 4: 1159,36 A

SR4

Alimentador 1: 1723,66 A Alimentador 2: 1265,73 A Alimentador 3: 1449,92 A Alimentador 4: 1955,03 A

SR3

Alimentador 1: 2021,79 A Alimentador 2: 1840,45 A Alimentador 3: 1460,84 A Alimentador 4: 1897,29 A

SR2

Alimentador 1: 2041,96 A Alimentador 2: 1827,17 A Alimentador 3: 1047,18 A Alimentador 4: 1319,01 A

SR1

Alimentador 1: 1055,96 A Alimentador 2: 767,46 A Alimentador 3: 1314,72 A Alimentador 4: 1640,48 A

SR21

Alimentador 1: 1539,70 A Alimentador 2: 1161,04 A Alimentador 3: 1673,60 A Alimentador 4: 1801,75 A

SR22

Alimentador 1: 2218,18 A Alimentador 2: 1737,04 A Alimentador 3: 1954,86 A Alimentador 4: 1855,25 A

SR23

Alimentador 1: 2230,96 A Alimentador 2: 1523,84 A Alimentador 3: 997,11 A Alimentador 4: 1276,09 A

SR24

Alimentador 1: 1834,67 A Alimentador 2: 1237,92 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

14) SR61 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,7 kW

SR15: 2494,9 kW

SR14: 2702,8 kW

SR13: 3294,6 kW

SR12: 3365,0 kW

SR11: 3501,3 kW

SR10: 4279,9 kW

SR9: 5559,7 kW

SR65: 1651,7 kW

SR64: 2144,0 kW

SR63: 3396,8 kW

SR62: 5266,5 kW

SR8: 2718,8 kW

SR7: 3049,5 kW

SR6: 2535,4 kW

SR5: 3103,1 kW

SR4: 4015,5 kW

SR3: 4393,8 kW

SR2: 2919,8 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,6 kW

SR22: 3784,3 kW

SR23: 3530,3 kW

SR24: 2369,8 kW

Tensão mínima no trem:

613,9 V no instante 162

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,76 A Alimentador 4: 1612,95 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,04 A Alimentador 3: 1546,65 A Alimentador 4: 1928,88 A

SR14

Alimentador 1: 1718,92 A Alimentador 2: 1466,95 A Alimentador 3: 1005,40 A Alimentador 4: 1296,89 A

SR13

Alimentador 1: 1123,81 A Alimentador 2: 804,79 A Alimentador 3: 1748,32 A Alimentador 4: 2283,73 A

SR12

Alimentador 1: 1887,61 A Alimentador 2: 1734,06 A Alimentador 3: 1917,73 A Alimentador 4: 856,71 A

SR11

Alimentador 1: 1961,40 A Alimentador 2: 944,67 A Alimentador 3: 1305,11 A Alimentador 4: 1684,95 A

SR10

Alimentador 1: 2072,80 A Alimentador 2: 1996,60 A Alimentador 3: 1501,86 A Alimentador 4: 1848,86 A

SR9

Alimentador 1: 1516,53 A Alimentador 2: 749,88 A Alimentador 3: 3869,31 A Alimentador 4: 2511,48 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 509,03 A Alimentador 4: 1533,90 A

SR64

Alimentador 1: 1300,24 A Alimentador 2: 1033,66 A Alimentador 3: 783,00 A Alimentador 4: 1652,99 A

SR63

Alimentador 1: 1014,22 A Alimentador 2: 1547,19 A Alimentador 3: 1764,17 A Alimentador 4: 2053,69 A

SR62

Alimentador 1: 1842,15 A Alimentador 2: 1210,63 A Alimentador 3: 2626,28 A Alimentador 4: 2499,71 A

SR8

Alimentador 1: 2057,47 A Alimentador 2: 1214,85 A Alimentador 3: 1285,73 A Alimentador 4: 466,75 A

SR7

Alimentador 1: 514,07 A Alimentador 2: 984,59 A Alimentador 3: 1880,14 A Alimentador 4: 1756,55 A

SR6

Alimentador 1: 1215,30 A Alimentador 2: 1212,54 A Alimentador 3: 940,20 A Alimentador 4: 772,06 A

SR5

Alimentador 1: 1269,40 A Alimentador 2: 1524,38 A Alimentador 3: 1947,83 A Alimentador 4: 1155,45 A

SR4

Alimentador 1: 1728,34 A Alimentador 2: 1269,47 A Alimentador 3: 1448,31 A Alimentador 4: 1953,53 A

SR3

Alimentador 1: 2024,07 A Alimentador 2: 1842,82 A Alimentador 3: 1460,47 A Alimentador 4: 1893,65 A

SR2

Alimentador 1: 2043,15 A Alimentador 2: 1831,05 A Alimentador 3: 1046,89 A Alimentador 4: 1318,80 A

SR1

Alimentador 1: 1056,90 A Alimentador 2: 768,27 A Alimentador 3: 1313,54 A Alimentador 4: 1638,81 A

SR21

Alimentador 1: 1541,39 A Alimentador 2: 1162,35 A Alimentador 3: 1672,04 A Alimentador 4: 1800,50 A

SR22

Alimentador 1: 2219,28 A Alimentador 2: 1737,76 A Alimentador 3: 1951,31 A Alimentador 4: 1854,60 A

SR23

Alimentador 1: 2234,54 A Alimentador 2: 1524,79 A Alimentador 3: 996,94 A Alimentador 4: 1274,89 A

SR24

Alimentador 1: 1835,90 A Alimentador 2: 1240,45 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

15) SR8 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,7 kW

SR14: 2702,6 kW

SR13: 3294,0 kW

SR12: 3361,9 kW

SR11: 3490,7 kW

SR10: 4165,4 kW

SR9: 4923,2 kW

SR65: 1643,2 kW

SR64: 2118,6 kW

SR63: 3245,6 kW

SR62: 4153,1 kW

SR61: 3907,3 kW

SR7: 3783,8 kW

SR6: 2664,3 kW

SR5: 3134,8 kW

SR4: 4019,5 kW

SR3: 4394,5 kW

SR2: 2919,6 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3784,0 kW

SR23: 3529,4 kW

SR24: 2367,0 kW

Tensão mínima no trem:

686,8 V no instante 100

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,69 A Alimentador 4: 1612,90 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,04 A Alimentador 3: 1546,49 A Alimentador 4: 1928,78 A

SR14

Alimentador 1: 1719,13 A Alimentador 2: 1467,01 A Alimentador 3: 1005,24 A Alimentador 4: 1296,72 A

SR13

Alimentador 1: 1123,91 A Alimentador 2: 804,87 A Alimentador 3: 1747,45 A Alimentador 4: 2283,32 A

SR12

Alimentador 1: 1888,39 A Alimentador 2: 1734,51 A Alimentador 3: 1916,79 A Alimentador 4: 855,49 A

SR11

Alimentador 1: 1964,07 A Alimentador 2: 946,45 A Alimentador 3: 1302,47 A Alimentador 4: 1681,07 A

SR10

Alimentador 1: 2075,67 A Alimentador 2: 2004,09 A Alimentador 3: 1441,93 A Alimentador 4: 1772,23 A

SR9

Alimentador 1: 1524,63 A Alimentador 2: 771,34 A Alimentador 3: 3607,42 A Alimentador 4: 1781,39 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,82 A Alimentador 4: 1529,22 A

SR64

Alimentador 1: 1302,47 A Alimentador 2: 1036,11 A Alimentador 3: 770,39 A Alimentador 4: 1639,76 A

SR63

Alimentador 1: 1015,47 A Alimentador 2: 1558,83 A Alimentador 3: 1657,69 A Alimentador 4: 1964,71 A

SR62

Alimentador 1: 1921,51 A Alimentador 2: 1292,70 A Alimentador 3: 1835,03 A Alimentador 4: 1845,94 A

SR61

Alimentador 1: 1929,55 A Alimentador 2: 1388,92 A Alimentador 3: 1506,42 A Alimentador 4: 1697,02 A

SR7

Alimentador 1: 1481,96 A Alimentador 2: 1275,51 A Alimentador 3: 1828,68 A Alimentador 4: 1694,81 A

SR6

Alimentador 1: 1281,83 A Alimentador 2: 1288,54 A Alimentador 3: 924,22 A Alimentador 4: 758,61 A

SR5

Alimentador 1: 1281,68 A Alimentador 2: 1537,12 A Alimentador 3: 1947,86 A Alimentador 4: 1156,72 A

SR4

Alimentador 1: 1726,54 A Alimentador 2: 1268,26 A Alimentador 3: 1448,94 A Alimentador 4: 1953,77 A

SR3

Alimentador 1: 2023,04 A Alimentador 2: 1841,61 A Alimentador 3: 1460,66 A Alimentador 4: 1897,12 A

SR2

Alimentador 1: 2042,48 A Alimentador 2: 1827,42 A Alimentador 3: 1047,40 A Alimentador 4: 1319,15 A

SR1

Alimentador 1: 1056,20 A Alimentador 2: 767,78 A Alimentador 3: 1314,86 A Alimentador 4: 1640,66 A

SR21

Alimentador 1: 1539,53 A Alimentador 2: 1161,06 A Alimentador 3: 1673,60 A Alimentador 4: 1801,73 A

SR22

Alimentador 1: 2218,08 A Alimentador 2: 1737,05 A Alimentador 3: 1954,71 A Alimentador 4: 1854,86 A

SR23

Alimentador 1: 2231,05 A Alimentador 2: 1524,13 A Alimentador 3: 996,84 A Alimentador 4: 1275,77 A

SR24

Alimentador 1: 1834,88 A Alimentador 2: 1238,22 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

16) SR7 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,7 kW

SR14: 2702,4 kW

SR13: 3293,7 kW

SR12: 3359,6 kW

SR11: 3480,0 kW

SR10: 4053,0 kW

SR9: 4352,4 kW

SR65: 1643,0 kW

SR64: 2118,2 kW

SR63: 3242,8 kW

SR62: 4133,7 kW

SR61: 3777,3 kW

SR8: 3516,7 kW

SR6: 3497,4 kW

SR5: 3300,8 kW

SR4: 4029,8 kW

SR3: 4396,7 kW

SR2: 2920,2 kW

SR1: 2332,1 kW

SR21: 4055,6 kW

SR22: 3783,9 kW

SR23: 3528,9 kW

SR24: 2365,6 kW

Tensão mínima no trem:

634,6 V no instante 43

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,66 A Alimentador 4: 1612,88 A

SR15

Alimentador 1: 1207,80 A Alimentador 2: 1110,05 A Alimentador 3: 1546,41 A Alimentador 4: 1928,76 A

SR14

Alimentador 1: 1719,20 A Alimentador 2: 1467,03 A Alimentador 3: 1005,11 A Alimentador 4: 1296,72 A

SR13

Alimentador 1: 1124,03 A Alimentador 2: 804,88 A Alimentador 3: 1747,17 A Alimentador 4: 2283,13 A

SR12

Alimentador 1: 1888,60 A Alimentador 2: 1734,71 A Alimentador 3: 1915,41 A Alimentador 4: 854,25 A

SR11

Alimentador 1: 1965,77 A Alimentador 2: 947,50 A Alimentador 3: 1295,65 A Alimentador 4: 1675,35 A

SR10

Alimentador 1: 2081,54 A Alimentador 2: 2010,88 A Alimentador 3: 1397,18 A Alimentador 4: 1721,35 A

SR9

Alimentador 1: 1556,36 A Alimentador 2: 814,48 A Alimentador 3: 2934,14 A Alimentador 4: 1554,33 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,71 A Alimentador 4: 1529,12 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,17 A Alimentador 3: 770,07 A Alimentador 4: 1639,58 A

SR63

Alimentador 1: 1015,65 A Alimentador 2: 1558,98 A Alimentador 3: 1655,69 A Alimentador 4: 1963,22 A

SR62

Alimentador 1: 1923,35 A Alimentador 2: 1294,04 A Alimentador 3: 1828,27 A Alimentador 4: 1833,85 A

SR61

Alimentador 1: 1937,10 A Alimentador 2: 1398,88 A Alimentador 3: 1374,17 A Alimentador 4: 1648,96 A

SR8

Alimentador 1: 1804,57 A Alimentador 2: 1040,61 A Alimentador 3: 2106,67 A Alimentador 4: 1533,43 A

SR6

Alimentador 1: 1951,46 A Alimentador 2: 2071,43 A Alimentador 3: 893,78 A Alimentador 4: 718,97 A

SR5

Alimentador 1: 1360,52 A Alimentador 2: 1636,39 A Alimentador 3: 1938,17 A Alimentador 4: 1149,36 A

SR4

Alimentador 1: 1736,64 A Alimentador 2: 1278,11 A Alimentador 3: 1449,53 A Alimentador 4: 1954,67 A

SR3

Alimentador 1: 2022,26 A Alimentador 2: 1841,16 A Alimentador 3: 1460,65 A Alimentador 4: 1897,92 A

SR2

Alimentador 1: 2042,02 A Alimentador 2: 1826,46 A Alimentador 3: 1047,50 A Alimentador 4: 1319,16 A

SR1

Alimentador 1: 1055,42 A Alimentador 2: 767,14 A Alimentador 3: 1315,03 A Alimentador 4: 1641,04 A

SR21

Alimentador 1: 1538,99 A Alimentador 2: 1160,65 A Alimentador 3: 1674,14 A Alimentador 4: 1802,36 A

SR22

Alimentador 1: 2217,66 A Alimentador 2: 1736,61 A Alimentador 3: 1955,80 A Alimentador 4: 1855,47 A

SR23

Alimentador 1: 2230,00 A Alimentador 2: 1523,46 A Alimentador 3: 997,28 A Alimentador 4: 1276,50 A

SR24

Alimentador 1: 1834,29 A Alimentador 2: 1237,20 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

17) SR6 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,4 kW

SR13: 3293,6 kW

SR12: 3358,9 kW

SR11: 3477,9 kW

SR10: 4027,5 kW

SR9: 4235,2 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2118,0 kW

SR63: 3242,1 kW

SR62: 4128,4 kW

SR61: 3743,8 kW

SR8: 2582,5 kW

SR7: 3801,4 kW

SR5: 4191,3 kW

SR4: 4109,4 kW

SR3: 4413,7 kW

SR2: 2924,3 kW

SR1: 2333,2 kW

SR21: 4055,9 kW

SR22: 3783,9 kW

SR23: 3528,9 kW

SR24: 2365,4 kW

Tensão mínima no trem:

647,8 V no instante 54

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,65 A Alimentador 4: 1612,87 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,06 A Alimentador 3: 1546,41 A Alimentador 4: 1928,71 A

SR14

Alimentador 1: 1719,20 A Alimentador 2: 1467,08 A Alimentador 3: 1005,09 A Alimentador 4: 1296,63 A

SR13

Alimentador 1: 1124,03 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 1747,09 A Alimentador 4: 2282,95 A

SR12

Alimentador 1: 1888,69 A Alimentador 2: 1734,86 A Alimentador 3: 1915,05 A Alimentador 4: 854,15 A

SR11

Alimentador 1: 1966,06 A Alimentador 2: 947,79 A Alimentador 3: 1293,99 A Alimentador 4: 1674,29 A

SR10

Alimentador 1: 2083,53 A Alimentador 2: 2011,91 A Alimentador 3: 1379,34 A Alimentador 4: 1717,39 A

SR9

Alimentador 1: 1570,30 A Alimentador 2: 819,05 A Alimentador 3: 2855,58 A Alimentador 4: 1493,51 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,67 A Alimentador 4: 1529,09 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,20 A Alimentador 3: 770,02 A Alimentador 4: 1639,43 A

SR63

Alimentador 1: 1015,68 A Alimentador 2: 1559,15 A Alimentador 3: 1655,40 A Alimentador 4: 1962,89 A

SR62

Alimentador 1: 1923,79 A Alimentador 2: 1294,24 A Alimentador 3: 1824,28 A Alimentador 4: 1831,27 A

SR61

Alimentador 1: 1940,61 A Alimentador 2: 1401,81 A Alimentador 3: 1355,59 A Alimentador 4: 1643,25 A

SR8

Alimentador 1: 1845,54 A Alimentador 2: 1058,80 A Alimentador 3: 1405,86 A Alimentador 4: 576,69 A

SR7

Alimentador 1: 474,47 A Alimentador 2: 917,55 A Alimentador 3: 2526,19 A Alimentador 4: 2364,56 A

SR5

Alimentador 1: 2101,11 A Alimentador 2: 2307,89 A Alimentador 3: 1876,86 A Alimentador 4: 1100,45 A

SR4

Alimentador 1: 1805,79 A Alimentador 2: 1339,67 A Alimentador 3: 1442,60 A Alimentador 4: 1948,50 A

SR3

Alimentador 1: 2030,29 A Alimentador 2: 1850,26 A Alimentador 3: 1459,07 A Alimentador 4: 1896,13 A

SR2

Alimentador 1: 2043,56 A Alimentador 2: 1828,42 A Alimentador 3: 1046,46 A Alimentador 4: 1318,25 A

SR1

Alimentador 1: 1055,75 A Alimentador 2: 767,09 A Alimentador 3: 1314,47 A Alimentador 4: 1640,30 A

SR21

Alimentador 1: 1539,79 A Alimentador 2: 1161,02 A Alimentador 3: 1673,85 A Alimentador 4: 1802,00 A

SR22

Alimentador 1: 2218,11 A Alimentador 2: 1736,89 A Alimentador 3: 1955,74 A Alimentador 4: 1855,71 A

SR23

Alimentador 1: 2230,15 A Alimentador 2: 1523,41 A Alimentador 3: 997,41 A Alimentador 4: 1276,64 A

SR24

Alimentador 1: 1834,22 A Alimentador 2: 1237,15 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

18) SR5 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,4 kW

SR13: 3293,6 kW

SR12: 3358,9 kW

SR11: 3477,7 kW

SR10: 4024,4 kW

SR9: 4221,9 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2118,0 kW

SR63: 3242,0 kW

SR62: 4127,9 kW

SR61: 3740,2 kW

SR8: 2478,5 kW

SR7: 3204,7 kW

SR6: 3845,9 kW

SR4: 4837,8 kW

SR3: 4564,4 kW

SR2: 2951,3 kW

SR1: 2339,2 kW

SR21: 4057,8 kW

SR22: 3784,3 kW

SR23: 3529,0 kW

SR24: 2365,4 kW

Tensão mínima no trem:

637,2 V no instante 90

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,65 A Alimentador 4: 1612,87 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,06 A Alimentador 3: 1546,42 A Alimentador 4: 1928,71 A

SR14

Alimentador 1: 1719,19 A Alimentador 2: 1467,08 A Alimentador 3: 1005,10 A Alimentador 4: 1296,65 A

SR13

Alimentador 1: 1124,04 A Alimentador 2: 804,93 A Alimentador 3: 1747,12 A Alimentador 4: 2282,95 A

SR12

Alimentador 1: 1888,68 A Alimentador 2: 1734,86 A Alimentador 3: 1915,04 A Alimentador 4: 854,16 A

SR11

Alimentador 1: 1966,04 A Alimentador 2: 947,78 A Alimentador 3: 1293,79 A Alimentador 4: 1674,14 A

SR10

Alimentador 1: 2083,75 A Alimentador 2: 2012,03 A Alimentador 3: 1377,60 A Alimentador 4: 1717,00 A

SR9

Alimentador 1: 1572,07 A Alimentador 2: 820,06 A Alimentador 3: 2847,42 A Alimentador 4: 1488,33 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,67 A Alimentador 4: 1529,09 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 770,02 A Alimentador 4: 1639,43 A

SR63

Alimentador 1: 1015,68 A Alimentador 2: 1559,16 A Alimentador 3: 1655,39 A Alimentador 4: 1962,86 A

SR62

Alimentador 1: 1923,83 A Alimentador 2: 1294,24 A Alimentador 3: 1823,95 A Alimentador 4: 1831,00 A

SR61

Alimentador 1: 1940,88 A Alimentador 2: 1402,10 A Alimentador 3: 1352,99 A Alimentador 4: 1642,89 A

SR8

Alimentador 1: 1852,48 A Alimentador 2: 1063,94 A Alimentador 3: 1326,89 A Alimentador 4: 503,14 A

SR7

Alimentador 1: 472,57 A Alimentador 2: 943,89 A Alimentador 3: 2025,14 A Alimentador 4: 1898,63 A

SR6

Alimentador 1: 1078,88 A Alimentador 2: 1088,96 A Alimentador 3: 2143,42 A Alimentador 4: 1628,65 A

SR4

Alimentador 1: 2564,52 A Alimentador 2: 1956,63 A Alimentador 3: 1388,18 A Alimentador 4: 1885,41 A

SR3

Alimentador 1: 2114,12 A Alimentador 2: 1939,97 A Alimentador 3: 1447,38 A Alimentador 4: 1882,52 A

SR2

Alimentador 1: 2058,43 A Alimentador 2: 1843,87 A Alimentador 3: 1045,21 A Alimentador 4: 1315,84 A

SR1

Alimentador 1: 1058,25 A Alimentador 2: 769,42 A Alimentador 3: 1313,65 A Alimentador 4: 1639,82 A

SR21

Alimentador 1: 1540,28 A Alimentador 2: 1161,94 A Alimentador 3: 1673,72 A Alimentador 4: 1801,95 A

SR22

Alimentador 1: 2218,14 A Alimentador 2: 1737,00 A Alimentador 3: 1955,86 A Alimentador 4: 1855,58 A

SR23

Alimentador 1: 2230,04 A Alimentador 2: 1523,47 A Alimentador 3: 997,33 A Alimentador 4: 1276,63 A

SR24

Alimentador 1: 1834,23 A Alimentador 2: 1237,09 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

19) SR4 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,4 kW

SR13: 3293,6 kW

SR12: 3358,9 kW

SR11: 3477,6 kW

SR10: 4023,3 kW

SR9: 4216,6 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2118,0 kW

SR63: 3242,0 kW

SR62: 4127,6 kW

SR61: 3738,6 kW

SR8: 2440,9 kW

SR7: 3020,1 kW

SR6: 2678,1 kW

SR5: 4190,6 kW

SR3: 6258,3 kW

SR2: 3136,5 kW

SR1: 2367,6 kW

SR21: 4065,1 kW

SR22: 3786,8 kW

SR23: 3529,6 kW

SR24: 2365,8 kW

Tensão mínima no trem:

590,0 V no instante 91

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,65 A Alimentador 4: 1612,88 A

SR15

Alimentador 1: 1207,78 A Alimentador 2: 1110,07 A Alimentador 3: 1546,44 A Alimentador 4: 1928,69 A

SR14

Alimentador 1: 1719,17 A Alimentador 2: 1467,10 A Alimentador 3: 1005,12 A Alimentador 4: 1296,62 A

SR13

Alimentador 1: 1124,01 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 1747,12 A Alimentador 4: 2282,91 A

SR12

Alimentador 1: 1888,69 A Alimentador 2: 1734,89 A Alimentador 3: 1915,05 A Alimentador 4: 854,20 A

SR11

Alimentador 1: 1966,00 A Alimentador 2: 947,79 A Alimentador 3: 1293,75 A Alimentador 4: 1674,07 A

SR10

Alimentador 1: 2083,85 A Alimentador 2: 2012,06 A Alimentador 3: 1376,93 A Alimentador 4: 1716,98 A

SR9

Alimentador 1: 1572,75 A Alimentador 2: 820,22 A Alimentador 3: 2844,01 A Alimentador 4: 1485,81 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,67 A Alimentador 4: 1529,09 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 770,03 A Alimentador 4: 1639,41 A

SR63

Alimentador 1: 1015,68 A Alimentador 2: 1559,18 A Alimentador 3: 1655,41 A Alimentador 4: 1962,85 A

SR62

Alimentador 1: 1923,84 A Alimentador 2: 1294,23 A Alimentador 3: 1823,73 A Alimentador 4: 1830,90 A

SR61

Alimentador 1: 1941,09 A Alimentador 2: 1402,25 A Alimentador 3: 1352,30 A Alimentador 4: 1642,58 A

SR8

Alimentador 1: 1855,47 A Alimentador 2: 1066,33 A Alimentador 3: 1305,22 A Alimentador 4: 483,14 A

SR7

Alimentador 1: 479,40 A Alimentador 2: 954,18 A Alimentador 3: 1900,71 A Alimentador 4: 1772,22 A

SR6

Alimentador 1: 1196,08 A Alimentador 2: 1195,95 A Alimentador 3: 1078,72 A Alimentador 4: 893,47 A

SR5

Alimentador 1: 1216,28 A Alimentador 2: 1498,17 A Alimentador 3: 2787,22 A Alimentador 4: 2008,16 A

SR3

Alimentador 1: 3347,03 A Alimentador 2: 3192,06 A Alimentador 3: 1392,64 A Alimentador 4: 1761,07 A

SR2

Alimentador 1: 2191,72 A Alimentador 2: 2013,07 A Alimentador 3: 1053,29 A Alimentador 4: 1321,13 A

SR1

Alimentador 1: 1081,11 A Alimentador 2: 795,99 A Alimentador 3: 1311,96 A Alimentador 4: 1637,05 A

SR21

Alimentador 1: 1543,98 A Alimentador 2: 1165,34 A Alimentador 3: 1673,03 A Alimentador 4: 1801,16 A

SR22

Alimentador 1: 2218,38 A Alimentador 2: 1737,36 A Alimentador 3: 1955,03 A Alimentador 4: 1855,32 A

SR23

Alimentador 1: 2230,80 A Alimentador 2: 1523,66 A Alimentador 3: 997,42 A Alimentador 4: 1276,45 A

SR24

Alimentador 1: 1834,33 A Alimentador 2: 1237,46 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

20) SR3 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,4 kW

SR13: 3293,5 kW

SR12: 3358,8 kW

SR11: 3477,5 kW

SR10: 4023,0 kW

SR9: 4215,1 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2118,0 kW

SR63: 3242,0 kW

SR62: 4127,6 kW

SR61: 3738,3 kW

SR8: 2434,8 kW

SR7: 3004,7 kW

SR6: 2554,8 kW

SR5: 3299,5 kW

SR4: 5655,1 kW

SR2: 4300,9 kW

SR1: 2562,4 kW

SR21: 4112,9 kW

SR22: 3801,3 kW

SR23: 3532,5 kW

SR24: 2366,9 kW

Tensão mínima no trem:

619,8 V no instante 91

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,65 A Alimentador 4: 1612,88 A

SR15

Alimentador 1: 1207,78 A Alimentador 2: 1110,06 A Alimentador 3: 1546,41 A Alimentador 4: 1928,70 A

SR14

Alimentador 1: 1719,18 A Alimentador 2: 1467,09 A Alimentador 3: 1005,08 A Alimentador 4: 1296,63 A

SR13

Alimentador 1: 1124,04 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 1747,12 A Alimentador 4: 2282,92 A

SR12

Alimentador 1: 1888,68 A Alimentador 2: 1734,88 A Alimentador 3: 1915,00 A Alimentador 4: 854,19 A

SR11

Alimentador 1: 1966,02 A Alimentador 2: 947,78 A Alimentador 3: 1293,64 A Alimentador 4: 1674,01 A

SR10

Alimentador 1: 2083,90 A Alimentador 2: 2012,14 A Alimentador 3: 1376,92 A Alimentador 4: 1716,76 A

SR9

Alimentador 1: 1572,80 A Alimentador 2: 820,56 A Alimentador 3: 2842,91 A Alimentador 4: 1484,97 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,66 A Alimentador 4: 1529,09 A

SR64

Alimentador 1: 1302,50 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 770,02 A Alimentador 4: 1639,42 A

SR63

Alimentador 1: 1015,69 A Alimentador 2: 1559,17 A Alimentador 3: 1655,39 A Alimentador 4: 1962,84 A

SR62

Alimentador 1: 1923,86 A Alimentador 2: 1294,25 A Alimentador 3: 1823,76 A Alimentador 4: 1830,84 A

SR61

Alimentador 1: 1941,06 A Alimentador 2: 1402,31 A Alimentador 3: 1352,01 A Alimentador 4: 1642,46 A

SR8

Alimentador 1: 1857,26 A Alimentador 2: 1067,84 A Alimentador 3: 1305,43 A Alimentador 4: 484,24 A

SR7

Alimentador 1: 482,86 A Alimentador 2: 956,29 A Alimentador 3: 1891,88 A Alimentador 4: 1765,68 A

SR6

Alimentador 1: 1203,27 A Alimentador 2: 1202,38 A Alimentador 3: 969,97 A Alimentador 4: 796,53 A

SR5

Alimentador 1: 1252,03 A Alimentador 2: 1514,35 A Alimentador 3: 2086,62 A Alimentador 4: 1299,11 A

SR4

Alimentador 1: 1594,71 A Alimentador 2: 1149,78 A Alimentador 3: 2455,34 A Alimentador 4: 3151,00 A

SR2

Alimentador 1: 3231,18 A Alimentador 2: 3293,30 A Alimentador 3: 1137,53 A Alimentador 4: 1363,11 A

SR1

Alimentador 1: 1242,32 A Alimentador 2: 996,20 A Alimentador 3: 1301,23 A Alimentador 4: 1624,51 A

SR21

Alimentador 1: 1566,09 A Alimentador 2: 1190,96 A Alimentador 3: 1667,80 A Alimentador 4: 1796,52 A

SR22

Alimentador 1: 2221,57 A Alimentador 2: 1740,38 A Alimentador 3: 1953,67 A Alimentador 4: 1853,52 A

SR23

Alimentador 1: 2231,91 A Alimentador 2: 1525,47 A Alimentador 3: 996,53 A Alimentador 4: 1275,76 A

SR24

Alimentador 1: 1835,00 A Alimentador 2: 1237,87 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

21) SR2 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,5 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,3 kW

SR13: 3293,5 kW

SR12: 3358,8 kW

SR11: 3477,5 kW

SR10: 4022,8 kW

SR9: 4214,3 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2117,9 kW

SR63: 3242,0 kW

SR62: 4127,5 kW

SR61: 3738,0 kW

SR8: 2433,3 kW

SR7: 3001,4 kW

SR6: 2529,6 kW

SR5: 3118,1 kW

SR4: 4101,9 kW

SR3: 4999,3 kW

SR1: 3575,2 kW

SR21: 4436,0 kW

SR22: 3852,6 kW

SR23: 3537,0 kW

SR24: 2367,6 kW

Tensão mínima no trem:

706,2 V no instante 90

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,64 A Alimentador 4: 1612,87 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,06 A Alimentador 3: 1546,39 A Alimentador 4: 1928,70 A

SR14

Alimentador 1: 1719,22 A Alimentador 2: 1467,09 A Alimentador 3: 1005,07 A Alimentador 4: 1296,64 A

SR13

Alimentador 1: 1124,06 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 1747,06 A Alimentador 4: 2282,92 A

SR12

Alimentador 1: 1888,72 A Alimentador 2: 1734,89 A Alimentador 3: 1914,96 A Alimentador 4: 854,09 A

SR11

Alimentador 1: 1966,14 A Alimentador 2: 947,85 A Alimentador 3: 1293,62 A Alimentador 4: 1673,97 A

SR10

Alimentador 1: 2083,92 A Alimentador 2: 2012,22 A Alimentador 3: 1376,83 A Alimentador 4: 1716,49 A

SR9

Alimentador 1: 1572,82 A Alimentador 2: 820,68 A Alimentador 3: 2842,18 A Alimentador 4: 1484,18 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,66 A Alimentador 4: 1529,08 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 770,00 A Alimentador 4: 1639,41 A

SR63

Alimentador 1: 1015,69 A Alimentador 2: 1559,17 A Alimentador 3: 1655,33 A Alimentador 4: 1962,80 A

SR62

Alimentador 1: 1923,89 A Alimentador 2: 1294,30 A Alimentador 3: 1823,72 A Alimentador 4: 1830,77 A

SR61

Alimentador 1: 1941,14 A Alimentador 2: 1402,36 A Alimentador 3: 1351,88 A Alimentador 4: 1642,10 A

SR8

Alimentador 1: 1858,49 A Alimentador 2: 1068,56 A Alimentador 3: 1305,69 A Alimentador 4: 484,70 A

SR7

Alimentador 1: 484,50 A Alimentador 2: 957,33 A Alimentador 3: 1890,30 A Alimentador 4: 1764,68 A

SR6

Alimentador 1: 1204,76 A Alimentador 2: 1203,69 A Alimentador 3: 946,06 A Alimentador 4: 777,63 A

SR5

Alimentador 1: 1264,05 A Alimentador 2: 1520,39 A Alimentador 3: 1962,10 A Alimentador 4: 1169,38 A

SR4

Alimentador 1: 1712,20 A Alimentador 2: 1255,51 A Alimentador 3: 1491,27 A Alimentador 4: 1996,73 A

SR3

Alimentador 1: 1979,51 A Alimentador 2: 1793,04 A Alimentador 3: 2037,43 A Alimentador 4: 2480,76 A

SR1

Alimentador 1: 2300,36 A Alimentador 2: 2007,34 A Alimentador 3: 1138,63 A Alimentador 4: 1467,93 A

SR21

Alimentador 1: 1756,07 A Alimentador 2: 1378,89 A Alimentador 3: 1638,29 A Alimentador 4: 1766,14 A

SR22

Alimentador 1: 2251,16 A Alimentador 2: 1768,90 A Alimentador 3: 1951,15 A Alimentador 4: 1851,48 A

SR23

Alimentador 1: 2235,97 A Alimentador 2: 1528,82 A Alimentador 3: 996,79 A Alimentador 4: 1275,93 A

SR24

Alimentador 1: 1835,31 A Alimentador 2: 1238,43 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

22) SR1 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,5 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,3 kW

SR13: 3293,5 kW

SR12: 3358,8 kW

SR11: 3477,5 kW

SR10: 4022,7 kW

SR9: 4214,2 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2117,9 kW

SR63: 3241,9 kW

SR62: 4127,5 kW

SR61: 3738,0 kW

SR8: 2433,2 kW

SR7: 3001,0 kW

SR6: 2527,1 kW

SR5: 3104,2 kW

SR4: 4028,1 kW

SR3: 4484,8 kW

SR2: 4022,3 kW

SR21: 4757,5 kW

SR22: 3885,2 kW

SR23: 3537,5 kW

SR24: 2367,3 kW

Tensão mínima no trem:

706,6 V no instante 90

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,64 A Alimentador 4: 1612,87 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,06 A Alimentador 3: 1546,39 A Alimentador 4: 1928,69 A

SR14

Alimentador 1: 1719,22 A Alimentador 2: 1467,10 A Alimentador 3: 1005,07 A Alimentador 4: 1296,64 A

SR13

Alimentador 1: 1124,07 A Alimentador 2: 804,93 A Alimentador 3: 1747,06 A Alimentador 4: 2282,91 A

SR12

Alimentador 1: 1888,72 A Alimentador 2: 1734,90 A Alimentador 3: 1914,93 A Alimentador 4: 854,08 A

SR11

Alimentador 1: 1966,16 A Alimentador 2: 947,86 A Alimentador 3: 1293,61 A Alimentador 4: 1673,94 A

SR10

Alimentador 1: 2083,96 A Alimentador 2: 2012,24 A Alimentador 3: 1376,79 A Alimentador 4: 1716,48 A

SR9

Alimentador 1: 1572,91 A Alimentador 2: 820,71 A Alimentador 3: 2842,14 A Alimentador 4: 1484,15 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,66 A Alimentador 4: 1529,08 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 769,99 A Alimentador 4: 1639,41 A

SR63

Alimentador 1: 1015,70 A Alimentador 2: 1559,17 A Alimentador 3: 1655,32 A Alimentador 4: 1962,79 A

SR62

Alimentador 1: 1923,90 A Alimentador 2: 1294,30 A Alimentador 3: 1823,70 A Alimentador 4: 1830,75 A

SR61

Alimentador 1: 1941,14 A Alimentador 2: 1402,37 A Alimentador 3: 1351,81 A Alimentador 4: 1642,10 A

SR8

Alimentador 1: 1858,57 A Alimentador 2: 1068,74 A Alimentador 3: 1305,49 A Alimentador 4: 484,57 A

SR7

Alimentador 1: 484,42 A Alimentador 2: 957,24 A Alimentador 3: 1889,84 A Alimentador 4: 1763,97 A

SR6

Alimentador 1: 1205,19 A Alimentador 2: 1204,13 A Alimentador 3: 944,41 A Alimentador 4: 775,96 A

SR5

Alimentador 1: 1265,53 A Alimentador 2: 1521,59 A Alimentador 3: 1954,50 A Alimentador 4: 1162,16 A

SR4

Alimentador 1: 1720,05 A Alimentador 2: 1262,91 A Alimentador 3: 1455,46 A Alimentador 4: 1960,61 A

SR3

Alimentador 1: 2015,44 A Alimentador 2: 1832,76 A Alimentador 3: 1526,96 A Alimentador 4: 1960,31 A

SR2

Alimentador 1: 1989,71 A Alimentador 2: 1768,56 A Alimentador 3: 1809,01 A Alimentador 4: 2026,04 A

SR21

Alimentador 1: 2022,82 A Alimentador 2: 1521,67 A Alimentador 3: 1616,00 A Alimentador 4: 1735,54 A

SR22

Alimentador 1: 2281,30 A Alimentador 2: 1801,67 A Alimentador 3: 1951,58 A Alimentador 4: 1852,94 A

SR23

Alimentador 1: 2237,21 A Alimentador 2: 1529,73 A Alimentador 3: 997,02 A Alimentador 4: 1276,30 A

SR24

Alimentador 1: 1835,17 A Alimentador 2: 1238,31 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

23) SR21 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,5 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,3 kW

SR13: 3293,5 kW

SR12: 3358,8 kW

SR11: 3477,5 kW

SR10: 4022,8 kW

SR9: 4214,4 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2117,9 kW

SR63: 3242,0 kW

SR62: 4127,5 kW

SR61: 3738,0 kW

SR8: 2433,2 kW

SR7: 3000,9 kW

SR6: 2526,8 kW

SR5: 3102,6 kW

SR4: 4021,7 kW

SR3: 4440,8 kW

SR2: 3552,2 kW

SR1: 3729,9 kW

SR22: 5005,0 kW

SR23: 3619,3 kW

SR24: 2383,1 kW

Tensão mínima no trem:

662,9 V no instante 54

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,64 A Alimentador 4: 1612,87 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,06 A Alimentador 3: 1546,40 A Alimentador 4: 1928,69 A

SR14

Alimentador 1: 1719,21 A Alimentador 2: 1467,09 A Alimentador 3: 1005,08 A Alimentador 4: 1296,62 A

SR13

Alimentador 1: 1124,05 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 1747,06 A Alimentador 4: 2282,92 A

SR12

Alimentador 1: 1888,72 A Alimentador 2: 1734,88 A Alimentador 3: 1914,95 A Alimentador 4: 854,11 A

SR11

Alimentador 1: 1966,14 A Alimentador 2: 947,84 A Alimentador 3: 1293,64 A Alimentador 4: 1673,97 A

SR10

Alimentador 1: 2083,93 A Alimentador 2: 2012,21 A Alimentador 3: 1376,83 A Alimentador 4: 1716,52 A

SR9

Alimentador 1: 1572,88 A Alimentador 2: 820,67 A Alimentador 3: 2842,34 A Alimentador 4: 1484,26 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,66 A Alimentador 4: 1529,09 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 770,00 A Alimentador 4: 1639,41 A

SR63

Alimentador 1: 1015,69 A Alimentador 2: 1559,17 A Alimentador 3: 1655,34 A Alimentador 4: 1962,81 A

SR62

Alimentador 1: 1923,88 A Alimentador 2: 1294,30 A Alimentador 3: 1823,70 A Alimentador 4: 1830,78 A

SR61

Alimentador 1: 1941,14 A Alimentador 2: 1402,35 A Alimentador 3: 1351,93 A Alimentador 4: 1642,16 A

SR8

Alimentador 1: 1858,27 A Alimentador 2: 1068,55 A Alimentador 3: 1305,68 A Alimentador 4: 484,38 A

SR7

Alimentador 1: 483,94 A Alimentador 2: 956,91 A Alimentador 3: 1889,60 A Alimentador 4: 1764,01 A

SR6

Alimentador 1: 1205,26 A Alimentador 2: 1204,14 A Alimentador 3: 944,73 A Alimentador 4: 776,15 A

SR5

Alimentador 1: 1265,22 A Alimentador 2: 1521,45 A Alimentador 3: 1953,40 A Alimentador 4: 1161,73 A

SR4

Alimentador 1: 1720,89 A Alimentador 2: 1263,43 A Alimentador 3: 1453,33 A Alimentador 4: 1958,35 A

SR3

Alimentador 1: 2017,89 A Alimentador 2: 1835,95 A Alimentador 3: 1499,07 A Alimentador 4: 1930,97 A

SR2

Alimentador 1: 2010,67 A Alimentador 2: 1795,96 A Alimentador 3: 1447,93 A Alimentador 4: 1684,85 A

SR1

Alimentador 1: 1033,29 A Alimentador 2: 924,50 A Alimentador 3: 2712,87 A Alimentador 4: 2799,05 A

SR22

Alimentador 1: 3252,28 A Alimentador 2: 2713,44 A Alimentador 3: 1924,02 A Alimentador 4: 1841,93 A

SR23

Alimentador 1: 2311,75 A Alimentador 2: 1598,46 A Alimentador 3: 997,19 A Alimentador 4: 1276,59 A

SR24

Alimentador 1: 1842,83 A Alimentador 2: 1248,83 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

24) SR22 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,4 kW

SR13: 3293,6 kW

SR12: 3358,8 kW

SR11: 3477,5 kW

SR10: 4023,0 kW

SR9: 4215,0 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2118,0 kW

SR63: 3242,0 kW

SR62: 4127,6 kW

SR61: 3738,3 kW

SR8: 2433,3 kW

SR7: 3000,9 kW

SR6: 2526,4 kW

SR5: 3100,9 kW

SR4: 4017,0 kW

SR3: 4408,2 kW

SR2: 3032,1 kW

SR1: 2533,7 kW

SR21: 5299,5 kW

SR23: 4736,2 kW

SR24: 2648,7 kW

Tensão mínima no trem:

661,0 V no instante 58

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,65 A Alimentador 4: 1612,87 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,06 A Alimentador 3: 1546,42 A Alimentador 4: 1928,70 A

SR14

Alimentador 1: 1719,18 A Alimentador 2: 1467,10 A Alimentador 3: 1005,10 A Alimentador 4: 1296,63 A

SR13

Alimentador 1: 1124,03 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 1747,12 A Alimentador 4: 2282,93 A

SR12

Alimentador 1: 1888,68 A Alimentador 2: 1734,87 A Alimentador 3: 1915,00 A Alimentador 4: 854,16 A

SR11

Alimentador 1: 1966,05 A Alimentador 2: 947,80 A Alimentador 3: 1293,68 A Alimentador 4: 1674,03 A

SR10

Alimentador 1: 2083,89 A Alimentador 2: 2012,12 A Alimentador 3: 1376,88 A Alimentador 4: 1716,70 A

SR9

Alimentador 1: 1572,82 A Alimentador 2: 820,54 A Alimentador 3: 2842,87 A Alimentador 4: 1484,91 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,67 A Alimentador 4: 1529,09 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 770,01 A Alimentador 4: 1639,42 A

SR63

Alimentador 1: 1015,69 A Alimentador 2: 1559,17 A Alimentador 3: 1655,38 A Alimentador 4: 1962,84 A

SR62

Alimentador 1: 1923,86 A Alimentador 2: 1294,25 A Alimentador 3: 1823,76 A Alimentador 4: 1830,84 A

SR61

Alimentador 1: 1941,06 A Alimentador 2: 1402,29 A Alimentador 3: 1352,00 A Alimentador 4: 1642,41 A

SR8

Alimentador 1: 1857,25 A Alimentador 2: 1067,86 A Alimentador 3: 1305,39 A Alimentador 4: 484,21 A

SR7

Alimentador 1: 483,50 A Alimentador 2: 956,75 A Alimentador 3: 1890,00 A Alimentador 4: 1764,03 A

SR6

Alimentador 1: 1205,01 A Alimentador 2: 1204,12 A Alimentador 3: 945,34 A Alimentador 4: 776,65 A

SR5

Alimentador 1: 1265,14 A Alimentador 2: 1521,74 A Alimentador 3: 1953,59 A Alimentador 4: 1162,39 A

SR4

Alimentador 1: 1720,29 A Alimentador 2: 1263,02 A Alimentador 3: 1452,99 A Alimentador 4: 1958,30 A

SR3

Alimentador 1: 2018,11 A Alimentador 2: 1836,66 A Alimentador 3: 1468,95 A Alimentador 4: 1908,51 A

SR2

Alimentador 1: 2032,10 A Alimentador 2: 1815,06 A Alimentador 3: 1074,48 A Alimentador 4: 1359,58 A

SR1

Alimentador 1: 1028,93 A Alimentador 2: 740,14 A Alimentador 3: 1462,95 A Alimentador 4: 1780,57 A

SR21

Alimentador 1: 1421,74 A Alimentador 2: 1050,70 A Alimentador 3: 3154,42 A Alimentador 4: 2937,54 A

SR23

Alimentador 1: 3731,05 A Alimentador 2: 2701,97 A Alimentador 3: 952,72 A Alimentador 4: 1241,24 A

SR24

Alimentador 1: 1985,52 A Alimentador 2: 1399,19 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

25) SR23 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,7 kW

SR14: 2702,4 kW

SR13: 3293,6 kW

SR12: 3358,9 kW

SR11: 3477,6 kW

SR10: 4023,2 kW

SR9: 4216,0 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2118,0 kW

SR63: 3242,0 kW

SR62: 4127,7 kW

SR61: 3738,7 kW

SR8: 2433,5 kW

SR7: 3000,9 kW

SR6: 2526,3 kW

SR5: 3100,6 kW

SR4: 4015,1 kW

SR3: 4395,7 kW

SR2: 2929,4 kW

SR1: 2345,2 kW

SR21: 4127,7 kW

SR22: 4741,1 kW

SR24: 4346,1 kW

Tensão mínima no trem:

690,6 V no instante 179

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,66 A Alimentador 4: 1612,87 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,07 A Alimentador 3: 1546,46 A Alimentador 4: 1928,70 A

SR14

Alimentador 1: 1719,15 A Alimentador 2: 1467,10 A Alimentador 3: 1005,15 A Alimentador 4: 1296,64 A

SR13

Alimentador 1: 1123,99 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 1747,18 A Alimentador 4: 2282,95 A

SR12

Alimentador 1: 1888,62 A Alimentador 2: 1734,84 A Alimentador 3: 1915,05 A Alimentador 4: 854,15 A

SR11

Alimentador 1: 1965,99 A Alimentador 2: 947,81 A Alimentador 3: 1293,78 A Alimentador 4: 1674,12 A

SR10

Alimentador 1: 2083,85 A Alimentador 2: 2011,95 A Alimentador 3: 1376,84 A Alimentador 4: 1716,91 A

SR9

Alimentador 1: 1572,79 A Alimentador 2: 820,22 A Alimentador 3: 2843,62 A Alimentador 4: 1485,60 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,67 A Alimentador 4: 1529,09 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,21 A Alimentador 3: 770,03 A Alimentador 4: 1639,43 A

SR63

Alimentador 1: 1015,69 A Alimentador 2: 1559,17 A Alimentador 3: 1655,42 A Alimentador 4: 1962,89 A

SR62

Alimentador 1: 1923,82 A Alimentador 2: 1294,20 A Alimentador 3: 1823,83 A Alimentador 4: 1830,88 A

SR61

Alimentador 1: 1940,99 A Alimentador 2: 1402,21 A Alimentador 3: 1352,19 A Alimentador 4: 1642,67 A

SR8

Alimentador 1: 1855,58 A Alimentador 2: 1067,01 A Alimentador 3: 1305,00 A Alimentador 4: 483,54 A

SR7

Alimentador 1: 482,91 A Alimentador 2: 956,61 A Alimentador 3: 1890,46 A Alimentador 4: 1764,20 A

SR6

Alimentador 1: 1204,70 A Alimentador 2: 1203,97 A Alimentador 3: 946,59 A Alimentador 4: 777,16 A

SR5

Alimentador 1: 1264,50 A Alimentador 2: 1522,16 A Alimentador 3: 1954,85 A Alimentador 4: 1163,62 A

SR4

Alimentador 1: 1718,81 A Alimentador 2: 1262,21 A Alimentador 3: 1453,91 A Alimentador 4: 1959,11 A

SR3

Alimentador 1: 2016,90 A Alimentador 2: 1835,73 A Alimentador 3: 1461,88 A Alimentador 4: 1902,69 A

SR2

Alimentador 1: 2038,92 A Alimentador 2: 1821,03 A Alimentador 3: 1046,29 A Alimentador 4: 1319,93 A

SR1

Alimentador 1: 1051,04 A Alimentador 2: 760,42 A Alimentador 3: 1321,29 A Alimentador 4: 1647,95 A

SR21

Alimentador 1: 1532,04 A Alimentador 2: 1153,31 A Alimentador 3: 1741,09 A Alimentador 4: 1850,50 A

SR22

Alimentador 1: 2182,14 A Alimentador 2: 1720,91 A Alimentador 3: 2889,73 A Alimentador 4: 2548,01 A

SR24

Alimentador 1: 3129,64 A Alimentador 2: 2253,00 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

26) SR24 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,7 kW

SR14: 2702,5 kW

SR13: 3293,7 kW

SR12: 3359,0 kW

SR11: 3477,8 kW

SR10: 4024,1 kW

SR9: 4220,0 kW

SR65: 1642,9 kW

SR64: 2118,0 kW

SR63: 3242,2 kW

SR62: 4128,1 kW

SR61: 3740,5 kW

SR8: 2434,2 kW

SR7: 3001,0 kW

SR6: 2526,4 kW

SR5: 3100,8 kW

SR4: 4014,9 kW

SR3: 4394,1 kW

SR2: 2921,1 kW

SR1: 2334,8 kW

SR21: 4069,2 kW

SR22: 3997,1 kW

SR23: 5351,8 kW

Tensão mínima no trem:

634,3 V no instante 179

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,70 A Alimentador 4: 1612,89 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,08 A Alimentador 3: 1546,60 A Alimentador 4: 1928,73 A

SR14

Alimentador 1: 1719,02 A Alimentador 2: 1467,09 A Alimentador 3: 1005,25 A Alimentador 4: 1296,68 A

SR13

Alimentador 1: 1123,90 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 1747,45 A Alimentador 4: 2283,04 A

SR12

Alimentador 1: 1888,39 A Alimentador 2: 1734,72 A Alimentador 3: 1915,22 A Alimentador 4: 854,24 A

SR11

Alimentador 1: 1965,64 A Alimentador 2: 947,72 A Alimentador 3: 1294,02 A Alimentador 4: 1674,41 A

SR10

Alimentador 1: 2083,67 A Alimentador 2: 2011,47 A Alimentador 3: 1377,00 A Alimentador 4: 1717,94 A

SR9

Alimentador 1: 1572,59 A Alimentador 2: 819,50 A Alimentador 3: 2846,50 A Alimentador 4: 1489,68 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 503,70 A Alimentador 4: 1529,10 A

SR64

Alimentador 1: 1302,51 A Alimentador 2: 1036,22 A Alimentador 3: 770,10 A Alimentador 4: 1639,48 A

SR63

Alimentador 1: 1015,70 A Alimentador 2: 1559,16 A Alimentador 3: 1655,64 A Alimentador 4: 1963,06 A

SR62

Alimentador 1: 1923,68 A Alimentador 2: 1294,00 A Alimentador 3: 1824,23 A Alimentador 4: 1831,07 A

SR61

Alimentador 1: 1940,57 A Alimentador 2: 1401,99 A Alimentador 3: 1352,68 A Alimentador 4: 1644,32 A

SR8

Alimentador 1: 1849,62 A Alimentador 2: 1064,23 A Alimentador 3: 1304,59 A Alimentador 4: 482,47 A

SR7

Alimentador 1: 480,09 A Alimentador 2: 955,32 A Alimentador 3: 1892,54 A Alimentador 4: 1765,38 A

SR6

Alimentador 1: 1202,86 A Alimentador 2: 1202,84 A Alimentador 3: 950,52 A Alimentador 4: 779,84 A

SR5

Alimentador 1: 1262,07 A Alimentador 2: 1522,44 A Alimentador 3: 1959,32 A Alimentador 4: 1170,60 A

SR4

Alimentador 1: 1711,68 A Alimentador 2: 1256,91 A Alimentador 3: 1459,46 A Alimentador 4: 1964,75 A

SR3

Alimentador 1: 2010,06 A Alimentador 2: 1829,92 A Alimentador 3: 1461,20 A Alimentador 4: 1909,96 A

SR2

Alimentador 1: 2037,09 A Alimentador 2: 1814,38 A Alimentador 3: 1045,99 A Alimentador 4: 1318,75 A

SR1

Alimentador 1: 1051,17 A Alimentador 2: 761,21 A Alimentador 3: 1317,55 A Alimentador 4: 1644,20 A

SR21

Alimentador 1: 1535,60 A Alimentador 2: 1157,26 A Alimentador 3: 1690,89 A Alimentador 4: 1815,17 A

SR22

Alimentador 1: 2210,37 A Alimentador 2: 1732,65 A Alimentador 3: 2139,09 A Alimentador 4: 1999,46 A

SR23

Alimentador 1: 2069,34 A Alimentador 2: 1373,16 A Alimentador 3: 2632,46 A Alimentador 4: 2303,01 A

ANEXO IV - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES SEM A SR64

1) Sistema Integro

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,5 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,3 kW

SR13: 3293,5 kW

SR12: 3358,8 kW

SR11: 3477,5 kW

SR10: 4023,1 kW

SR9: 4216,0 kW

SR65: 2629,7 kW

SR63: 4012,7 kW

SR62: 4236,1 kW

SR61: 3747,8 kW

SR8: 2433,5 kW

SR7: 3000,9 kW

SR6: 2526,3 kW

SR5: 3100,4 kW

SR4: 4014,7 kW

SR3: 4393,3 kW

SR2: 2919,2 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,8 kW

SR23: 3528,9 kW

SR24: 2365,4 kW

Tensão mínima no trem:

706,7 V no instante 90

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,64 A Alimentador 4: 1612,87 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,06 A Alimentador 3: 1546,40 A Alimentador 4: 1928,69 A

SR14

Alimentador 1: 1719,21 A Alimentador 2: 1467,10 A Alimentador 3: 1005,07 A Alimentador 4: 1296,62 A

SR13

Alimentador 1: 1124,06 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 1747,06 A Alimentador 4: 2282,90 A

SR12

Alimentador 1: 1888,73 A Alimentador 2: 1734,91 A Alimentador 3: 1914,96 A Alimentador 4: 854,13 A

SR11

Alimentador 1: 1966,12 A Alimentador 2: 947,83 A Alimentador 3: 1293,62 A Alimentador 4: 1673,97 A

SR10

Alimentador 1: 2083,92 A Alimentador 2: 2012,21 A Alimentador 3: 1377,03 A Alimentador 4: 1716,64 A

SR9

Alimentador 1: 1572,71 A Alimentador 2: 820,63 A Alimentador 3: 2843,42 A Alimentador 4: 1485,29 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 1049,60 A Alimentador 4: 2205,92 A

SR63

Alimentador 1: 1388,80 A Alimentador 2: 2303,11 A Alimentador 3: 1596,37 A Alimentador 4: 1927,42 A

SR62

Alimentador 1: 1973,81 A Alimentador 2: 1329,25 A Alimentador 3: 1817,03 A Alimentador 4: 1823,07 A

SR61

Alimentador 1: 1947,49 A Alimentador 2: 1408,67 A Alimentador 3: 1350,49 A Alimentador 4: 1640,93 A

SR8

Alimentador 1: 1858,76 A Alimentador 2: 1068,91 A Alimentador 3: 1304,91 A Alimentador 4: 483,85 A

SR7

Alimentador 1: 484,38 A Alimentador 2: 957,44 A Alimentador 3: 1889,06 A Alimentador 4: 1763,33 A

SR6

Alimentador 1: 1205,94 A Alimentador 2: 1204,88 A Alimentador 3: 944,15 A Alimentador 4: 775,64 A

SR5

Alimentador 1: 1266,03 A Alimentador 2: 1522,31 A Alimentador 3: 1952,12 A Alimentador 4: 1160,60 A

SR4

Alimentador 1: 1722,19 A Alimentador 2: 1264,68 A Alimentador 3: 1450,78 A Alimentador 4: 1955,97 A

SR3

Alimentador 1: 2020,68 A Alimentador 2: 1839,37 A Alimentador 3: 1461,16 A Alimentador 4: 1898,38 A

SR2

Alimentador 1: 2041,37 A Alimentador 2: 1825,95 A Alimentador 3: 1047,49 A Alimentador 4: 1319,30 A

SR1

Alimentador 1: 1055,40 A Alimentador 2: 767,03 A Alimentador 3: 1315,22 A Alimentador 4: 1641,08 A

SR21

Alimentador 1: 1539,00 A Alimentador 2: 1160,49 A Alimentador 3: 1674,26 A Alimentador 4: 1802,42 A

SR22

Alimentador 1: 2217,64 A Alimentador 2: 1736,55 A Alimentador 3: 1955,90 A Alimentador 4: 1855,63 A

SR23

Alimentador 1: 2229,90 A Alimentador 2: 1523,34 A Alimentador 3: 997,37 A Alimentador 4: 1276,62 A

SR24

Alimentador 1: 1834,19 A Alimentador 2: 1237,07 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

2) SR65 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,7 kW

SR14: 2702,4 kW

SR13: 3293,6 kW

SR12: 3358,9 kW

SR11: 3477,7 kW

SR10: 4024,2 kW

SR9: 4221,4 kW

SR63: 5965,7 kW

SR62: 4497,5 kW

SR61: 3772,5 kW

SR8: 2434,7 kW

SR7: 3001,2 kW

SR6: 2526,4 kW

SR5: 3100,5 kW

SR4: 4014,8 kW

SR3: 4393,4 kW

SR2: 2919,3 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,9 kW

SR23: 3529,0 kW

SR24: 2365,6 kW

Tensão mínima no trem:

523,6 V no instante 11

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,66 A Alimentador 4: 1612,89 A

SR15

Alimentador 1: 1207,77 A Alimentador 2: 1110,04 A Alimentador 3: 1546,41 A Alimentador 4: 1928,72 A

SR14

Alimentador 1: 1719,17 A Alimentador 2: 1467,06 A Alimentador 3: 1005,07 A Alimentador 4: 1296,63 A

SR13

Alimentador 1: 1124,04 A Alimentador 2: 804,90 A Alimentador 3: 1747,12 A Alimentador 4: 2282,96 A

SR12

Alimentador 1: 1888,70 A Alimentador 2: 1734,86 A Alimentador 3: 1915,09 A Alimentador 4: 854,34 A

SR11

Alimentador 1: 1965,93 A Alimentador 2: 947,63 A Alimentador 3: 1293,77 A Alimentador 4: 1674,07 A

SR10

Alimentador 1: 2083,72 A Alimentador 2: 2012,11 A Alimentador 3: 1377,97 A Alimentador 4: 1717,19 A

SR9

Alimentador 1: 1572,10 A Alimentador 2: 820,39 A Alimentador 3: 2847,41 A Alimentador 4: 1488,71 A

SR63

Alimentador 1: 2294,11 A Alimentador 2: 4246,91 A Alimentador 3: 1452,96 A Alimentador 4: 1865,37 A

SR62

Alimentador 1: 2104,29 A Alimentador 2: 1434,06 A Alimentador 3: 1801,78 A Alimentador 4: 1803,18 A

SR61

Alimentador 1: 1962,84 A Alimentador 2: 1425,03 A Alimentador 3: 1346,55 A Alimentador 4: 1637,25 A

SR8

Alimentador 1: 1859,70 A Alimentador 2: 1069,85 A Alimentador 3: 1304,40 A Alimentador 4: 483,33 A

SR7

Alimentador 1: 484,90 A Alimentador 2: 958,00 A Alimentador 3: 1888,70 A Alimentador 4: 1762,88 A

SR6

Alimentador 1: 1206,37 A Alimentador 2: 1205,37 A Alimentador 3: 943,90 A Alimentador 4: 775,19 A

SR5

Alimentador 1: 1266,25 A Alimentador 2: 1522,77 A Alimentador 3: 1951,80 A Alimentador 4: 1160,30 A

SR4

Alimentador 1: 1722,52 A Alimentador 2: 1265,10 A Alimentador 3: 1450,61 A Alimentador 4: 1955,75 A

SR3

Alimentador 1: 2020,87 A Alimentador 2: 1839,61 A Alimentador 3: 1460,77 A Alimentador 4: 1898,19 A

SR2

Alimentador 1: 2041,73 A Alimentador 2: 1826,16 A Alimentador 3: 1047,33 A Alimentador 4: 1319,16 A

SR1

Alimentador 1: 1055,60 A Alimentador 2: 767,10 A Alimentador 3: 1314,96 A Alimentador 4: 1640,86 A

SR21

Alimentador 1: 1539,25 A Alimentador 2: 1160,74 A Alimentador 3: 1674,05 A Alimentador 4: 1802,11 A

SR22

Alimentador 1: 2217,83 A Alimentador 2: 1736,85 A Alimentador 3: 1955,78 A Alimentador 4: 1855,47 A

SR23

Alimentador 1: 2230,08 A Alimentador 2: 1523,55 A Alimentador 3: 997,34 A Alimentador 4: 1276,58 A

SR24

Alimentador 1: 1834,29 A Alimentador 2: 1237,19 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

3) SR63 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,7 kW

SR14: 2702,4 kW

SR13: 3293,6 kW

SR12: 3359,0 kW

SR11: 3478,1 kW

SR10: 4028,5 kW

SR9: 4242,6 kW

SR65: 4344,4 kW

SR62: 5960,3 kW

SR61: 3904,1 kW

SR8: 2439,6 kW

SR7: 3002,1 kW

SR6: 2526,6 kW

SR5: 3100,5 kW

SR4: 4014,8 kW

SR3: 4393,4 kW

SR2: 2919,3 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,9 kW

SR23: 3529,0 kW

SR24: 2365,8 kW

Tensão mínima no trem:

642,5 V no instante 10

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,67 A Alimentador 4: 1612,89 A

SR15

Alimentador 1: 1207,78 A Alimentador 2: 1110,05 A Alimentador 3: 1546,43 A Alimentador 4: 1928,73 A

SR14

Alimentador 1: 1719,16 A Alimentador 2: 1467,06 A Alimentador 3: 1005,10 A Alimentador 4: 1296,65 A

SR13

Alimentador 1: 1124,02 A Alimentador 2: 804,91 A Alimentador 3: 1747,16 A Alimentador 4: 2283,00 A

SR12

Alimentador 1: 1888,65 A Alimentador 2: 1734,83 A Alimentador 3: 1915,14 A Alimentador 4: 854,33 A

SR11

Alimentador 1: 1965,86 A Alimentador 2: 947,63 A Alimentador 3: 1294,03 A Alimentador 4: 1674,37 A

SR10

Alimentador 1: 2083,46 A Alimentador 2: 2011,77 A Alimentador 3: 1379,56 A Alimentador 4: 1718,88 A

SR9

Alimentador 1: 1570,47 A Alimentador 2: 818,74 A Alimentador 3: 2861,59 A Alimentador 4: 1501,79 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 2230,66 A Alimentador 4: 3517,94 A

SR62

Alimentador 1: 2838,84 A Alimentador 2: 2670,85 A Alimentador 3: 1723,57 A Alimentador 4: 1732,33 A

SR61

Alimentador 1: 2048,80 A Alimentador 2: 1503,37 A Alimentador 3: 1332,20 A Alimentador 4: 1625,01 A

SR8

Alimentador 1: 1862,94 A Alimentador 2: 1072,19 A Alimentador 3: 1303,99 A Alimentador 4: 483,10 A

SR7

Alimentador 1: 485,26 A Alimentador 2: 958,29 A Alimentador 3: 1888,44 A Alimentador 4: 1762,69 A

SR6

Alimentador 1: 1206,62 A Alimentador 2: 1205,53 A Alimentador 3: 943,67 A Alimentador 4: 775,12 A

SR5

Alimentador 1: 1266,44 A Alimentador 2: 1522,73 A Alimentador 3: 1951,62 A Alimentador 4: 1160,08 A

SR4

Alimentador 1: 1722,77 A Alimentador 2: 1265,22 A Alimentador 3: 1450,46 A Alimentador 4: 1955,60 A

SR3

Alimentador 1: 2021,06 A Alimentador 2: 1839,78 A Alimentador 3: 1460,81 A Alimentador 4: 1897,96 A

SR2

Alimentador 1: 2041,76 A Alimentador 2: 1826,41 A Alimentador 3: 1047,33 A Alimentador 4: 1319,11 A

SR1

Alimentador 1: 1055,65 A Alimentador 2: 767,20 A Alimentador 3: 1314,91 A Alimentador 4: 1640,78 A

SR21

Alimentador 1: 1539,33 A Alimentador 2: 1160,81 A Alimentador 3: 1673,93 A Alimentador 4: 1802,06 A

SR22

Alimentador 1: 2217,92 A Alimentador 2: 1736,87 A Alimentador 3: 1955,55 A Alimentador 4: 1855,44 A

SR23

Alimentador 1: 2230,30 A Alimentador 2: 1523,61 A Alimentador 3: 997,30 A Alimentador 4: 1276,48 A

SR24

Alimentador 1: 1834,37 A Alimentador 2: 1237,36 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

ANEXO V - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES COM A SR63 DESLOCADA

1) Sistema Integro

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,5 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,3 kW

SR13: 3293,5 kW

SR12: 3358,8 kW

SR11: 3477,3 kW

SR10: 4021,4 kW

SR9: 4207,2 kW

SR65: 1726,8 kW

SR64: 2404,8 kW

SR63: 3396,2 kW

SR62: 3684,2 kW

SR61: 3694,6 kW

SR8: 2431,7 kW

SR7: 3000,6 kW

SR6: 2526,2 kW

SR5: 3100,4 kW

SR4: 4014,7 kW

SR3: 4393,3 kW

SR2: 2919,2 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,8 kW

SR23: 3528,8 kW

SR24: 2365,2 kW

Tensão mínima no trem:

706,7 V no instante 90

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,63 A Alimentador 4: 1612,86 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,07 A Alimentador 3: 1546,39 A Alimentador 4: 1928,68 A

SR14

Alimentador 1: 1719,22 A Alimentador 2: 1467,11 A Alimentador 3: 1005,06 A Alimentador 4: 1296,62 A

SR13

Alimentador 1: 1124,07 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 1747,03 A Alimentador 4: 2282,88 A

SR12

Alimentador 1: 1888,75 A Alimentador 2: 1734,92 A Alimentador 3: 1914,91 A Alimentador 4: 854,06 A

SR11

Alimentador 1: 1966,21 A Alimentador 2: 947,90 A Alimentador 3: 1293,53 A Alimentador 4: 1673,88 A

SR10

Alimentador 1: 2084,02 A Alimentador 2: 2012,36 A Alimentador 3: 1376,38 A Alimentador 4: 1715,64 A

SR9

Alimentador 1: 1573,15 A Alimentador 2: 821,40 A Alimentador 3: 2837,08 A Alimentador 4: 1479,31 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 561,21 A Alimentador 4: 1573,28 A

SR64

Alimentador 1: 1296,21 A Alimentador 2: 1000,32 A Alimentador 3: 953,01 A Alimentador 4: 1957,17 A

SR63

Alimentador 1: 1194,01 A Alimentador 2: 1777,52 A Alimentador 3: 1823,93 A Alimentador 4: 1389,95 A

SR62

Alimentador 1: 1703,64 A Alimentador 2: 987,81 A Alimentador 3: 1845,63 A Alimentador 4: 1849,74 A

SR61

Alimentador 1: 1916,40 A Alimentador 2: 1379,64 A Alimentador 3: 1356,25 A Alimentador 4: 1647,49 A

SR8

Alimentador 1: 1857,19 A Alimentador 2: 1067,95 A Alimentador 3: 1305,06 A Alimentador 4: 483,98 A

SR7

Alimentador 1: 484,06 A Alimentador 2: 957,19 A Alimentador 3: 1889,18 A Alimentador 4: 1763,44 A

SR6

Alimentador 1: 1205,82 A Alimentador 2: 1204,76 A Alimentador 3: 944,27 A Alimentador 4: 775,77 A

SR5

Alimentador 1: 1265,94 A Alimentador 2: 1522,22 A Alimentador 3: 1952,22 A Alimentador 4: 1160,73 A

SR4

Alimentador 1: 1722,07 A Alimentador 2: 1264,53 A Alimentador 3: 1450,89 A Alimentador 4: 1956,06 A

SR3

Alimentador 1: 2020,57 A Alimentador 2: 1839,25 A Alimentador 3: 1461,24 A Alimentador 4: 1898,49 A

SR2

Alimentador 1: 2041,27 A Alimentador 2: 1825,84 A Alimentador 3: 1047,50 A Alimentador 4: 1319,32 A

SR1

Alimentador 1: 1055,34 A Alimentador 2: 766,97 A Alimentador 3: 1315,27 A Alimentador 4: 1641,13 A

SR21

Alimentador 1: 1538,95 A Alimentador 2: 1160,43 A Alimentador 3: 1674,33 A Alimentador 4: 1802,48 A

SR22

Alimentador 1: 2217,59 A Alimentador 2: 1736,50 A Alimentador 3: 1955,99 A Alimentador 4: 1855,68 A

SR23

Alimentador 1: 2229,81 A Alimentador 2: 1523,28 A Alimentador 3: 997,40 A Alimentador 4: 1276,66 A

SR24

Alimentador 1: 1834,14 A Alimentador 2: 1237,00 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

2) SR64 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,5 kW

SR15: 2494,6 kW

SR14: 2702,3 kW

SR13: 3293,5 kW

SR12: 3358,8 kW

SR11: 3477,4 kW

SR10: 4021,9 kW

SR9: 4209,5 kW

SR65: 3029,4 kW

SR63: 4085,9 kW

SR62: 3817,3 kW

SR61: 3706,3 kW

SR8: 2432,2 kW

SR7: 3000,7 kW

SR6: 2526,2 kW

SR5: 3100,4 kW

SR4: 4014,7 kW

SR3: 4393,3 kW

SR2: 2919,2 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,8 kW

SR23: 3528,9 kW

SR24: 2365,3 kW

Tensão mínima no trem:

706,7 V no instante 90

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,64 A Alimentador 4: 1612,87 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,06 A Alimentador 3: 1546,39 A Alimentador 4: 1928,69 A

SR14

Alimentador 1: 1719,21 A Alimentador 2: 1467,10 A Alimentador 3: 1005,06 A Alimentador 4: 1296,62 A

SR13

Alimentador 1: 1124,06 A Alimentador 2: 804,94 A Alimentador 3: 1747,05 A Alimentador 4: 2282,91 A

SR12

Alimentador 1: 1888,73 A Alimentador 2: 1734,91 A Alimentador 3: 1914,95 A Alimentador 4: 854,11 A

SR11

Alimentador 1: 1966,16 A Alimentador 2: 947,85 A Alimentador 3: 1293,58 A Alimentador 4: 1673,93 A

SR10

Alimentador 1: 2083,94 A Alimentador 2: 2012,31 A Alimentador 3: 1376,72 A Alimentador 4: 1715,82 A

SR9

Alimentador 1: 1572,87 A Alimentador 2: 821,28 A Alimentador 3: 2838,67 A Alimentador 4: 1480,69 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 1291,87 A Alimentador 4: 2574,98 A

SR63

Alimentador 1: 1708,42 A Alimentador 2: 2483,31 A Alimentador 3: 1773,87 A Alimentador 4: 1347,70 A

SR62

Alimentador 1: 1756,73 A Alimentador 2: 1024,55 A Alimentador 3: 1837,54 A Alimentador 4: 1840,63 A

SR61

Alimentador 1: 1923,99 A Alimentador 2: 1387,12 A Alimentador 3: 1354,61 A Alimentador 4: 1646,13 A

SR8

Alimentador 1: 1857,54 A Alimentador 2: 1068,32 A Alimentador 3: 1304,89 A Alimentador 4: 483,81 A

SR7

Alimentador 1: 484,17 A Alimentador 2: 957,33 A Alimentador 3: 1889,03 A Alimentador 4: 1763,28 A

SR6

Alimentador 1: 1205,97 A Alimentador 2: 1204,92 A Alimentador 3: 944,18 A Alimentador 4: 775,63 A

SR5

Alimentador 1: 1266,02 A Alimentador 2: 1522,33 A Alimentador 3: 1952,10 A Alimentador 4: 1160,63 A

SR4

Alimentador 1: 1722,19 A Alimentador 2: 1264,64 A Alimentador 3: 1450,84 A Alimentador 4: 1956,00 A

SR3

Alimentador 1: 2020,63 A Alimentador 2: 1839,32 A Alimentador 3: 1461,14 A Alimentador 4: 1898,42 A

SR2

Alimentador 1: 2041,37 A Alimentador 2: 1825,92 A Alimentador 3: 1047,43 A Alimentador 4: 1319,27 A

SR1

Alimentador 1: 1055,42 A Alimentador 2: 766,99 A Alimentador 3: 1315,19 A Alimentador 4: 1641,05 A

SR21

Alimentador 1: 1539,05 A Alimentador 2: 1160,52 A Alimentador 3: 1674,26 A Alimentador 4: 1802,38 A

SR22

Alimentador 1: 2217,66 A Alimentador 2: 1736,60 A Alimentador 3: 1955,93 A Alimentador 4: 1855,65 A

SR23

Alimentador 1: 2229,88 A Alimentador 2: 1523,34 A Alimentador 3: 997,40 A Alimentador 4: 1276,65 A

SR24

Alimentador 1: 1834,17 A Alimentador 2: 1237,05 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

3) SR62 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,6 kW

SR15: 2494,7 kW

SR14: 2702,4 kW

SR13: 3293,7 kW

SR12: 3359,6 kW

SR11: 3480,2 kW

SR10: 4051,9 kW

SR9: 4357,3 kW

SR65: 1802,9 kW

SR64: 2653,3 kW

SR63: 5281,8 kW

SR61: 4608,9 kW

SR8: 2466,1 kW

SR7: 3006,9 kW

SR6: 2527,4 kW

SR5: 3100,8 kW

SR4: 4014,9 kW

SR3: 4393,4 kW

SR2: 2919,3 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,5 kW

SR22: 3783,9 kW

SR23: 3529,1 kW

SR24: 2366,1 kW

Tensão mínima no trem:

631,3 V no instante 14

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,67 A Alimentador 4: 1612,88 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,05 A Alimentador 3: 1546,45 A Alimentador 4: 1928,74 A

SR14

Alimentador 1: 1719,16 A Alimentador 2: 1467,06 A Alimentador 3: 1005,14 A Alimentador 4: 1296,67 A

SR13

Alimentador 1: 1124,00 A Alimentador 2: 804,91 A Alimentador 3: 1747,23 A Alimentador 4: 2283,07 A

SR12

Alimentador 1: 1888,58 A Alimentador 2: 1734,75 A Alimentador 3: 1915,43 A Alimentador 4: 854,40 A

SR11

Alimentador 1: 1965,58 A Alimentador 2: 947,51 A Alimentador 3: 1295,35 A Alimentador 4: 1675,59 A

SR10

Alimentador 1: 2082,16 A Alimentador 2: 2010,27 A Alimentador 3: 1388,51 A Alimentador 4: 1727,59 A

SR9

Alimentador 1: 1562,13 A Alimentador 2: 809,72 A Alimentador 3: 2940,78 A Alimentador 4: 1569,96 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 613,13 A Alimentador 4: 1613,64 A

SR64

Alimentador 1: 1288,39 A Alimentador 2: 982,47 A Alimentador 3: 1098,21 A Alimentador 4: 2133,29 A

SR63

Alimentador 1: 1124,07 A Alimentador 2: 1628,83 A Alimentador 3: 3264,97 A Alimentador 4: 2473,97 A

SR61

Alimentador 1: 2722,67 A Alimentador 2: 1989,71 A Alimentador 3: 1259,65 A Alimentador 4: 1571,06 A

SR8

Alimentador 1: 1879,43 A Alimentador 2: 1084,47 A Alimentador 3: 1301,92 A Alimentador 4: 481,74 A

SR7

Alimentador 1: 486,91 A Alimentador 2: 959,76 A Alimentador 3: 1887,62 A Alimentador 4: 1761,97 A

SR6

Alimentador 1: 1207,41 A Alimentador 2: 1206,15 A Alimentador 3: 943,35 A Alimentador 4: 774,95 A

SR5

Alimentador 1: 1266,70 A Alimentador 2: 1522,68 A Alimentador 3: 1951,22 A Alimentador 4: 1159,79 A

SR4

Alimentador 1: 1723,19 A Alimentador 2: 1265,34 A Alimentador 3: 1450,27 A Alimentador 4: 1955,37 A

SR3

Alimentador 1: 2021,38 A Alimentador 2: 1840,05 A Alimentador 3: 1460,93 A Alimentador 4: 1897,69 A

SR2

Alimentador 1: 2041,76 A Alimentador 2: 1826,73 A Alimentador 3: 1047,20 A Alimentador 4: 1319,04 A

SR1

Alimentador 1: 1055,79 A Alimentador 2: 767,28 A Alimentador 3: 1314,83 A Alimentador 4: 1640,62 A

SR21

Alimentador 1: 1539,53 A Alimentador 2: 1160,91 A Alimentador 3: 1673,79 A Alimentador 4: 1801,91 A

SR22

Alimentador 1: 2218,05 A Alimentador 2: 1736,95 A Alimentador 3: 1955,25 A Alimentador 4: 1855,39 A

SR23

Alimentador 1: 2230,59 A Alimentador 2: 1523,68 A Alimentador 3: 997,22 A Alimentador 4: 1276,29 A

SR24

Alimentador 1: 1834,48 A Alimentador 2: 1237,62 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

4) SR61 Fora de operação

Potências RMS permanentes nas subestações:

SR16: 1744,7 kW

SR15: 2494,9 kW

SR14: 2702,8 kW

SR13: 3294,5 kW

SR12: 3364,9 kW

SR11: 3500,8 kW

SR10: 4274,9 kW

SR9: 5533,2 kW

SR65: 1735,3 kW

SR64: 2429,6 kW

SR63: 3597,3 kW

SR62: 4767,4 kW

SR8: 2713,3 kW

SR7: 3048,7 kW

SR6: 2535,2 kW

SR5: 3103,0 kW

SR4: 4015,5 kW

SR3: 4393,8 kW

SR2: 2919,8 kW

SR1: 2331,9 kW

SR21: 4055,6 kW

SR22: 3784,3 kW

SR23: 3530,3 kW

SR24: 2369,6 kW

Tensão mínima no trem:

616,6 V no instante 162

Correntes eficazes nos alimentadores:

SR16

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 569,75 A Alimentador 4: 1612,94 A

SR15

Alimentador 1: 1207,79 A Alimentador 2: 1110,04 A Alimentador 3: 1546,64 A Alimentador 4: 1928,87 A

SR14

Alimentador 1: 1718,93 A Alimentador 2: 1466,95 A Alimentador 3: 1005,38 A Alimentador 4: 1296,89 A

SR13

Alimentador 1: 1123,83 A Alimentador 2: 804,78 A Alimentador 3: 1748,28 A Alimentador 4: 2283,71 A

SR12

Alimentador 1: 1887,65 A Alimentador 2: 1734,09 A Alimentador 3: 1917,68 A Alimentador 4: 856,65 A

SR11

Alimentador 1: 1961,52 A Alimentador 2: 944,73 A Alimentador 3: 1304,89 A Alimentador 4: 1684,71 A

SR10

Alimentador 1: 2072,96 A Alimentador 2: 1996,98 A Alimentador 3: 1500,04 A Alimentador 4: 1845,63 A

SR9

Alimentador 1: 1516,96 A Alimentador 2: 751,50 A Alimentador 3: 3849,29 A Alimentador 4: 2491,74 A

SR65

Alimentador 1: 0,00 A Alimentador 2: 0,00 A Alimentador 3: 566,42 A Alimentador 4: 1577,99 A

SR64

Alimentador 1: 1294,27 A Alimentador 2: 998,11 A Alimentador 3: 964,54 A Alimentador 4: 1972,26 A

SR63

Alimentador 1: 1185,86 A Alimentador 2: 1762,62 A Alimentador 3: 1941,13 A Alimentador 4: 1503,71 A

SR62

Alimentador 1: 1624,77 A Alimentador 2: 902,49 A Alimentador 3: 2646,71 A Alimentador 4: 2519,38 A

SR8

Alimentador 1: 2052,68 A Alimentador 2: 1211,65 A Alimentador 3: 1285,83 A Alimentador 4: 466,65 A

SR7

Alimentador 1: 513,37 A Alimentador 2: 984,14 A Alimentador 3: 1880,27 A Alimentador 4: 1756,62 A

SR6

Alimentador 1: 1215,17 A Alimentador 2: 1212,45 A Alimentador 3: 940,35 A Alimentador 4: 772,13 A

SR5

Alimentador 1: 1269,30 A Alimentador 2: 1524,39 A Alimentador 3: 1947,93 A Alimentador 4: 1155,61 A

SR4

Alimentador 1: 1728,19 A Alimentador 2: 1269,33 A Alimentador 3: 1448,45 A Alimentador 4: 1953,65 A

SR3

Alimentador 1: 2023,91 A Alimentador 2: 1842,68 A Alimentador 3: 1460,46 A Alimentador 4: 1893,81 A

SR2

Alimentador 1: 2043,10 A Alimentador 2: 1830,88 A Alimentador 3: 1046,85 A Alimentador 4: 1318,79 A

SR1

Alimentador 1: 1056,86 A Alimentador 2: 768,18 A Alimentador 3: 1313,54 A Alimentador 4: 1638,82 A

SR21

Alimentador 1: 1541,36 A Alimentador 2: 1162,33 A Alimentador 3: 1672,09 A Alimentador 4: 1800,52 A

SR22

Alimentador 1: 2219,25 A Alimentador 2: 1737,78 A Alimentador 3: 1951,46 A Alimentador 4: 1854,64 A

SR23

Alimentador 1: 2234,40 A Alimentador 2: 1524,74 A Alimentador 3: 996,99 A Alimentador 4: 1274,97 A

SR24

Alimentador 1: 1835,83 A Alimentador 2: 1240,34 A Alimentador 3: 0,00 A Alimentador 4: 0,00 A

METRÔ – DF	ENGEVIX	CODIFICAÇÃO ENGEVIX: P00160/01-5X-RL-0010-0C

SETOR:	GERAL:
ENDEREÇO:	
PROPRIETÁRIO:	METRÔ - DF
AUTOR DO PROJETO:	VITO LABATE
RESPONSÁVEL TÉCNICO:	

METRÔ - DF

VITO LABATE CREA N°.: 260563453-1

METRÔ - DF

SISTEMA: ENERGIA			
SUB-SISTEMA: ESTUDOS			
VISTO: ELJ/ELM/ OOP	DATA: 14/08/2013	LOCAL: GERAL	
APROVADO: CAC	DATA: 27/01/2015	COMPONENTES/ TIPO DE DOCUMENTO: **RELATÓRIO TÉCNICO CONSOLIDADO - ESTUDOS DE CURTO CIRCUITO EM CORRENTE CONTINUA 750 Vcc**	ÁREA DE CONST.: -
ESCALA: **S/ESC.**	ETAPA DO PROJ.: Básico		
N MICROFILME:	FOLHA: 1/29	CODIFICAÇÃO: RT.4/EX.99/00.010	REVISÃO: **1**

1	APROVADO CONFORME PARECER Nº 0007/15-TEN	27/01/15	ViLa	ECoA	ITF	ELJ/RJF	RMP
0B	ATENDENDO O PARECER 0499/14-TEN	13/10/14	ViLa	ECoA	ITF	ELJ/RJF	RMP
0A	ATENDENDO O PARECER 035/13-TDME	04/09/13	ViLa	ECoA	ITF	ELJ/RJF	RMP
0	EMISSÃO INICIAL	14/08/13	ViLA	RGCdA/AJCN	JoWe	ELJ/ELM/ OOP	CAC
N°	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROVO	VERIF.	APROV
		CONTRATADA				**METRÔ - DF**	
R E V I S Õ E S							

METRÔ DF
RT.4/EX.99/00.010

SISTEMA DE ENERGIA
PROJETO BÁSICO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 5

2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE CÁLCULO 5

3 DADOS DE ENTRADA PARA OS CÁLCULOS 9

3.1 SISTEMA. 9

3.2 GRUPOS TRANSFORMADOR-RETIFICADOR. 9

4 CÁLCULO DAS CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO 10

4.1 SUBESTAÇÕES COM 2 RETIFICADORES DE 1750 KW. 12

4.2 SUBESTAÇÕES COM 2 RETIFICADORES DE 2000 KW. 14

4.3 SUBESTAÇÕES COM 2 RETIFICADORES DE 2750 KW. 17

5 CONCLUSÃO 20

6 ANEXO I – SHORT CIRCUIT CHARACTERISTICS OF ELETRONIC POWER CONVERTERS 21

1 INTRODUÇÃO

Este relatório tem por objetivo apresentar os cálculos para a determinação das correntes de curto circuito no sistema de tração em corrente contínua do Metrô de Brasília.

Serão determinadas as correntes máximas devidas ao curto franco nas barras das subestações retificadoras. Esses resultados servirão de subsídio para avaliação da capacidade dos equipamentos e determinação dos ajustes das proteções dos alimentadores c.c. das subestações retificadoras.

O curto franco no 3º trilho, no ponto de ligação dos alimentadores ao 3º trilho, pode ser considerado, conservativamente, como sendo igual ao curto franco nos terminais do retificador. A redução na corrente de curto é pouco significativa, visto que a indutância e resistência adicionais são apenas as dos barramentos de corrente continua e do próprio alimentador.

O método de cálculo adotado é descrito no item seguinte. Ressaltamos que, conforme consta da Introdução do “Paper”, se trata de um método de cálculo aproximado. Tem sido, contudo, largamente empregado em sistemas metroviários, inclusive no caso de retificador de 12 pulsos, quando se pretende uma avaliação aproximada dos níveis de curto em etapas de projeto básico.

2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE CÁLCULO

O método de cálculo que será utilizado para a determinação das correntes de curto circuito no sistema de tração é um cálculo iterativo, que utiliza coeficientes obtidos de gráficos reproduzidos neste relatório. Possibilita obter resultados com aproximação suficiente para as finalidades deste estudo, considerando, também, que muitas das funções disponíveis nos dispositivos de proteção são colocadas inicialmente em modo estatístico, para avaliação futura dos resultados.

O método, que consta do Anexo I deste relatório, foi apresentado no “paper” Short Circuit Characteristics of Eletronic Power Converters, na década de 60 no IEEE e vem sendo largamente utilizado desde então para o cálculo simplificado das correntes de curto-circuito em sistemas de tração.

A curva típica corrente x tempo de curto-circuito pode ser dividida em 3 partes, A, B e C. Ela é mostrada de forma esquemática na Figura 5 do Anexo I.

A região A abrange o período inicial de subida da corrente. A sua duração depende da resistência e da indutância do circuito. No limite, ou seja, para defeitos nos terminais do conversor, sem indutância ou resistência a jusante, a sua duração é de aproximadamente 1/6 de ciclo.

A região B abrange o período em que a corrente de curto supera a corrente permanente de curto-circuito, atingindo o valor de pico da corrente de defeito. Para curtos francos a sua duração é de 5/6 de ciclo, com o pico sendo atingido1/2 ciclo após a ocorrência da falta. Para curtos mais distantes da retificadora, com o aumento da resistência e indutância do sistema c.c. essa fase poderá não existir.

A região C ocorre após a corrente de defeito atingir o seu valor permanente, caso não seja interrompida antes pelo disjuntor extra-rápido do alimentador.

A seguir são descritos os passos do procedimento de cálculo adotado para a determinação da taxa de crescimento da corrente na região A, do valor de pico na região B e do valor permanente da corrente de defeito:

Obter os valores de:

- ED (V) - Tensão nominal do lado c.c do retificador
- ID (A) - Corrente nominal do lado c.c. do retificador
- Zc e zc – Impedâncias em ohms e em p.u. do lado de corrente alternada
- Rc – Resistência em ohms do lado de corrente alternada
- Xc – Reatância em ohms do lado de corrente alternada
- LD – Indutância em Henry do sistema c.c. desde o retificador até o ponto de curto-circuito, incluído o defeito.
- RD – Resistência em ohms do sistema c.c. desde o retificador até o ponto de curto-circuito, incluído o defeito.

Converter a indutância LD para sua reatância equivalente XD, em ohms, usando a expressão:

$$XD = 2.\pi.f.LD$$

para a freqüência de 60 hz, resulta:

$$XD = 377.LD$$

Determinar as constantes K3 e K4. Para retificador de 2 caminhos:

$$K3 = \frac{XD}{2.Xc}$$

e

$$K4 = \frac{Rc + ½.RD}{Xc}$$

Obter o valor da constante K2

A constante K2 é obtida do gráfico a seguir assumindo um valor para a tensão nos terminais do retificador (eda) sob condição de falta.

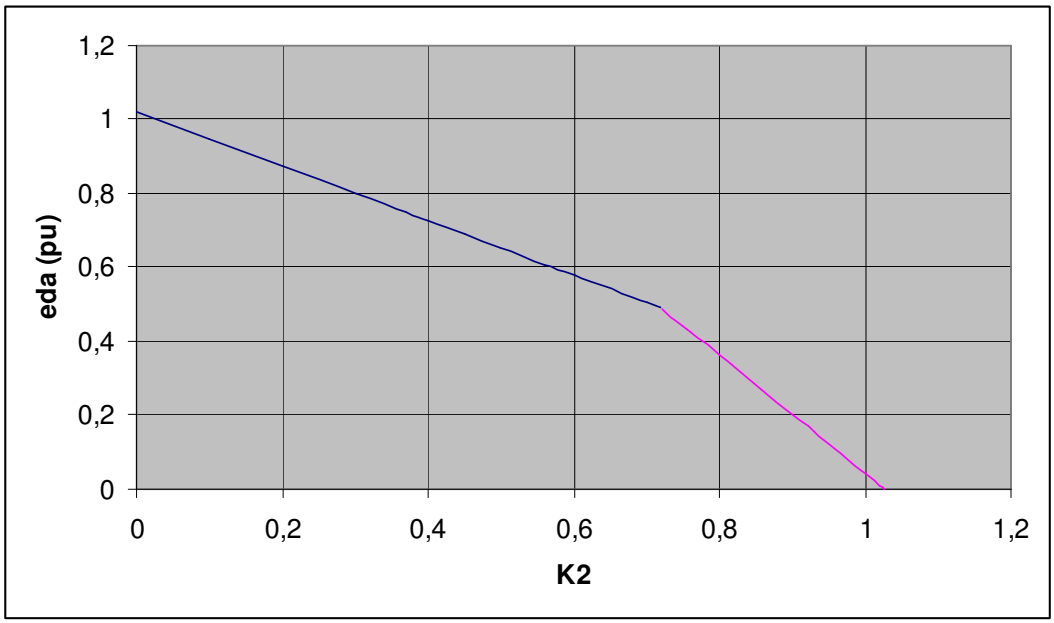


Figura 2.1

Calcular o valor da corrente (Ida) do retificador.

A corrente Ida, em amperes, é obtida usando os valores de zc (p.u) e de K2:

$$Ida = \left(\frac{K2}{zc}\right) ID$$

Calcular a resistência equivalente do retificador (RR)

A resistência equivalente do retificador em ohms é:

$$RR = \frac{ED}{Ida}$$

Calcular a indutância equivalente do retificador (LR)

Para a freqüência f = 60 Hz

$$LR = \frac{ED}{360.Ids}$$

Onde:

A corrente permanente de curto-circuito (Ids) considerando defeito franco (tensão igual a zero) nos terminais do retificador é:

$$Ids = \left(\frac{1{,}02}{zc}\right).ID$$

Calcular a corrente de curto-circuito estabelecida (Idc).

O valor médio da corrente em amperes é:

$$Idc = \frac{ED}{RR + RD}$$

Calcular a taxa de crescimento da corrente (RRdc)

A taxa de crescimento, em A/s é :

$$RRdc = \frac{ED}{LR + LD}$$

Calcular a tensão nos terminais do retificador (Edc).

A tensão em Volts é:

$$Edc = ED - Idc \, . RR$$

Verificar o valor de Eda assumido

Caso o valor calculado de Edc não varie mais do que 10% em relação ao valor de $Eda = eda \, x \, ED$ assumido, a solução é satisfatória.

Caso isso não aconteça, o processo deve ser repetido assumindo um novo valor para eda.

Calcular o valor de crista da corrente (Idp).

Uma vez encontrado o valor satisfatório para a corrente permanente de defeito através do processo iterativo acima descrito, é calculado o valor de crista da corrente de defeito em amperes, igual a:

$$Idp = Idc \, . K1$$

Onde K1 é obtido do gráfico a seguir. As curvas mostradas no gráfico correspondem, de cima para baixo, aos seguintes valores de k3 : 0 ; 0,4; 0,9 ; 1,4 e 2,5, conforme mostrado na Figura 4 do Anexo I. Valores intermediários de K3 devem ser interpolados.

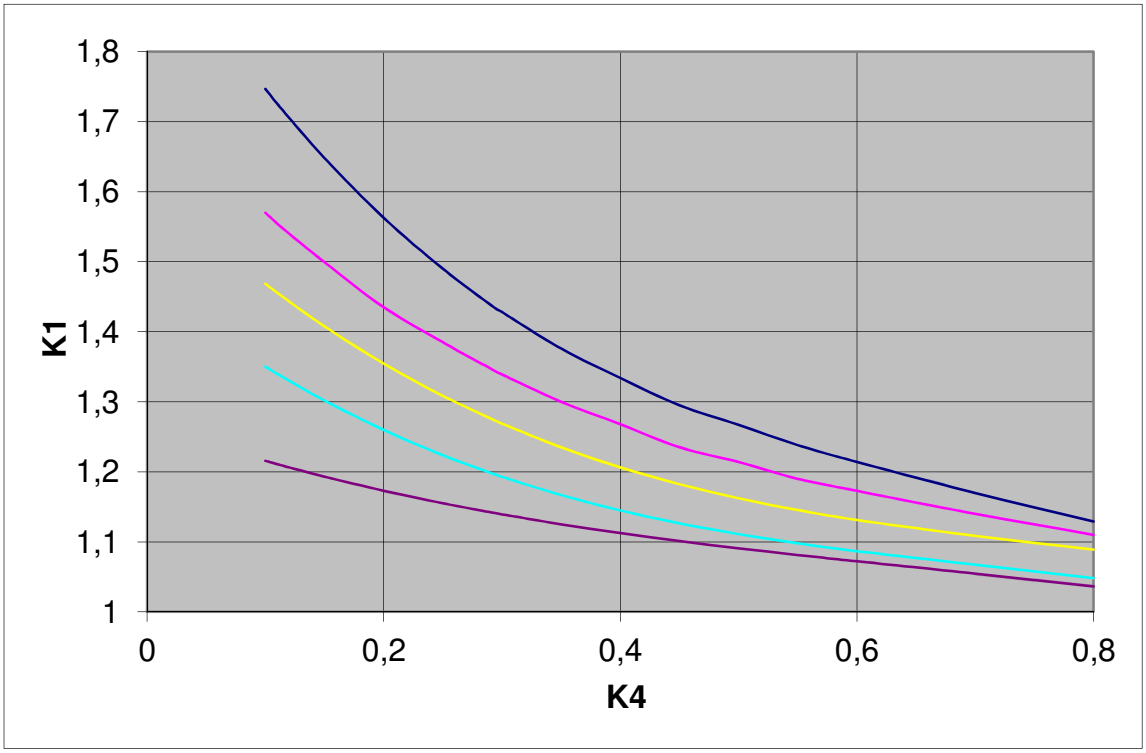


Figura 2.2

3 DADOS DE ENTRADA PARA OS CÁLCULOS

Os seguintes dados de entrada serão utilizados no presente cálculo:

3.1 Sistema.

As correntes de curto-circuito calculadas nas barras de 13,8 kV das subestações retificadoras são mostradas no documento Estudo De Nivel De Curto Circuito Em Corrente Continua e Corrente Alternada, referência RT.4/EX.99/00.009.

Para o cálculo das correntes máximas de curto nas barras de 825 V das subestações será considerada a maior corrente de curto calculada numa barra constante desse documento.

Será adotado o valor de 23.450 A/ -85º referente à barra de Brasília Centro 13,8 kV, ainda que essa não seja uma barra de subestação retificadora. Esse procedimento é conservativo, e deve também ser levado em conta que a impedância do sistema é da ordem de 10% da impedância dos trafos, não tendo , portanto, uma influência relevante no resultado.

A essa corrente corresponde uma potencia de curto de aproximadamente 560 MVA.

3.2 Grupos transformador-retificador.

As potências totais, para 2 grupos por subestação, com as potências em kVA assumidas para os trafos, são as seguintes

- 3500 kW / 4000 kVA;

- 4000 kW / 4.500 kVA;
- 5,500 kW / 6.150 kVA.

Serão adotados para os trafos:

- Impedância: 9%;
- Relação X/R: 12 %;

Para os retificadores:

- Tensão nominal (ED): 825 V:
- Correntes nominais (ID):
    - 3.500 kW: 4.242,5 A;
    - 4.000 kW: 4.848,5 A;
    - 5.500 kW: 6.666,7 A.

4 CÁLCULO DAS CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO

O significado dos símbolos adotados é o seguinte:

Pbase = Potência base adotada

Pccsist = Potência de curto CA no primário do Trafo ou Potência de cc do Sistema.

xtr = reatância do transformador

rtr = reatância do transformador

f = frequência nominal do sistema CA.

ED = Tensão nominal em CC.

ID = Corrente nominal em CC.

Zc = Impedância total em ohms (inclui o transformador-retificador e o Sistema CA)

Rc = Resistência total em ohms

Xc = Reatância total em ohms

zc = Impedância total em p.u (inclui o transformador-retificador e o Sistema CA)

rc = Resistência total em p.u.

xc = Reatância total em p.u.

LR = Indutância equivalente do retificador

RR = Resistência equivalente do retificador

RRdc = taxa de crescimento da corrente

Coeficiente K1 = fator para a obtenção da corrente de pico Idp

Coeficiente K2 = fator para a corrente de defeito em regime

Coeficiente K3 e K4 = relações usadas nos cálculos dependendo do tipo de ligação do retificador

Eda = Tensão terminal assumida

Edc = Tensão terminal calculada

Ida = Corrente assumida

Ids = Corrente calculada em regime

Observamos que ID é calculado conforme mostrado no exemplo de cálculo apresentado no “Paper”, a partir da potência nominal do grupo em kW.

Os valores em p.u a seguir, para Pbase = 4,5 MVA, são comuns para todos os casos que serão calculados:

$$xsist. = \frac{Pbase}{Pccsist}. \; = \; 0{,}0105 \; p.u.$$

Para os 2 transformadores da SR:

$$xtr \; = \; 0{,}0897 \; p.u.$$

$$rtr \; = \; 0{,}0075 \; p.u.$$

Portanto, acrescentando a reatância do sistema:

$$xc \; = \; 0{,}0105 \; + \; 0{,}0897 \; = \; 0{,}10015 \; p.u.$$

$$rc \; = \; 0{,}0075 \; p.u.$$

e:

$$zc \; = \; 0{,}10043 \; p.u.$$

4.1 Subestações com 2 retificadores de 1750 kW.

A impedância total em ohms (Zc)

Da fórmula $Zc = zc \,.\, 0{,}6 \,.\, \frac{ED}{ID}$ em ohm (para conversão da impedância em ohms) :

Considerando os 2 retificadores de 1750 kW em paralelo:

Com $ED = 825\,V$ e $ID = 4242{,}5\,A$, temos:

$$Rc = 0{,}00087\,\Omega$$

$$Xc = 0{,}01169\Omega$$

$$Zc = 0{,}01172\,\Omega$$

a) Determinação dos coeficientes K3 e K4.

Neste caso, para retificadores de duplo caminho:

$$LD = XD = 0$$

$$RD = 0$$

Os coeficientes K3 e K4 são, portanto, iguais a :

$$K3 = \frac{XD}{2.Xc} = 0$$

$$K4 = \frac{Rc + ½\,.RD}{Xc} = \frac{0{,}00087}{0{,}01169} = 0{,}0744$$

c) Cálculo da corrente Ida em amperes.

$$Ida = \frac{K2}{zc}\; x\; ID$$

Com:

$$K2 = 1{,}02$$

$$zc = 0{,}1076\,p.u.$$

$$ID = 4242{,}5$$

$$Ida = \left(\frac{1{,}02}{0{,}10043}\right) x\ 4242{,}5 = 43.086{,}3\ A$$

d) Cálculo da resistência equivalente do retificador

$$RR = \frac{ED}{Ida} = \frac{825}{43.086{,}3} = 0{,}01191\ \Omega$$

e) Cálculo da indutância equivalente do retificador

$$LR = \frac{ED}{360} x\ Ids$$

Sendo neste caso $Ids = Ida = 43.086{,}3\ A$:

$$LR = \frac{825}{360} x\ 43.086{,}3 = 5{,}32\ x\ 10 - 5\ H$$

f) Cálculo da corrente de curto em regime e do gradiente corrente/tempo

$$Idc = 43.086{,}3\ A$$

e

$$RRdc = \frac{ED}{LR + LD} = \frac{825}{5{,}32\ x\ 10 - 5 + 0} = 15{,}51 \frac{kA}{ms}$$

g) Cálculo da tensão nos terminais do retificador

Edc =0 (curto nos terminais)

h) Comparação do valor assumido em b) com o valor obtido em g).

$$Edc = Eda = 0$$

Cálculo da corrente de pico em amperes

Para :

$$K3 = 0$$

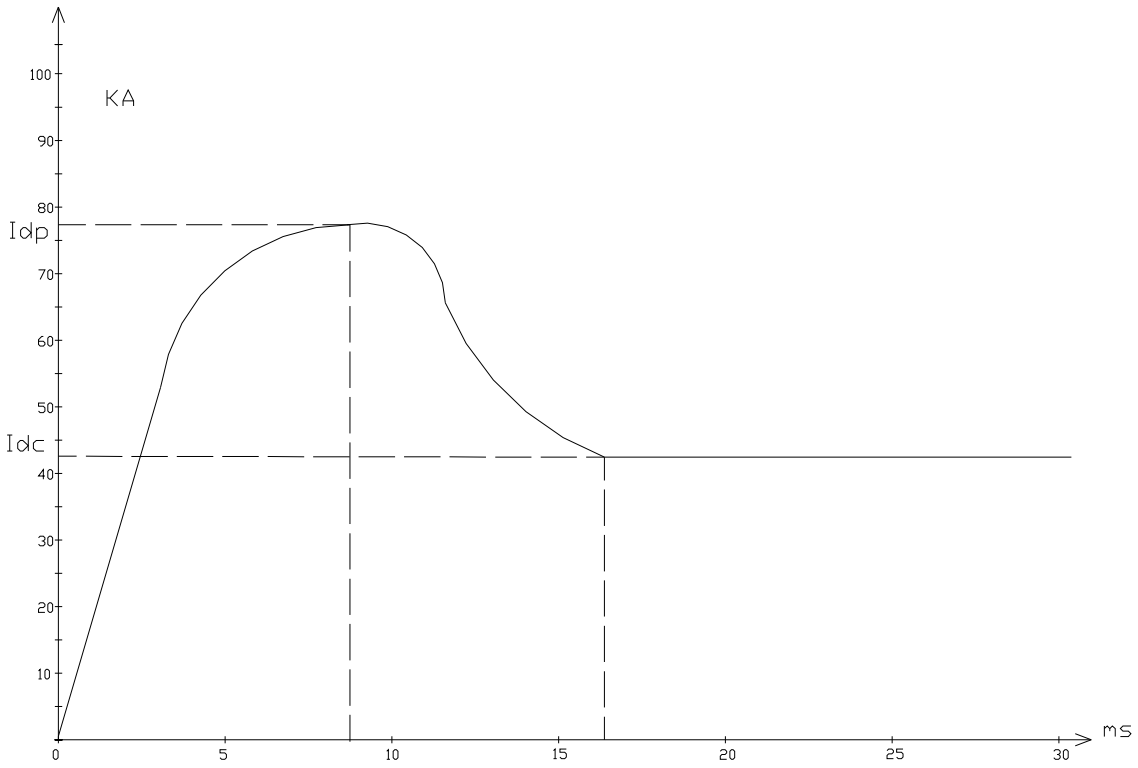
$$K4 = 0{,}0744$$

Do gráfico da Figura 2.2:

$$K1 = 1{,}8$$

$$Idp = Idc\ x\ K1 = 43.086{,}3\ x\ 1{,}8 = 77.555\ A$$

A seguir é mostrada, de forma esquemática, a curva corrente x tempo da corrente de curto-circuito.



4.2 Subestações com 2 retificadores de 2000 kW.

Da fórmula $Zc = zc \,.\, 0{,}6 \,.\, \frac{ED}{ID}$ em ohm (para conversão da impedância em ohms) :

Considerando os 2 retificadores de 2000 kW em paralelo:

Com ED = 825 V e ID = 4848,5 A, temos:

$$Rc = 0{,}00076\,\Omega$$

$$Xc = 0{,}01022\Omega$$

$$Zc = 0{,}01025\,\Omega$$

a) Determinação dos coeficientes K3 e K4.

Neste caso, para retificadores de duplo caminho:

:

$$LD = XD = 0$$

$$RD = 0$$

Os coeficientes K3 e K4 são, portanto, iguais a :

$$K3 = \frac{XD}{2.Xc} = 0$$

$$K4 = \frac{Rc + ½ . RD}{Xc} = \frac{0{,}00076}{0{,}01022} = 0{,}0744$$

b) Determinação do coeficiente K2.

Sendo a tensão nos terminais do retificador eda = 0 para o curto franco, temos do gráfico da Figura 2.1:

K2 = 1,02

c) Cálculo da corrente Ida em amperes.

$$Ida = \frac{K2}{zc} \; x \; ID$$

Com:

$$K2 = 1{,}02$$

$$zc = 0{,}1076 \; p.u.$$

$$ID = 4848{,}5$$

$$Ida = \left(\frac{1{,}02}{0{,}10043}\right) x \; 4848{,}5 = 49.241{,}5 \; A$$

d) Cálculo da resistência equivalente do retificador

$$RR = \frac{ED}{Ida} = \frac{825}{49.241{,}5} = 0{,}0167 \; \Omega$$

e) Cálculo da indutância equivalente do retificador

$$LR = \frac{ED}{360} x \; Ids$$

Sendo neste caso Ids = Ida = 49.241,5 A:

$$LR = \frac{825}{360} x \; 49.241{,}5 = 4{,}65 \; x \; 10 - 5 \; H$$

f) Cálculo da corrente de curto em regime e do gradiente corrente/tempo

Idc = 49.241,5 A

e

$$RRdc = \frac{ED}{LR + LD} = \frac{825}{4{,}65\ x\ 10 - 5\ +\ 0} = 17{,}73 \frac{kA}{ms}$$

g) Cálculo da tensão nos terminais do retificador

Edc =0 (curto nos terminais)

h) Comparação do valor assumido em b) com o valor obtido em g).

$$Edc = Eda = 0$$

Cálculo da corrente de pico em amperes

Para :

$$K3 = 0$$

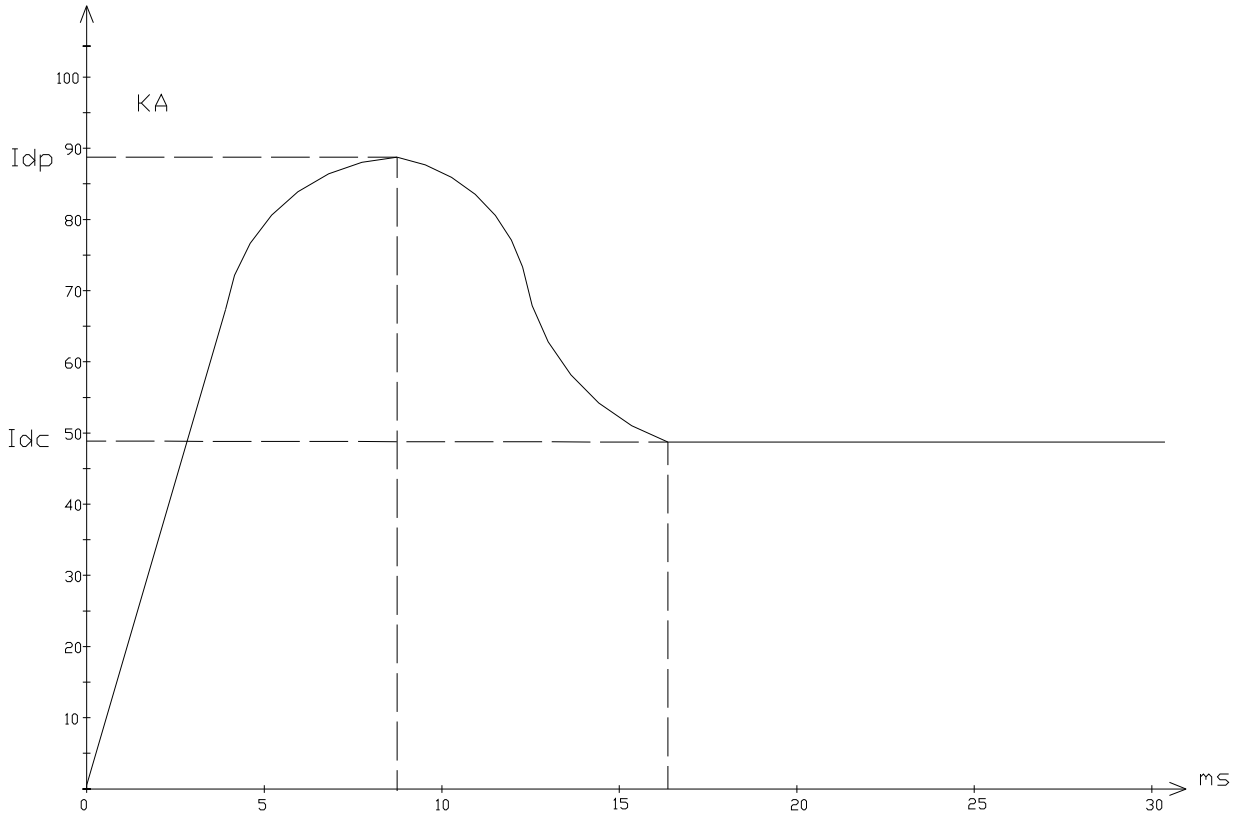
$$K4 = 0{,}0744$$

Do gráfico da Figura 2.2:

$$K1 = 1{,}8$$

$$Idp = Idc\ x\ K1 = 49.241{,}5\ x\ 1{,}8 = 88.635\ A$$

A seguir é mostrada, de forma esquemática, a curva corrente x tempo da corrente de curto-circuito.



4.3 Subestações com 2 retificadores de 2750 kW.

Da fórmula $Zc = zc \,.\, 0{,}6 \,.\, \frac{ED}{ID}$ em ohm (para conversão da impedância em ohms):

Considerando os 2 retificadores de 2750 kW em paralelo:

Com $ED = 825\,V$ *e* $ID = 6666{,}7\,A$, temos:

$$Rc = 0{,}00087\,\Omega$$

$$Xc = 0{,}01169\Omega$$

$$Zc = 0{,}01172\,\Omega$$

a) Determinação dos coeficientes K3 e K4.

Neste caso, para retificadores de duplo caminho:

:

$$LD = XD = 0$$

$$RD = 0$$

Os coeficientes K3 e K4 são, portanto, iguais a :

$$K3 = \frac{XD}{2.Xc} = 0$$

$$K4 = \frac{Rc + ½ . RD}{Xc} = \frac{0{,}000555}{0{,}00745} = 0{,}0744$$

b) Determinação do coeficiente K2.

Sendo a tensão nos terminais do retificador eda = 0 para o curto franco, temos do gráfico da Figura 2.1:

$$K2 = 1{,}02$$

c) Cálculo da corrente Ida em amperes.

$$Ida = \frac{K2}{zc} \; x \; ID$$

Com:

$$K2 = 1{,}02$$

$$zc = 0{,}1076 \; p.u.$$

$$ID = 6666{,}7$$

$$Ida = \left(\frac{1{,}02}{0{,}10043}\right) x \; 6666{,}7 = 67.707 \; A$$

d) Cálculo da resistência equivalente do retificador

$$RR = \frac{ED}{Ida} = \frac{825}{67.707} = 0{,}0122 \; \Omega$$

e) Cálculo da indutância equivalente do retificador

$$LR = \frac{ED}{360} x \; Ids$$

Sendo neste caso Ids = Ida = 67.707 A:

$$LR = \frac{825}{360} x \; 67.707 = 3{,}38 \; x \; 10 - 5 \; H$$

f) Cálculo da corrente de curto em regime e do gradiente corrente/tempo

$$Idc = 67.707 \ A$$

e

$$RRdc = \frac{ED}{LR + LD} = \frac{825}{3{,}38\ x\ 10 - 5 + 0} = 24{,}37 \frac{kA}{ms}$$

g) Cálculo da tensão nos terminais do retificador

$$Edc = 0\ (curto\ nos\ terminais)$$

h) Comparação do valor assumido em b) com o valor obtido em g).

$$Edc = Eda = 0$$

Cálculo da corrente de pico em amperes

Para :

$$K3 = 0$$

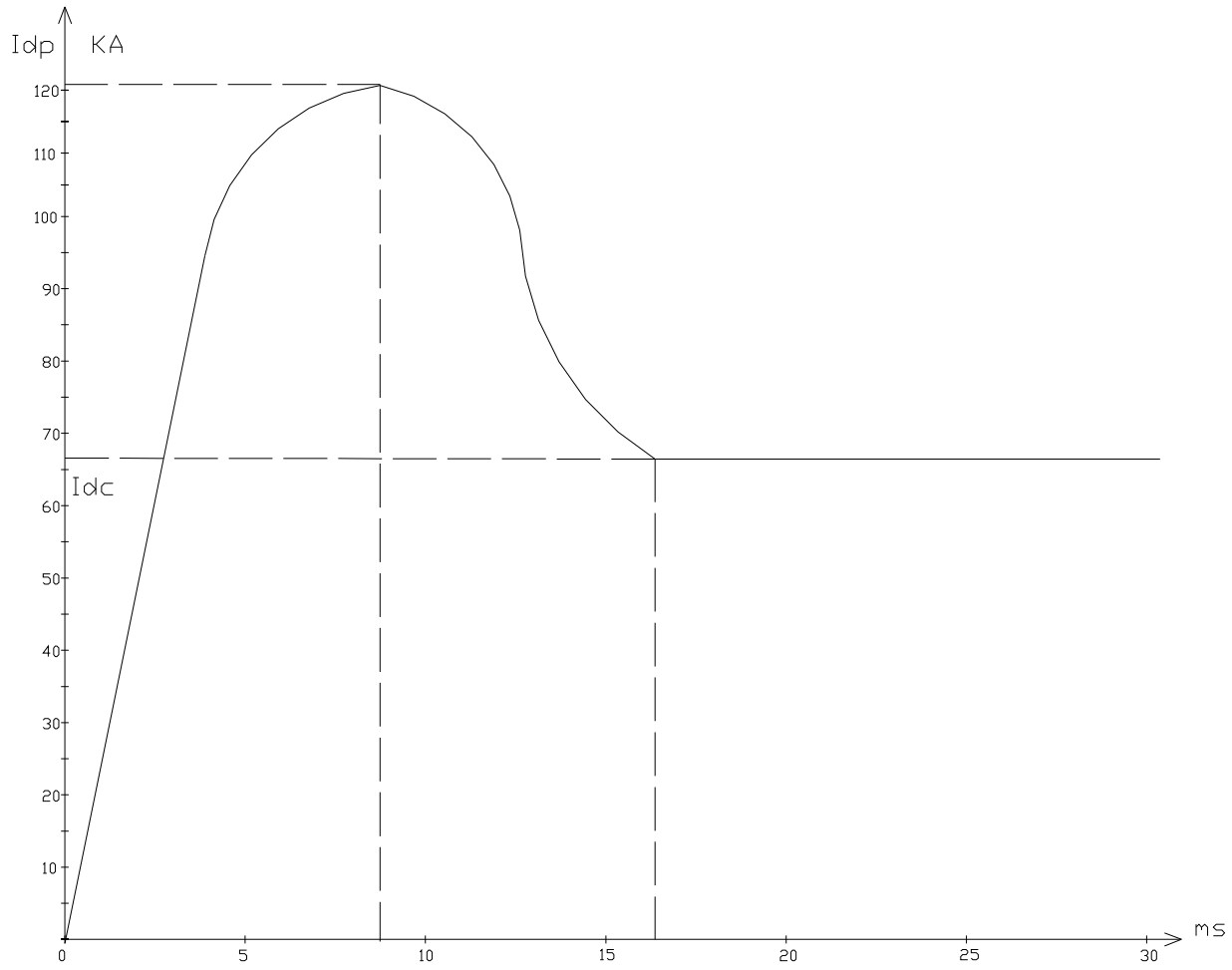
$$K4 = 0{,}0744$$

Do gráfico da Figura 2.2:

$$K1 = 1{,}8$$

$$Idp = Idc\ x\ K1 = 67.707\ x\ 1{,}8 = 121.873\ A$$

A seguir é mostrada, de forma esquemática, a curva corrente x tempo da corrente de curto-circuito.



5 CONCLUSÃO

Foram obtidos os seguintes valores da corrente de curto franco para os casos considerados:

Retificadores	Taxa de crescimento RRdc	Idc (regime)	Idp (pico)
2 x 1750	15,51 kA/ms	43.086,3 A	77.555 A
2 x 2000	17,73 kA/ms	49.241,5 A	88.635 A
2 x 2750	24,37 kA/ms	67.707 A	121.873 A

6 ANEXO I – SHORT CIRCUIT CHARACTERISTICS OF ELETRONIC POWER CONVERTERS

SÃO PAULO METRO

ELECTRIFICATION SYSTEM SHORT CIRCUIT CAPABILITY

Engineering Study 5e, Work Package 1

ATTACHMENT A

Unreferenced technical paper entitled "Short Circuit Characteristics of Electronic Power Converters"

SHORT-CIRCUIT CHARACTERISTICS OF ELECTRONIC POWER CONVERTERS

Introduction

Electronic power rectifiers are a major source of power for direct-current systems in industry. A knowledge of the short-circuit characteristics of the power rectifier is essential for those who operate, design, or supply equipment for a direct-current system incorporating a rectifier.

The information presently available on this subject is not well suited for the use of the application engineer. The material presented here permits the engineer to determine the approximate short-circuit characteristics of the power rectifier with a minimum knowledge of the power rectifier and the system.

Typical Characteristic

A typical current-time curve for a power rectifier is shown in Fig. 1. This curve is for a bolted fault at the terminals of the rectifier. The bolted fault is, in effect, a three-phase fault on the AC system, and the magnitude of the DC fault current depends primarily upon the impedance of the rectifier transformer.

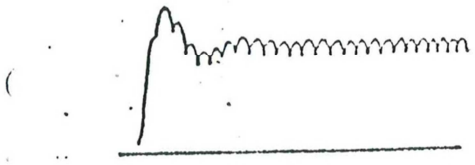


Fig. 1. Typical current-time curve for bolted fault at rectifier terminals (15EH407)

The peak at the half-cycle point in the current-time curve is caused by the same phenomenon that creates the DC offset in an AC short circuit. The magnitude of this peak current depends on the X/R ratio of the rectifier transformer and the AC system, and also on the amount of resistance and inductance through which the short-circuit current flows in the DC system. The X/R ratio of the transformer and AC system determines the maximum possible value for this current in any particular case. The addition of resistance and/or inductance in the DC system then acts to reduce the magnitude of the peak current. The current-time curve is shown in Fig. 2 for a case where the peak is eliminated.

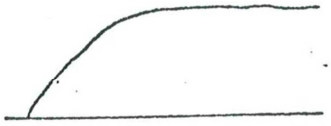


Fig. 2. Current-time curve for case where peak has been eliminated by inductance in d-c system (15EH408)

The initial rate of rise of the DC short-circuit current for a solid fault at the rectifier terminals varies directly with the magnitude of the sustained short-circuit current. The addition of inductance in the DC system acts to decrease the rate of rise of the fault current. The addition of resistance in the DC system also decreases the rate of rise of the fault current, but to a much lesser degree than inductance. The addition of resistance acts to decrease the rate of rise only through its action in reducing the magnitude of the sustained fault current.

Method of Evaluating Short-Circuit Characteristic

The determination of the rectifier short-circuit characteristic; i.e., current-time curve, for a bolted fault at the rectifier terminals is fairly simple, since the AC system (rectifier transformer included) is the controlling factor. The evaluation becomes more difficult, however, when the short circuit occurs out in the DC system and inductance and resistance are present in the DC system. The problem becomes even more complicated when other sources of short-circuit current are present in the DC system.

It is necessary to develop an equivalent source to represent the rectifier, if calculations are to be performed with any ease. This equivalent rectifier source would have an equivalent resistance and an equivalent inductance which would be used as constants for calculating the DC fault current.

The equivalent resistance is determined from a rectifier regulation curve, similar to Fig. 3, and a step-by-step procedure is given later for this purpose. The equivalent resistance will vary for different fault conditions and depends upon the rectifier terminal DC voltage. The nature of the regulation curve makes it necessary to use a trial and error procedure to determine the correct equivalent re-

Projeto Básico - Relatório Técnico (RT.4/EX.99/00.010) (55933481) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 923

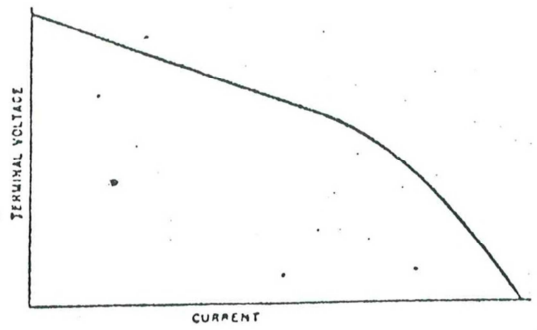


Fig. 3. Characteristic regulation curve for power rectifier (153H409)

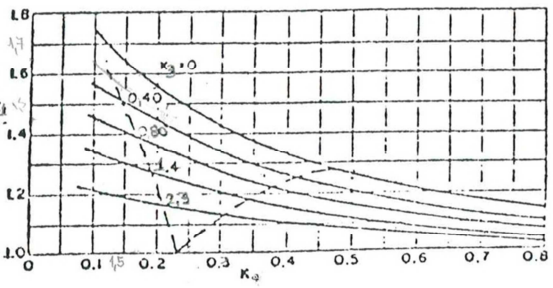


Fig. 4. Peak fault current factor as a function of system constants (1149948)

sistance. This resistance is then used to calculate the sustained value of DC short-circuit current.

The equivalent inductance is determined from a knowledge of the sustained short-circuit current for a bolted fault and the rated system voltage. An expression is given in the procedure for calculating it.

The magnitude of the peak short-circuit current is determined by the AC and DC systems impedance characteristics and the effect of both systems is covered by the one family of curves, Fig. 4.

A step-by-step procedure is given later that details the method of calculating the equivalent resistance and inductance, and of using these quantities to calculate the sustained fault current, peak fault current, and rate of rise of the fault current.

Construction of Current-Time Curve

The current-time curve will be divided into three regions, Fig. 5, to facilitate a discussion of its construction. Region A covers the period of initial rate of rise, region B covers the time during which the current is above the sustained value, and region C

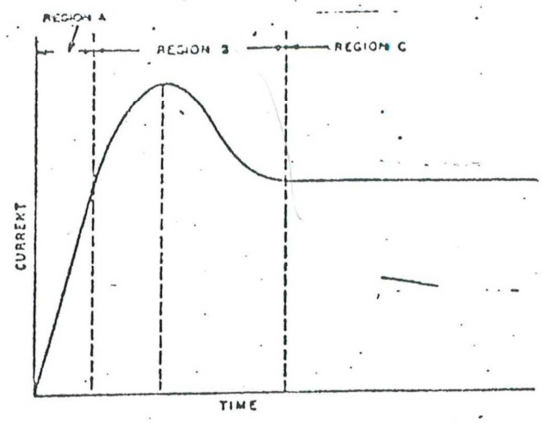


Fig. 5. Typical current-time curve for rectifier short-circuit current (158H410)

covers the time after the current has obtained its sustained value. The time duration of regions A and B depends upon the amount of inductance and resistance in the DC system through which the fault current flows. For a rectifier terminal fault (no resistance or inductance in DC system), region A covers one-sixth cycle, region B covers five-sixth cycle, and region C covers the time after one cycle until the current is interrupted. The maximum current is reached at one-half cycle after the fault occurs.

Resistance only (no appreciable inductance) in the DC system between the rectifier and the fault reduces the magnitudes of the peak current and the sustained current. The time at which the peak occurs will remain the same as for the case of a terminal fault; that is, one-half cycle after the fault occurs. The time duration of regions A and B will be the same as for a terminal fault.

Inductance in the DC system will cause the current peak to occur at a time later than one-half cycle after the fault. Thus, the time duration of region A will be increased and can be calculated by assuming that the rate of rise of the current remains constant until the current reaches a value equal to the magnitude of the sustained short-circuit current. The time duration of region B will stay at approximately one cycle. As the amount of inductance is increased, the current peak is reduced and when the peak is eliminated, region B will be nonexistent. That is, the current will transfer from region A to region C with no over-shoot.

The current-time curve developed in accordance with the procedures outlined represents the short-circuit characteristic of the rectifier. It represents the current which that particular rectifier will supply to the short circuit.

Projeto Básico - Relatório Técnico (RT.4/EX.99/00.010) (55933481) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 924

Arc-Back

Electronic power rectifiers are subject to failure of the rectifying action of a tube. This type of failure is termed "arc-back", and is associated with current flow through the failed tube in the reverse direction. It represents a fault on the rectifier transformer and on the DC bus. As a result, the current magnitude may be quite high. Rectifier substation manufacturers normally include a protective device to protect against the current during arc-back and, hence, no method of calculating this current will be included in this discussion.

Step-by-Step Procedure for Calculating Rectifier Short-Circuit Current

1. Obtain values for:

   a. Rated DC voltage (E_D)

   b. Rated DC amperes (I_D)

   c. Total AC impedance in ohms (Z_C) and in per unit (z_c), reactance in ohms (X_C) and resistance in ohms (R_C). (Include rectifier transformer and AC system).

   d. DC system inductance in henries (L_D) and resistance in ohms (R_D) from source to fault, including fault.

2. Convert DC system inductance (L_D) to an equivalent reactance in ohms (X_D) by use of the expression:

   $X_D = 2\pi f L_D$

   where f = AC system frequency

   For 60-cycle system

   $X_D = 377\ L_D$.

3. Determine the ratios K_3 and K_4:

   $K_3 = X_D / 2X_C$ and $K_4 = \dfrac{R_C + 1/2\ R_D}{X_C}$ for double-way rectifiers

   or,

   $K_3 = 2X_D/X_C$ and $K_4 = \dfrac{R_C + 2R_D}{X_C}$ for double-wye rectifiers.

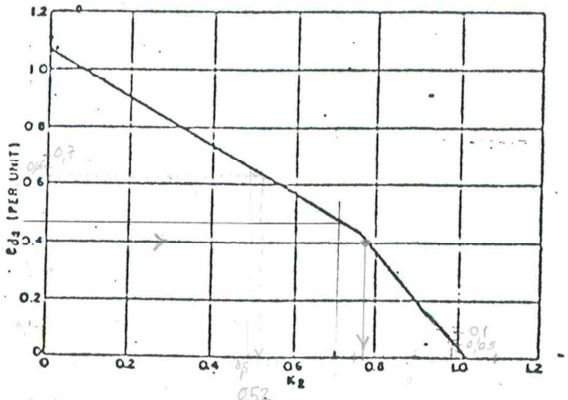


Fig. 6. Sustained fault current factor vs rectifier terminal voltage (156H411)

4. Assume a value for the rectifier terminal voltage in per unit (e_{da}) under the faulted condition. From Fig. 6, obtain a value for the sustained fault current factor (K_2).

5. Using the value of z_c from Step 1 and K_2 from Step 4, calculate the value of I_{da} in amperes.

   $I_{da} = (K_2/z_c) \times I_D$ amperes.

6. The equivalent rectifier resistance for use in the equivalent circuit is calculated as:

   $R_R = \dfrac{E_D}{I_{da}}$ ohms.

7. Calculate equivalent inductance for the rectifier by the expression:

   $L_R = \dfrac{E_D}{360 \times I_{ds}}$ henries (for $f = 60$)

   where I_{ds} = rectifier sustained short-circuit current for a terminal bolted fault, (rectifier terminal voltage of zero), or $I_{ds} = (1.02/z_c) \times I_D$. This is the value of inductance to use in the equivalent circuit to represent the rectifier.

8. Draw the equivalent circuit and calculate the sustained value of fault current and the rate of rise of the fault current. Sustained fault current = $\dfrac{E_D}{R_R + R_D} = I_{dc}$ amperes

   Rate of rise of current = $\dfrac{E_D}{I_R + L_D} = RR_{dc}$ amperes per second.

Projeto Básico - Relatório Técnico (RT.4/EX.99/00.010) (55933481) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 925

9. Calculate the rectifier terminal voltage as:

$$E_{dc} = E_D - I_{dc} \times R_R.$$

10. If the E_{da} ($E_{da} = e_{da} \times E_D$) assumed in Step 4 is within 10 percent of the value calculated for E_{dc} in Step 10, the solution is satisfactory. If the error is too great, repeat the procedure assuming a new value for e_{da}.

11. When a satisfactory solution for the sustained fault current has been obtained, calculate the peak fault current as:

Peak current (amperes) = I_{dc} (amp) x K_1 = I_{dp}
Where the peak fault current factor, K_1 was obtained from Fig. 4 using the ratios calculated in Step 3.

12. Using the rate of rise and sustained fault current from Step 8 and the peak current from Step 11, plot a curve of current vs time.

Examples of Use of Calculating Procedure

A. Calculate current-time curve for fault at rectifier terminals. The step numbers used below correspond to the steps in the step-by-step procedure.

1. Given: 500 kw, double-wye rectifier on 60-cycle AC system

Rated DC voltage (E_D) = 250 volts
Rated DC amperes (I_D) = 2000 amps
AC inipedance (z_c) = .076 per unit and using the formula on page 7 , for the conversion of z_c to Z_C,

$$Z_C = .076 \times 2.3 \times \frac{250}{2000} = .022 \text{ ohms}$$

AC reactance (X_C) = .0217 ohms
AC resistance (R_C) = .0036 ohms
DC resistance and inductance are zero.

2. Converting the DC system inductance to an equivalent reactance gives:

$$L_D = X_D = 0.$$

3. This is a double-wye rectifier, therefore

$$K_3 = \frac{2X_D}{X_C} = \frac{2 \times 0}{.0217} = 0$$

$$\text{and } K_4 = \frac{R_C + 2R_D}{X_C} = \frac{.0036 + 2 \times 0}{.0217} = 0.166.$$

4. For the terminal fault, the rectifier terminal voltage is zero.
From Fig. 6, $K_2 = 1.02$.

5. With $K_2 = 1.02$ and $z_c = .076$: $I_{da} = \frac{1.02}{.076} \times 2000 = 26{,}900$ amperes.

6. Rectifier equivalent resistance is then:

$$R_R = \frac{250 \text{ volts}}{26900 \text{ amps}} = .0093 \text{ ohms.}$$

7. To calculate L_R, the value of I_{ds} must first be calculated. In this case, a terminal fault, $I_{ds} = I_{da} = 26900$ amperes (from Step 5).

Then,

$$L_R = \frac{250}{360 \times 26900} = 25.8 \times 10^{-6} \text{ henries}$$

(for $f = 60$).

8. Sustained fault current (I_{dc}) = $\frac{250}{.0093 + 0}$ = 26900 amperes

Rate of rise of fault current (RR_{dc}) =

$$\frac{250}{25.8 \times 10^{-6} + 0} = 9.7 \times 10^6 \text{ amperes per second.}$$

9. The rectifier terminal voltage is now calculated as:
$E_{dc} = 250 - (26900 \times .0093) = 250 - 250 = 0.$

10. E_{dc} and E_{da} are both zero and solution is satisfactory.

11. From Fig. 4, $K_1 = 1.62$ for $K_4 = .0.166$ (Step 3) and $K_3 = 0$.
$I_{dp} = 1.62 \times 26900 = 43600$ amperes.

12. The current-time curve is as plotted in Fig. 7.

B. Calculate the current-time curve for a fault in the DC system for the same rectifier as used in Example A.

Projeto Básico - Relatório Técnico (RT.4/EX.99/00.010) (55933481) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 926

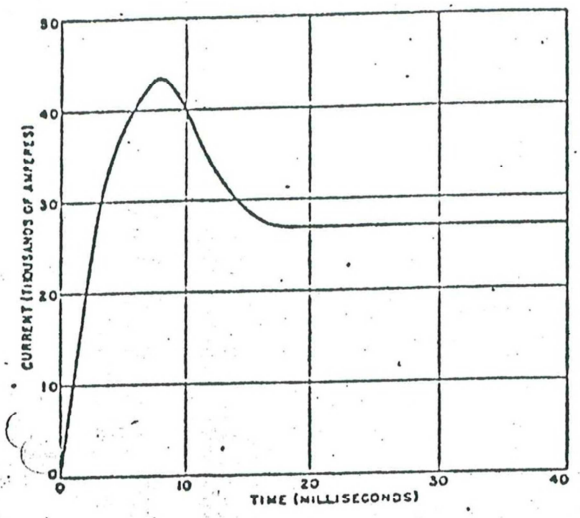


Fig. 7. Current-time curve of rectifier short-circuit current for terminal fault (Example A) (158H412)

1. Given: 500 kw, double-wye rectifier, 250 volts, 2000 amperes, on 60-cycle AC system
   $z_C = .076$
   $Z_C = .022$ ohms
   $X_C = .0217$ ohms
   $R_C = .0036$ ohms
   $L_D = 10 \times 10^{-6}$ henries
   $R_D = .001$ ohms.

2. Converting DC system inductance to an equivalent reactance:

   $$X_D = 377 \times 10 \times 10^{-6} = 0.00377 \text{ ohms.}$$

3. $$K_3 = \frac{2X_D}{X_C} = \frac{2 \times 0.00377}{.0217} = 0.35$$

   $$K_4 = \frac{R_C + 2R_D}{X_C} = \frac{.0036 + 2 \times .001}{.0217} = 0.26.$$

4. Assume that $e_{da} = .2$
   From Fig. 6, $K_2 = 0.9$

5. With $K_2 = 0.9$ and $z_c = .076$: $I_{da} = \frac{0.9}{.076} \times 2000 =$ 23650 amperes.

6. Rectifier equivalent resistance is now,

   $$R_R = \frac{250 \text{ volts}}{23650 \text{ amps}} = .01055 \text{ ohms.}$$

7. Rectifier equivalent inductance is unchanged:

   $L_R = 25.8 \times 10^{-6}$ henries (from Example A).

8. Sustained fault current = $I_{dc} = \frac{250}{.01055 + .001}$

   = 21650 amps

   Rate of rise = $RR_{dc} = \frac{250}{25.8 \times 10^{-6} + 100 \times 10^{-6}} =$ 1.99×10^6 amperes per second.

9. The rectifier terminal voltage is calculated as:

   $E_{dc} = 250 - (21650 \times .01055) = 250 - 229 =$ 21 volts.

10. In Step 4, e_{da} was assumed = .2 per unit, or $E_{da} = 50$ volts
    The difference between E_{dc} and E_{da} is too great so the procedure from Step 4 to Step 10 must be repeated as follows:

    4a. Assume that $e_{da} = .1$

    From Fig. 6, $K_2 = 0.965$

    5a. $I_{da} = \frac{0.965}{.076} \times 2000 = 25400$ amps

    6a. $R_R = \frac{250 \text{ volts}}{25400 \text{ amps}} = .00985$ ohms

    7a. $L_R = 25.8 \times 10^{-6}$ henries

    8a. Sustained fault current = $I_{dc} = \frac{250}{.00985 + .001} = 23000$ amperes

    Rate of rise = $RR_{dc} = 1.99 \times 10^6$ amperes per second.

    9a. $E_{dc} = 250 - (23000 \times .00985) = 250 -$ 227 = 23 volts

    10a. In Step 4, $e_{da} = .1$

    $E_{da} = .1 \times 250v = 25$ volts

    The difference between the assumed terminal voltage, E_{da}, and the calculated value, E_{dc}, is now so slight that any further calculation is not necessary.

Projeto Básico - Relatório Técnico (RT.4/EX.99/00.010) (55933481) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 927

11. The rectifier peak current is then determined. From Fig. 4 for $K_3 = 0.35$ and $K_1' = 0.26$,
$K_1 = 1.4$

and $I_{dp} = 23000 \times 1.4 = 32200$ amperes.

12. The current-time curve for the current from the rectifier to the fault is drawn in Fig. 8 with

$RR_{dc} = 2 \times 10^{-6}$ amperes per second

$I_{dp} = 32200$ amperes

$I_{dc} = 23000$ amperes.

Typical Constants For 250-volt or 600-volt Rectifiers

The following ranges of values for rectifier and system constants may be used in those cases where it is impossible to obtain the actual values.

Rectifier Transformer -

Reactance = .055 - .08 per unit on transformer kva base
Resistance = .018 - .01 per unit on transformer kva base

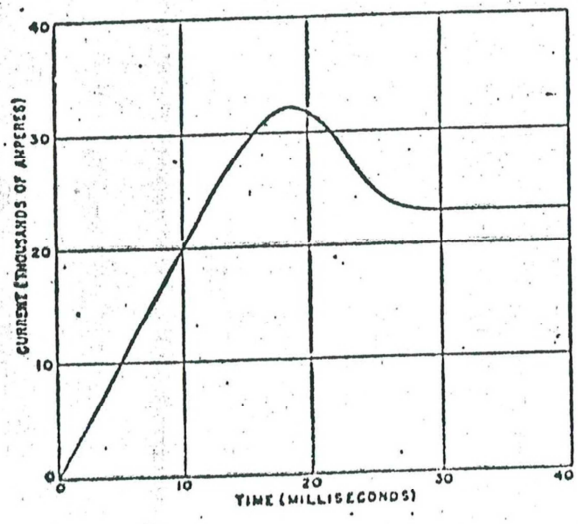


Fig. 8. Current-time curve of rectifier short-circuit current for fault in d-c system with appreciable inductance and resistance in the d-c system (Example 5) (15811-413)

System -

Reactance = .002 - .02 per unit on transformer kva base.

The lower values of transformer reactance and higher values of resistance apply to small units (approximately 500 kw) and the higher values of reactance and lower values of resistance apply to large units (approximately 5000 kw).

The system reactance is quite variable, but in general, the low values are for use with small rectifiers and the higher values for large units.

Conversion Formulas

Conversion of z_c to Z_C

$Z_C = z_c \times 2.3 \times \frac{E_D}{I_D}$ ohms (for double-wye rectifier circuits)

$Z_C = z_c \times 0.6 \times \frac{E_D}{I_D}$ ohms (for double-way rectifier circuits)

where

Z_C = ohms at rectifier transformer secondary voltage

z_c = per unit on rectifier transformer kva base

E_D = rated DC voltage

I_D = rated DC amps

These formulas can also be used to convert commutating reactance or resistance from a per unit value to an ohmic value.

Symbols

E_D = rectifier rated DC voltage (volts)

E_{dc} = rectifier DC voltage (volts) with sustained fault current flowing

I_D = rectifier rated DC current (amperes)

I_{da} = rectifier current (amperes) - preliminary value of sustained fault current calculated from an assumed rectifier terminal voltage.

I_{dc} = rectifier current (amperes) - final calculated value of sustained fault current

I_{ds} = rectifier current (amperes) for bolted fault

L_D = inductance (henries) of DC system from rectifier to fault, including the fault

Projeto Básico - Relatório Técnico (RT.4/EX.99/00.010) (55933481) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 928

R_D = resistance (ohms) of DC system from rectifier to fault, including the fault

R_C = commutating resistance (ohms) based on rectifier transformer secondary voltage, includes rectifier transformer and AC system

R_R = equivalent rectifier resistance (ohms), for use in equivalent circuit

X_C = commutating reactance (ohms) based on rectifier transformer secondary voltage, includes rectifier transformer and AC system

X_D = equivalent reactance (ohms) of DC system from rectifier to fault, including the fault

I_{dp} = peak rectifier fault current (amperes)

= peak fault current factor

K_2 = sustained fault current factor

= reactance constant for determining K_1

K_4 = resistance constant for determining K_1

Z_C = commutating impedance (ohms) based on rectifier transformer secondary voltage, includes rectifier transformer and AC system

z_c = commutating impedance in per unit on rectifier transformer kva base

E_{da} = assumed rectifier terminal voltage (volts) under fault condition

e_{da} = assumed rectifier terminal voltage in per unit of rated rectifier DC voltage

RR_{dc} = rate of rise of current I_{dc} (amperes per second)

METRÔ - DF	ENGEVIX	CODIFICAÇÃO ENGEVIX P00160/01-5X-RL-0013-0

SETOR	
ENDEREÇO	
PROPRIETÁRIO	METRÔ - DF
AUTOR DO PROJETO	VITO LABATE
RESPONSÁVEL TÉCNICO	

METRÔ - DF

VITO LABATE CREA N° 260563453-1

METRÔ - DF

SISTEMA	ENERGIA
SUBSISTEMA	ESTUDOS
LOCAL	GERAL
COMPONENTES /TIPO DE DOCUMENTO	RELATÓRIO TÉCNICO CONSOLIDADO ESTUDO DE FLUXO DE CARGAS
AREA DE CONST.	-
CODIFICAÇÃO	**RT.4/EX.99/00.013**
REVISÃO	**1**

VISTO	DATA
ELJ/RJF	10/03/14
APROVADO	DATA
OOP	19/05/14
ESCALA	ETAPA DO PROJ.
S/ESC.	Básico
N MICROFILME	FOLHA
	1/38

1	APROVADO CONFORME PARECER n° 069/14 – TDME – ENERGIA	19/05/14	ViLa	MHY	ITF	ELJ/RJF	OOP
0A	REVISADO CONFORME PARECER n° 038/14 – TDME – ENERGIA	14/04/14	ViLa/ JoWe	LPdA	JoWe	ELJ/RJF	OOP
0	EMISSÃO INICIAL	10/03/14	ViLa	RGCdA/ JoWe	JoWe	ELJ/RJF	OOP
N°	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROV.	DATA	APROV.
		CONTRATADA				**METRÔ - DF**	
R E V I S Õ E S							

METRÔ DF
RT.4/EX.99/00.013

ESTUDO DE FLUXO DE CARGAS

SISTEMA DE ENERGIA
PROJETO BÁSICO

SUMÁRIO

1 OBJETIVO 8
2 METODOLOGIA DE CÁLCULO 9
3 CONFIGURAÇÕES DOS SETORES DE ALIMENTAÇÃO DA REDE DE MÉDIA TENSÃO E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO 9
3.1 CONFIGURAÇÃO DO SETOR SAMAMBAIA 10
3.2 CONFIGURAÇÃO DO SETOR CEILÂNDIA 11
3.3 CONFIGURAÇÃO DO SETOR ASA NORTE 12
4 DADOS DE ENTRADA PARA OS CÁLCULOS 14
4.1 PARÂMETROS DOS CABOS DE MÉDIA TENSÃO 14
4.2 CARACTERÍSTICAS DOS CIRCUITOS DOS SETORES 16
4.2.1 SETOR CEILÂNDIA 16
4.2.2 SETOR SAMAMBAIA 17
4.2.3 SETOR ASA NORTE 18
4.3 CARGAS DE TRAÇÃO E DE SERVIÇOS AUXILIARES 18
4.3.1 TRAÇÃO 18
4.3.2 SERVIÇOS AUXILIARES 19
4.3.3 POTÊNCIA TOTAL APLICADA NO DIMENSIONAMENTO 20
4.4 TENSÕES NAS BARRAS DOS PEES 20
5 DIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS DE TRAÇÃO 21
5.1 IMPEDÂNCIAS 21
5.1.1 TRECHO CEILÂNDIA 21
5.1.2 TRECHO SAMAMBAIA 21
5.1.3 SETOR ASA NORTE 22
5.2 VERIFICAÇÃO DAS AMPACIDADES 22
5.2.1 SETOR SAMAMBAIA 22
5.2.2 SETOR CEILÂNDIA 23
5.2.3 SETOR ASA NORTE 23
5.3 TENSÕES MÍNIMAS NAS BARRAS 23
6 CONCLUSÃO 24
7 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES. 25
7.1 SETOR SAMAMBAIA ÍNTEGRO 25

7.2 ALIMENTADOR SAM – SR65 FORA DE OPERAÇÃO 26
7.3 ALIMENTADOR SAM - SR64 FORA DE OPERAÇÃO 27
7.4 SETOR SAMAMBAIA ALIMENTADO PELO CIRCUITO DE SOCORRO 28
7.5 SETOR CEILÂNDIA ÍNTEGRO 29
7.6 ALIMENTADOR CEI – SR16 FORA DE OPERAÇÃO 30
7.7 ALIMENTADOR CEI – SR15 FORA DE OPERAÇÃO 31
7.8 SETOR CEILÂNDIA ALIMENTADO PELO CIRCUITO DE SOCORRO 32
7.9 SETOR ASA NORTE ÍNTEGRO 33
7.10 ALIMENTADOR ANR – SR21 FORA DE OPERAÇÃO (RESULTADOS VÁLIDOS PARA QUALQUER UM DOS 2 ALIMENTADORES FORA DE OPERAÇÃO) 34
ANEXOS 35
ANEXO I - DIMENSIONAMENTO DE MÉDIA TENSÃO 36
ANEXO II - DADOS DA CEB 66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Setor Samambaia - Íntegro 10

Figura 3.2 - Setor Samambaia - Alimentação PEE/SAM – SR64 - Fora de Operação 10

Figura 3.3 - Setor Samambaia - Alimentação PEE/SAM – SR65 - Fora de Operação 10

Figura 3.4 - Setor Samambaia – Interligação com setor existente 11

Figura 3.5 - Setor Ceilândia - Integro 11

Figura 3.6 - Setor Ceilândia - Alimentação PEE/CEI – SR15 - Fora de Operação 11

Figura 3.7 - Setor Ceilândia - Alimentação PEE/CEI – SR16 - Fora de Operação 12

Figura 3.8 - Setor Ceilândia – Interligação com setor existente 12

Figura 3.9 - Setor Asa Norte - Integro 12

Figura 3.10 - Alimentação 1 – PEE/ANR – SR21 - Fora de Operação 13

Figura 3.11 - Alimentação 2 – PEE/ANR – SR21 - Fora de Operação 13

Figura 4.1 - Modos de Instalação 14

Figura 4.2 - Esquemático da instalação - Setor Ceilândia 16

Figura 4.3 - Esquemático da instalação – Setor Samambaia 17

Figura 7.1 - Diagrama de Barras – Setor Samambaia Íntegro 25

Figura 7.2 - Diagrama de Barras – Setor Samambaia SR 65 fora 26

Figura 7.3 - Diagrama de Barras – Setor Samambaia SR64 fora 27

Figura 7.4 - Diagrama de Barras – Setor Samambaia socorro pela SR62 28

Figura 7.5 - Diagrama de Barras – Setor Ceilândia Íntegro 29

Figura 7.6 - Diagrama de Barras – Setor Ceilândia SR16 fora 30

Figura 7.7 - Diagrama de Barras – Setor Ceilândia SR15 fora 31

Figura 7.8 - Diagrama de Barras – Setor Ceilândia socorro pela SR14 32

Figura 7.9 - Diagrama de Barras – Setor Asa Norte Íntegro 33

Figura 7.10 - Diagrama de Barras – Setor Asa Norte Degradado 34

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1- Impedâncias dos cabos em ohms/km para os tipos de instalação 14

Tabela 4.2 - Ampacidade dos cabos para os tipos de instalação 15

Tabela 4.3 - Comprimentos dos circuitos em função dos tipos de instalação – Trecho Ceilândia 16

Tabela 4.4 - Comprimentos dos circuitos em função dos tipos de instalação – Trecho Samambaia..... 17

Tabela 4.5 - Comprimentos dos circuitos em função dos tipos de instalação – Trecho Asa Norte 18

Tabela 4.6 - Carga dos circuitos de Tração..... 19

Tabela 4.7 - Carga dos circuitos de Auxiliares 19

Tabela 4.8 - Potências Totais aplicadas para dimensionamento 20

Tabela 4.9 – Tensões aplicadas nos PEEs..... 20

Tabela 5.1 - Impedâncias aplicadas para dimensionamento – Trecho Ceilândia 21

Tabela 5.2 - Impedâncias aplicadas para dimensionamento – Trecho Samambaia .. 21

Tabela 5.3 - Impedâncias aplicadas para dimensionamento – Trecho Asa Norte 22

Tabela 5.4 - Verificação das Ampacidades – Trecho Samambaia..... 22

Tabela 5.5 - Verificação das Ampacidades – Trecho Ceilândia..... 23

Tabela 5.6 - Verificação das Ampacidades – Trecho Asa Norte..... 23

1 OBJETIVO

O presente relatório tem por objetivo apresentar os resultados dos cálculos para o dimensionamento dos cabos dos circuitos dos novos setores da rede de distribuição em média tensão do Metrô-DF.

Os novos setores da Rede de Alimentação do Metrô-DF estão assim definidos:

- Setor Ceilândia;
- Setor Samambaia;
- Setor Asa Norte.

Esses setores são alimentados por Subestações da Concessionária local CEB de 138/13,8 kV da seguinte forma:

- Setor Ceilândia – SE CEB CEILÂNDIA NORTE;
- Setor Samambaia – SE CEB SAMAMBAIA OESTE;
- Setor Asa Norte – SE CEB ESTÁDIO NACIONAL.

Os alimentadores dos novos setores da Rede de Alimentação do Metrô-DF derivam dos barramentos de 13,8 kV das SEs CEB e entregam a energia para o metrô em Painéis de Entrada de Energia – PEEs, específicos de cada setor onde são feitas as Medições de Faturamento dos setores e caracterizam a fronteira das instalações da CEB e do Metrô-DF. Cada PEE, por padronização, é alimentado por dois circuitos de 13,8 kV oriundos das SEs CEB.

Em resumo:

- SE CEB CN alimenta o PEE/CEI, que distribui a energia para o Setor Ceilândia;
- SE CEB SO alimenta o PEE/SAM, que distribui a energia para o Setor Samambaia;
- SE CEB EN alimenta o PEE/ANR, que distribui a energia para o Setor Asa Norte.

Portanto, os estudos irão dimensionar os circuitos a partir das citadas fronteiras (PEEs) para a parte interna do Metrô. Os circuitos de alimentação dos PEEs são de responsabilidade da CEB.

Serão também dimensionados os cabos de interligação com rede existente do Metrô-DF para o caso de perda do PEE (Painel de Entrada de Energia) do Setor, quais sejam:

- Interligação de emergência entre a SR15 e a SR14 para socorro do Setor Ceilândia;
- Interligação de emergência entre a SR63 e a SR62 (antiga SR15) para socorro do Setor Samambaia.

No caso dos circuitos de interligação de setores não será considerada a possibilidade de alimentação dos setores existentes a partir dos novos setores.

Os diagramas das configurações dos setores são mostrados no item 3.

O Diagrama Unifilar Geral da Rede de Alimentação do Metrô-DF, documento DG.4/EE.99/00.101 apresenta uma visão geral da rede caracterizando os novos setores e os setores existentes.

2 METODOLOGIA DE CÁLCULO

Para as simulações dos vários casos de fluxo de potência na rede de média tensão será utilizado um programa desenvolvido com base em método iterativo de cálculo, que calcula as tensões nas barras (Subestações Retificadoras e Auxiliares) do setor, a partir da tensão de 1 p.u. na barra de origem da alimentação. Dependendo do caso simulado, essa barra pode ser a barra do PEE próprio do setor ou a barra da SR do setor existente de onde provem a alimentação de emergência. A partir das tensões nas barras são calculados os fluxos de potência ativa e reativa e as correntes correspondentes nos circuitos de interligação.

3 CONFIGURAÇÕES DOS SETORES DE ALIMENTAÇÃO DA REDE DE MÉDIA TENSÃO E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO.

Na condição normal de operação a alimentação é feita através dos 2 circuitos que derivam do PEE do Setor, numa configuração em anel. Em caso de perda de um dos circuitos da rede a alimentação passará a ser radial. Além disso, em caso de perda da barra do PEE, com exceção do Setor Asa Norte, o setor será alimentado através do circuito de interligação de setores, em configuração radial.

A rede alimenta as Subestações Retificadoras de Tração e, através de circuitos que derivam das suas barras de média tensão, às subestações de serviços auxiliares das estações.

Como critério de dimensionamento será considerado que a rede deverá ser dimensionada para atender não só à condição normal de operação, com o sistema íntegro alimentado através do PEE própria do setor, como também os casos de degradação considerados.

Os casos de degradação considerados são os seguintes:

- Perda de circuito que deriva do PEE do Setor (um de cada vez);
- Perda da barra do PEE do Setor e alimentação através do circuito de socorro (exceto para o Setor Asa Norte).

Não serão considerados casos de dupla degradação, ou seja, de perda simultânea de 2 elementos do setor. Isso significa que, em cada caso simulado, apenas um dos circuitos do setor estará fora de operação. Caso ocorra dupla degradação na operação (2 circuitos simultaneamente fora de operação) deverão ser impostas restrições operacionais ao tráfego dos trens.

Nos diagramas a seguir são mostradas as configurações dos setores correspondentes a cada caso simulado. Os disjuntores são representados como abertos, com o símbolo vazio, ou fechados, com o símbolo hachurado. A configuração de cada caso é determinada pela condição operacional dos disjuntores.

3.1 Configuração do Setor Samambaia

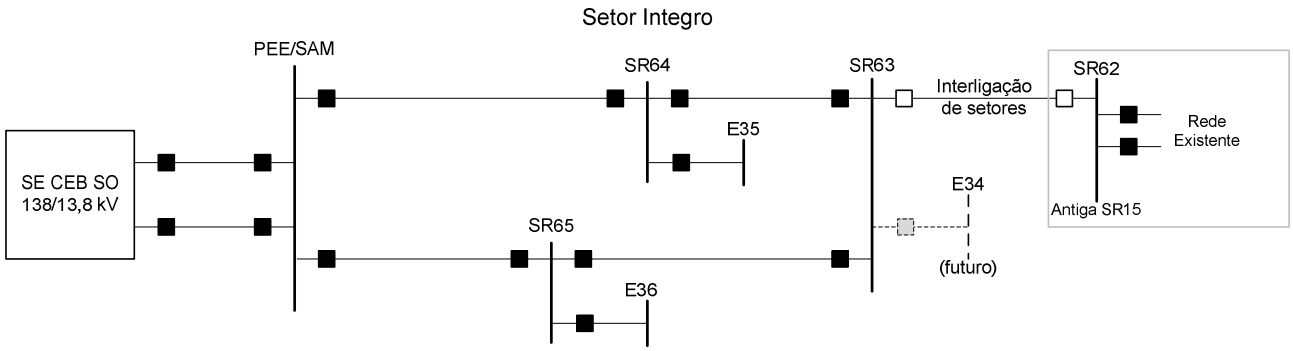


Figura 3.1 - Setor Samambaia - Íntegro

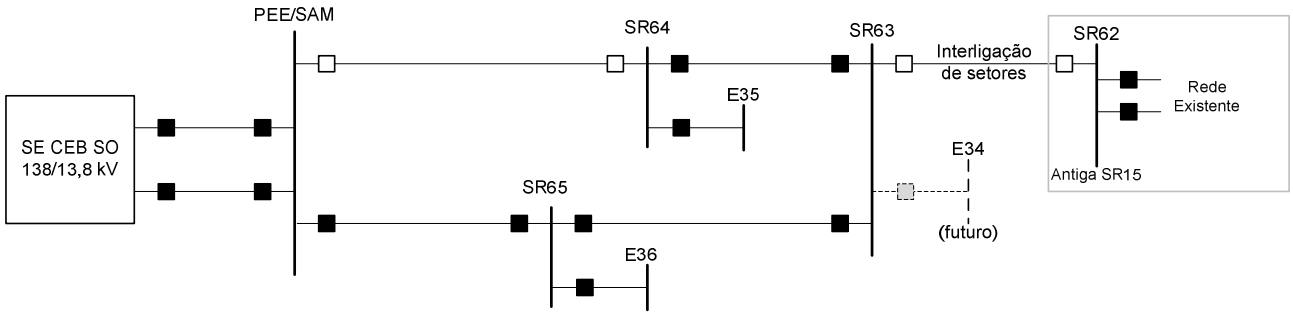


Figura 3.2 - Setor Samambaia - Alimentação PEE/SAM – SR64 - Fora de Operação

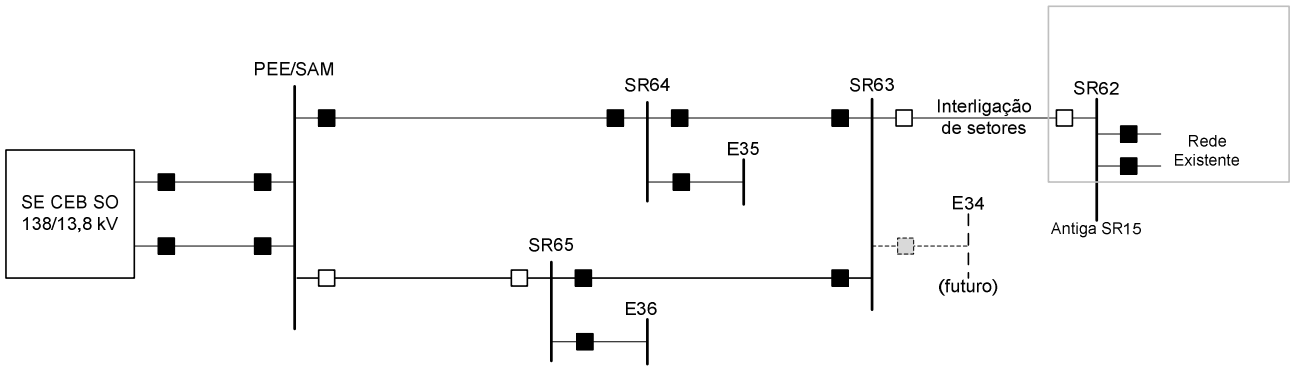


Figura 3.3 - Setor Samambaia - Alimentação PEE/SAM – SR65 - Fora de Operação

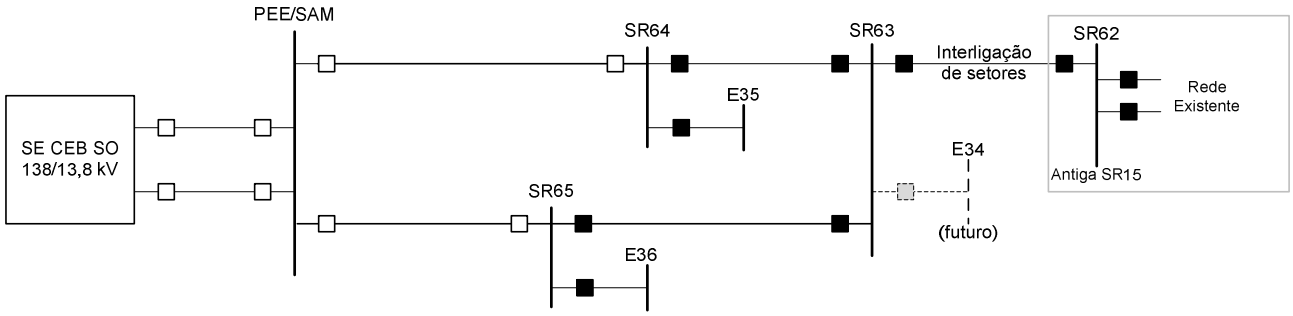


Figura 3.4 - Setor Samambaia – Interligação com setor existente

3.2 Configuração do Setor Ceilândia

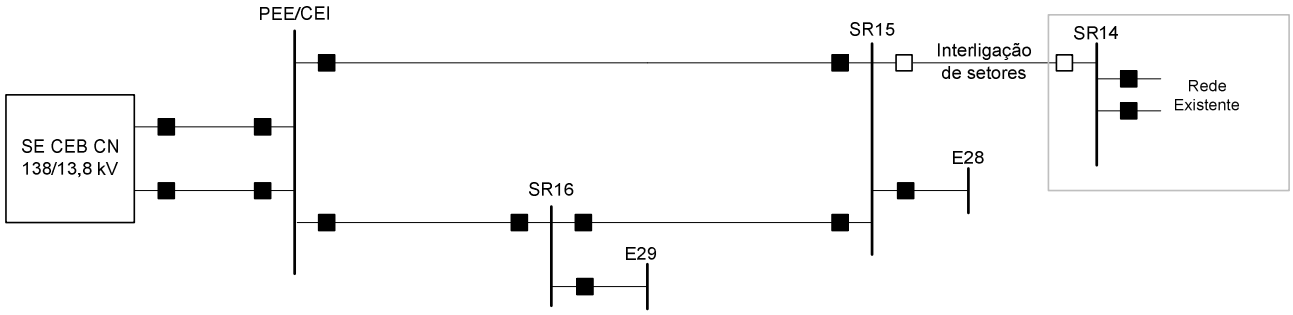


Figura 3.5 - Setor Ceilândia - Integro

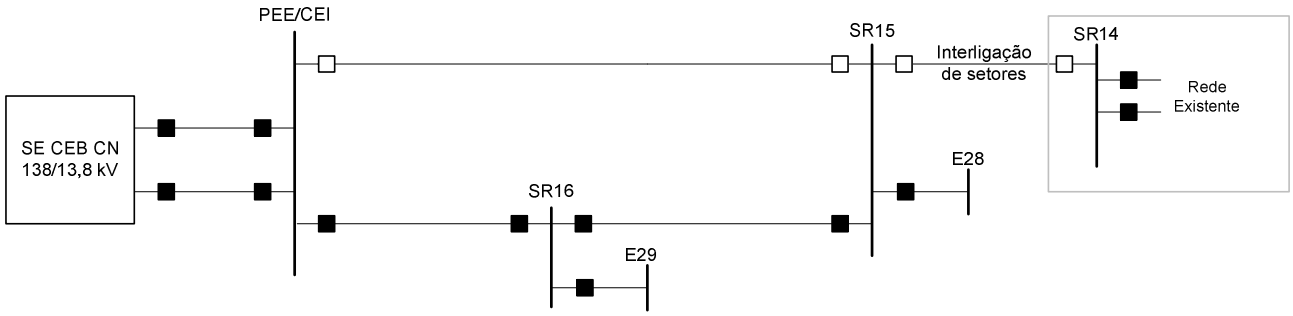


Figura 3.6 - Setor Ceilândia - Alimentação PEE/CEI – SR15 - Fora de Operação

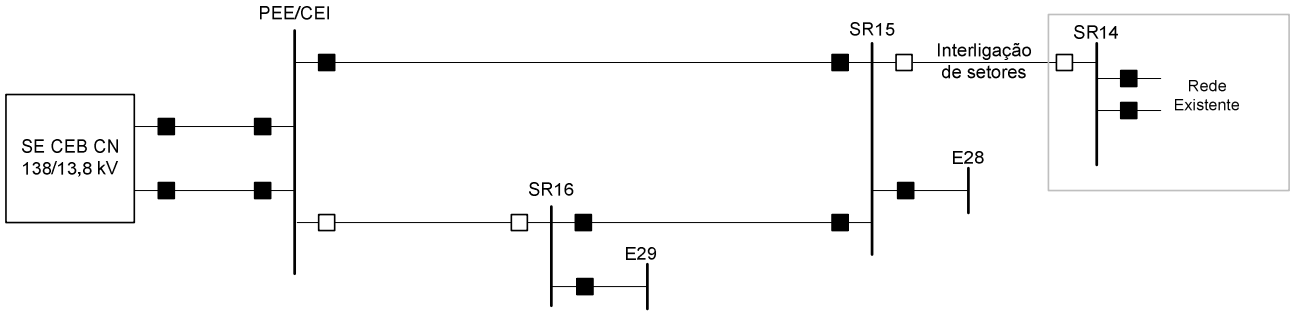


Figura 3.7 - Setor Ceilândia - Alimentação PEE/CEI – SR16 - Fora de Operação

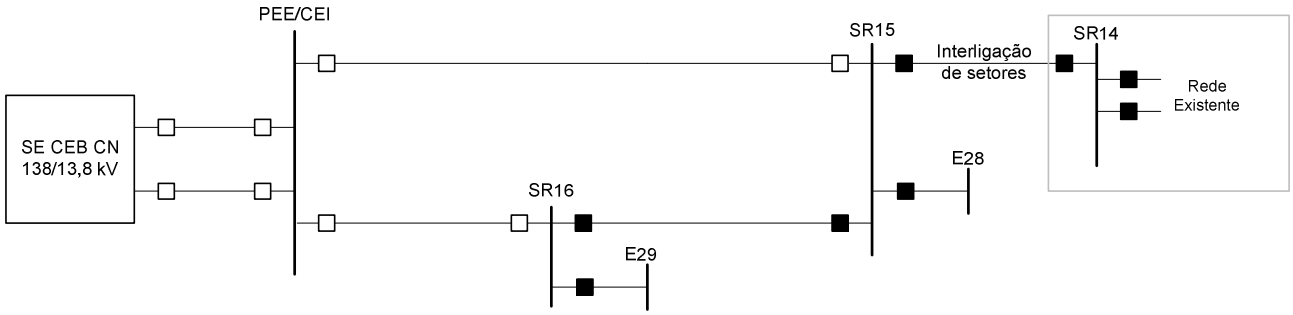


Figura 3.8 - Setor Ceilândia – Interligação com setor existente

3.3 Configuração do Setor Asa Norte

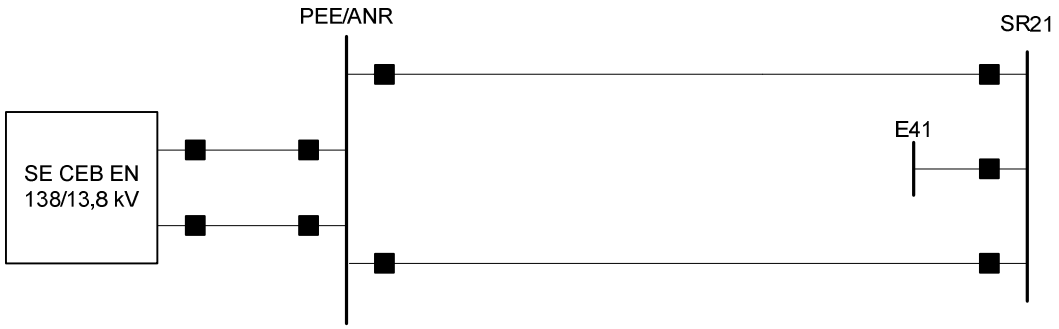


Figura 3.9 - Setor Asa Norte - Integro

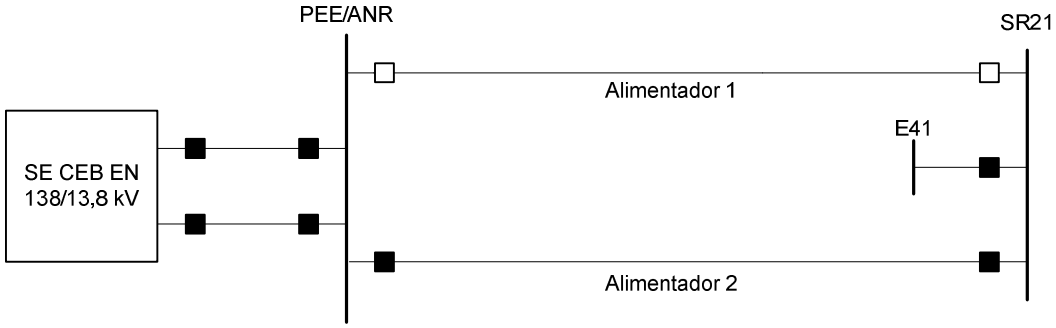


Figura 3.10 - Alimentação 1 – PEE/ANR – SR21 - Fora de Operação

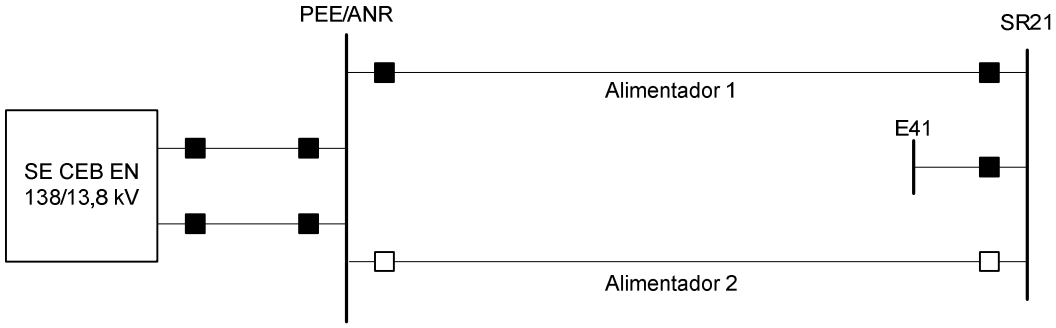


Figura 3.11 - Alimentação 2 – PEE/ANR – SR21 - Fora de Operação

4 DADOS DE ENTRADA PARA OS CÁLCULOS.

4.1 Parâmetros dos cabos de média tensão

Foram considerados cabos de 15 kV com isolação em EPR (temperatura máxima em regime de 90° C). A instalação pode ser em duto, perfilado ou trifólio.

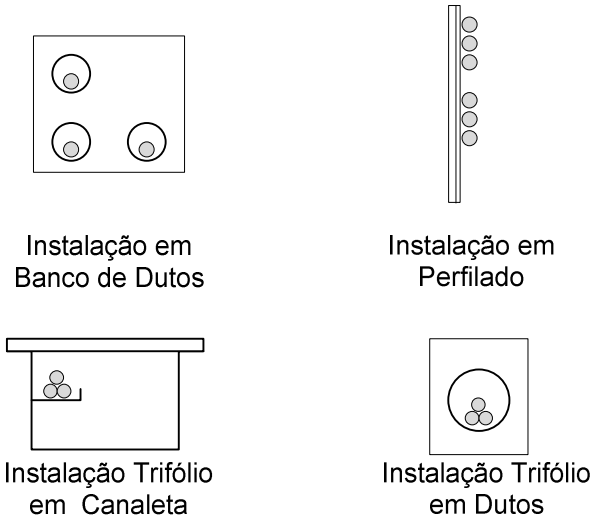


Figura 4.1 - Modos de Instalação

As resistências e reatâncias específicas para as bitolas dos cabos utilizados foram obtidas do catálogo da Prysmian para cabos Eprotenax, 8,7/15 kV (ver anexo 1 – página 22), e são indicadas na tabela abaixo.

Bitola (mm^2)	Impedâncias em ohms/km para os tipos de instalação		
	duto	perfilado	trifólio
120	0,211 + 0,286j	0,202 + 0,204j	0,198 +0,134j
240	0,111 + 0,258j	0,103 + 0,189j	0,1 + 0,12j
300	0,097 + 0,249J	0,087 + 0,186J	0,082 +0,117J

Tabela 4.1- Impedâncias dos cabos em ohms/km para os tipos de instalação

No caso de alimentadores com diferentes tipos de instalação, a impedância será a soma das impedâncias de cada trecho, iguais ao produto da impedância específica para o tipo de instalação pelo comprimento do trecho.

Para a verificação da capacidade dos circuitos serão consideradas as ampacidades da tabela abaixo para 1 cabo/fase, obtidas de catálogo do fabricante Prysmian, com a utilização de fator de agrupamento 0,9 e fator de temperatura 0,9.

Bitola (mm^2)	Ampacidade (A)			
	duto	perfilado	Trifólio (canal.)	Trifólio (duto)
120	195,2	380,7	273,8	169,3
240	284,3	584,0	412,3	245,5
300	319,1	667,4	465,8	275,4

Tabela 4.2 - Ampacidade dos cabos para os tipos de instalação

Para os alimentadores com mais de um tipo de instalação será considerada no dimensionamento do cabo a menor ampacidade dentre os tipos existentes.

A titulo de exemplo é apresentado a seguir a forma de cálculo da ampacidade dos circuitos de bitola 120 mm^2, para instalação em trifólio em canaleta.

A capacidade em A do cabo, obtida da tabela da Prysmiam (ver anexo 1 – páginas 11 e 12) para esse tipo de cabo em canaleta é 338 A. Aplicados os fatores de correção mencionados acima a essa capacidade resulta a ampacidade do circuito, como segue:

$$338 \times 0{,}9 \times 0{,}9 = 273{,}8\ A$$

4.2 Características dos Circuitos dos Setores

Nas figuras e tabelas a seguir são mostrados os circuitos de cada setor, os tipos de instalação e os respectivos comprimentos.

4.2.1 Setor Ceilândia

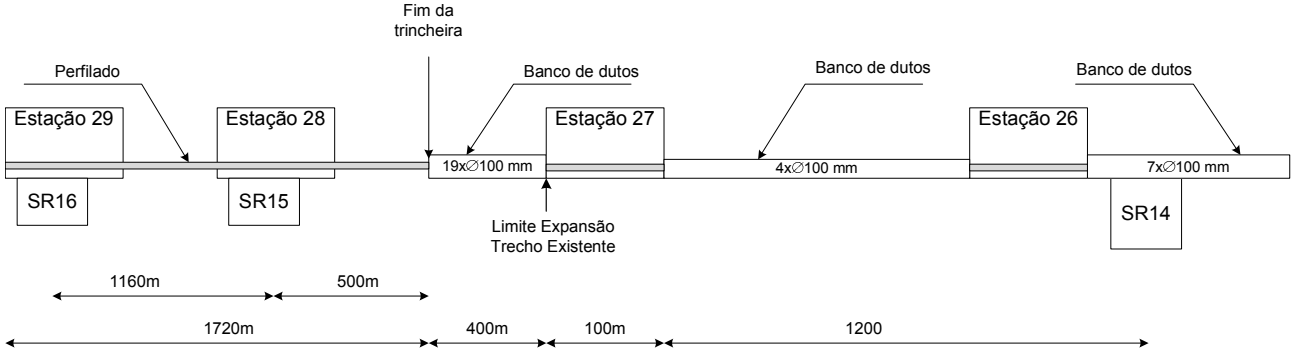


Figura 4.2 - Esquemático da instalação - Setor Ceilândia

De	Para	Distância Total (km)	Tipo de instalação e distância em km			
			duto	perfilado	Trifólio (canaleta)	Trifólio (duto)
PEE/CEI	SR16	0,080	x	0,080	x	
SR16	SR15	1,30	x	1,30	x	
PEE/CEI	SR15	1,30	x	1,30	x	
SR15	SR14	2,200	1,50	0,70	x	
SR16	E29	0,025	x		x	0,025
SR15	E28	0,025	x		x	0,025

Tabela 4.3 - Comprimentos dos circuitos em função dos tipos de instalação – Trecho Ceilândia

4.2.2 Setor Samambaia

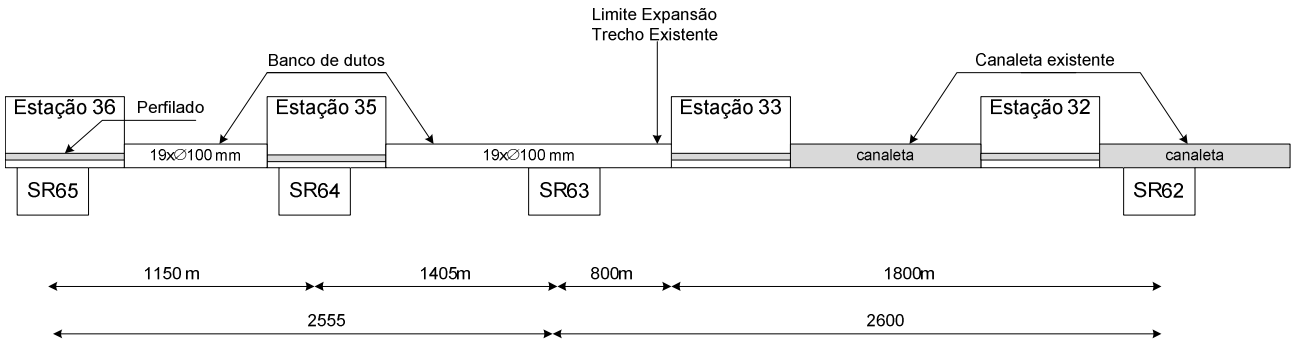


Figura 4.3 - Esquemático da instalação – Setor Samambaia

De	Para	Distância Total (km)	Tipo de instalação e distância em km			
			duto	perfilado	Trifólio (canaleta)	Trifólio (duto)
PEE/SAM	SR65	0,130	0,130	x	x	
SR65	SR63	2,555	2,405	0,150	x	
SR64	SR63	1,405	1,355	0,050	x	
PEE/SAM	SR64	1,290	1,150	0,140	x	
SR63	SR62	2,780	0,980	0,200	1,600	
SR64	E35	0,025	x	x		0,025
SR65	E36	0,025	x	x		0,025
SR63	E34	0,370	0,370	x	x	

Tabela 4.4 - Comprimentos dos circuitos em função dos tipos de instalação – Trecho Samambaia

4.2.3 Setor Asa Norte

De	Para	Distância Total (km)	Tipo de instalação e distância em km			
			duto	perfilado	Trifólio (canaleta)	Trifólio (duto)
PEE/ANR	SR21 (AL1)	0,150	x	0,150	x	
PEE/ANR	SR21 (AL2)	0,150	x	0,150	x	
SR21	E41	0,025	x	x		0,025

Tabela 4.5 - Comprimentos dos circuitos em função dos tipos de instalação – Trecho Asa Norte

4.3 Cargas de Tração e de Serviços Auxiliares

As seguintes potências foram consideradas nas simulações de fluxo de cargas:

4.3.1 Tração

Foram consideradas as potências obtidas das simulações elétricas para o caso íntegro constantes no relatório RT.4/EX.99/00.007. Essas potências correspondem aos valores em regime no horário de pico para o "*headway*" de 180 seg.

Foi aplicado um fator igual a 0,8 a esses resultados da simulação para levar em conta que os mesmos são conservativos. As principais razões para isso são:

- As simulações não levam em conta a regeneração, ou seja, a troca de potência entre trens em fase de aceleração e frenagem. Essa redução pode ser da ordem de 15% a 30% da potência requerida;

- Nas simulações é considerado que todos os trens estão com a sua carga total de passageiros. Na prática o peso médio dos trens é usualmente inferior a esse valor.

- Não são levados em conta os atrasos na circulação dos trens, que usualmente ocorrem durante a operação.

A partir desses valores reduzidos, com a adoção de um rendimento de 98% e de um fator de potência de 0,96 para os grupos retificadores, foram obtidos os valores de potência ativa e reativa indicados na tabela a seguir.

Subestação	Potências da Simulação (kW) (x 0,8) Fator de Multiplicação	Potência Ativa (kW) (x 0,98) Rendimento	Potência Reativa (kVAr) (x 0,96) Fator de Potência
SR16	1396	1424	415
SR15	1996	2036	594
SR65	1314	1341	391
SR64	1694	1729	504
SR63	2594	2646	772
SR21	3244	3310	965,5

Tabela 4.6 - Carga dos circuitos de Tração

4.3.2 Serviços Auxiliares

As potências das cargas foram calculadas a partir da potência instalada nas Subestações Auxiliares com a aplicação de um fator de diversidade de 0,6 sobre a potência nominal de um dos trafos, visto que os 2 trafos instalados são redundantes. Foi considerando um fator de potência de 0,8.

Subestação	Potência Instalada (kVA)	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)
E28	2x225	108	81
E29	2x225	108	81
E34 (futura)	2x225	108	81
E35	2x225	108	81
E36	2x225	108	81
E41	2x750	360	270

Tabela 4.7 - Carga dos circuitos de Auxiliares

4.3.3 Potência Total aplicada no dimensionamento

As Potências Totais aplicadas no dimensionamento são as requeridas nas barras das Subestações Retificadoras e correspondem ao somatório das potências das cargas de tração e auxiliares. Essas potências são representadas nas barras das SRs.

Subestação	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Ângulo de Fase (Graus)
SR16	1532	496	1610,29	17,94
SR15	2144	675	2247,75	17,48
SR65	1449	472	1523,94	18,04
SR64	1837	585	1927,90	17,66
SR63	2754	853	2883,08	17,21
SR21	3670	1235,5	3872,4	18,61

Tabela 4.8 - Potências Totais aplicadas para dimensionamento

4.4 Tensões nas Barras dos PEEs

Serão consideradas nas barras dos PEEs as tensões das barras de 13,8 kV da concessionária, que alimentam os 3 novos setores da rede de distribuição do Metrô. Essas tensões correspondem a 1 p.u em cada caso simulado, lembrando que não ocorre o paralelismo entre essas barras. As tensões em kV das barras foram informadas pela Concessionária CEB, ver anexo II.

Subestação	Tensão (kV)
PEE/ANR	13,4
PEE/CEI	13,8
PEE/SAM	13,9

Tabela 4.9 – Tensões aplicadas nos PEEs

Para a situação de alimentação de contingência foram consideradas as tensões de 13,7 kV nas barras das SRs 14 e 32 (antiga SR15).

Todas as tensões estão representadas também em pu, o que torna facilmente ajustável os valores em kV para tensões diferentes nas barras de referência e, consequentemente, a determinação das correntes eficazes.

5 DIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS DE TRAÇÃO

Inicialmente foram realizadas simulações de fluxo de potência preliminares considerando bitolas estimadas nos alimentadores. Com os resultados obtidos foram feitas as correções necessárias e realizadas novas simulações para obter os resultados finais. Em todos os casos resultou apenas 1 cabo/fase.

A tabela a seguir mostra as bitolas escolhidas para cada circuito com as respectivas impedâncias calculadas da forma descrita no item 4.1. Esses valores foram utilizados nos cálculos finais cujos resultados são apresentados no item 7.

5.1 Impedâncias

5.1.1 Trecho Ceilândia

De	Para	Bitola (mm^2)	Impedâncias (Ω)
PEE/CEI	SR16	120	0,0162 + 0,0163j
SR16	SR15	120	0,2545 + 0,2570j
PEE/CEI	SR15	120	0,2626 + 0,2652j
SR15	SR14	120	0,4579 + 0,5718j
SR16	E29	120	0,0049 + 0,0033j
SR15	E28	120	0,0049 + 0,0033j

Tabela 5.1 - Impedâncias aplicadas para dimensionamento – Trecho Ceilândia

5.1.2 Trecho Samambaia

De	Para	Bitola (mm^2)	Impedâncias (Ω)
PEE/SAM	SR65	240	0,0134 + 0,0246j
SR65	SR63	120	0,5377 + 0,7184j
SR64	SR63	120	0,2960 + 0,3977j
PEE/SAM	SR64	240	0,1421 + 0,3232j
SR63	SR62	300	0,2437 + 0,4684j
SR64	E35	120	0,0049 + 0,0033j
SR65	E36	120	0,0049 + 0,0033j
SR63	E34	120	0,0780 + 0,1058j

Tabela 5.2 - Impedâncias aplicadas para dimensionamento – Trecho Samambaia

5.1.3 Setor Asa Norte

De	Para	Bitola (mm^2)	Impedâncias (Ω)
PEE/ANR (AL1)	SR21	240	0,0154 + 0,0283j
PEE/ANR (AL2)	SR21	240	0,0154 + 0,0283j
SR21	E41	120	0,0049 + 0,0033j

Tabela 5.3 - Impedâncias aplicadas para dimensionamento – Trecho Asa Norte

5.2 Verificação das Ampacidades

Na tabela a seguir são apresentadas as maiores correntes eficazes em cada alimentador dentre os casos simulados para cada setor. Essas correntes são confrontadas com a ampacidade do alimentador, sempre considerando o pior caso quando o alimentador tem mais de um tipo de instalação. Na coluna da extremidade são apresentadas as porcentagens das correntes calculadas em relação à ampacidade.

Num único caso (alimentador SR65-SR63 do Setor Samambaia) a ampacidade do cabo é superada pela maior corrente. Considerando, contudo, que a capacidade é superada em apenas 7% e que a maior corrente ocorre em caso de sistema degradado, consideramos adequada a bitola escolhida.

5.2.1 Setor Samambaia

De	Para	Maior Corrente calculada (A)	Cabos/fase x bitola mm^2	Ampacidade (A)	% da Capacidade
PEE/SAM	SR65	264,9	1 x 240	284,3	93,2
SR65	SR63	201,5	1 x 120	195,2	103,2
SR64	SR63	185,3	1 x 120	195,2	94,9
PEE/SAM	SR64	266,8	1 x 240	284,3	93,8
SR63	SR62	268,5	1 x 300	319,4	84,1

Tabela 5.4 - Verificação das Ampacidades – Trecho Samambaia

5.2.2 Setor Ceilândia

De	Para	Maior Corrente calculada (A)	Cabos/fase x bitola mm^2	Ampacidade (A)	% da Capacidade
PEE/CEI	SR16	161,6	1 x 120	195,2	82,8
SR16	SR15	94,2	1 x 120	380,7	24,7
PEE/CEI	SR15	163,0	1 x 120	195,2	83,5
SR15	SR14	163,4	1 x 120	195,2	83,7

Tabela 5.5 - Verificação das Ampacidades – Trecho Ceilândia

5.2.3 Setor Asa Norte

De	Para	Maior Corrente calculada (A)	Cabos/fase x bitola mm^2	Ampacidade (A)	% da Capacidade
PEE/ANR	SR21	167,0	1 x 240	284,3	58,7
PEE/ANR	SR21	167,0	1 x 240	284,3	58,7

Tabela 5.6 - Verificação das Ampacidades – Trecho Asa Norte

Observação: como os 2 alimentadores que interligam o PEE/ANR e a SR21 são idênticos, foi feita uma única simulação de caso de degradação pela perda de alimentador.

5.3 Tensões mínimas nas barras

As mínimas tensões calculadas em cada setor são as seguintes:

- 0,976 p.u. no Setor Samambaia;
- 0,985 p.u. no Setor Ceilândia;
- 0,996 p.u. no Setor Asa Norte.

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados no item anterior, verifica-se que os cabos escolhidos são compatíveis com as correntes máximas calculadas através das simulações, com diferentes porcentagens de utilização, conforme mostrado na coluna “% da Capacidade”.

Apenas em um caso, do alimentador SR65-SR63 do Setor Samambaia, a ampacidade do cabo é superada ligeiramente pela maior corrente calculada para esse circuito. Ainda assim, conforme exposto acima esse resultado é considerado aceitável em função das condições conservativas do dimensionamento e por tratar-se de condição de sistema degradado. Ou seja, para uma situação como a verificada, uma superação de até 10% é plenamente aceitável no dimensionamento.

Com relação às quedas de tensão na rede, os valores resultantes, mostrados no item 5.3, são aceitáveis, visto que a maior queda calculada não supera 3%.

7 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.

7.1 Setor Samambaia Íntegro

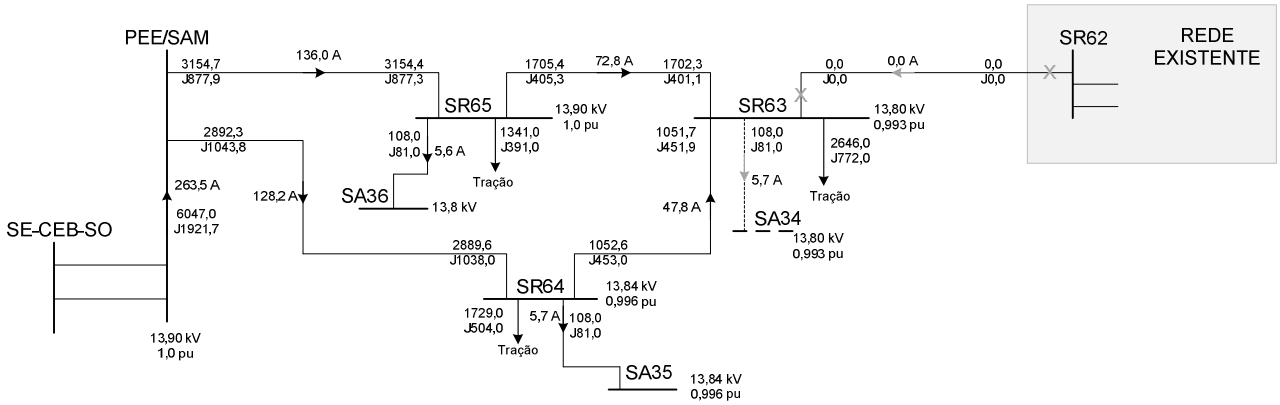


Figura 7.1 - Diagrama de Barras – Setor Samambaia Íntegro

Tensões nas barras em p.u.

Barra SAM : 1,000 p.u.
Barra SR65 : 1,000 p.u.
Barra SR64 : 0,996 p.u.
Barra SR63 : 0,993 p.u.
Barra E36 : 1,000 p.u.
Barra E35 : 0,996 p.u.
Barra E34 : 0,993 p.u.

Potências

Alimentador de SAM para SR65 : 3154,7 kW / 877,9 kVAr / 3274,6 kVA
Alimentador de SAM para SR64 : 2892,3 kW / 1043,8 kVAr / 3074,9 kVA
Alimentador de SR65 para SR63 : 1705,4 kW / 405,3 kVAr / 1752,9 kVA
Alimentador de SR64 para SR63 : 1052,6 kW / 453,0 kVAr / 1145,9 kVA
Alimentador de SR65 para E36 : 108 kW / 81 kVAr / 135 kVA
Alimentador de SR64 para E35 : 108 kW / 81 kVAr / 135 kVA
Alimentador de SR63 para E34 : 108 kW / 81 kVAr / 135 kVA

Correntes

Alimentador de SAM para SR65 : 136,0 A
Alimentador de SAM para SR64 : 128,2 A
Alimentador de SR65 para SR63 : 72,8 A
Alimentador de SR64 para SR63 : 47,8 A
Alimentador de SR65 para E36 : 5,6 A
Alimentador de SR64 para E35 : 5,7 A
Alimentador de SR63 para E34 : 5,7 A

7.2 Alimentador SAM – SR65 fora de operação

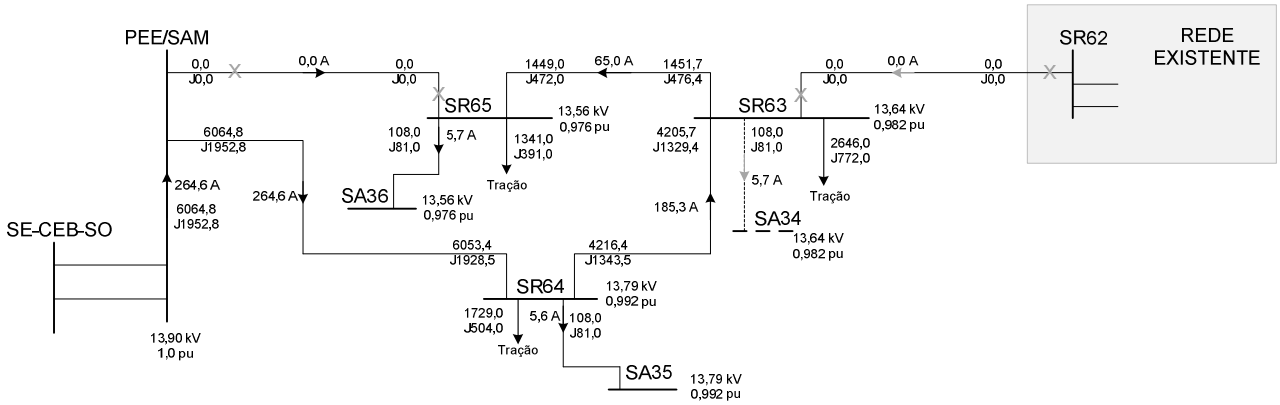


Figura 7.2 - Diagrama de Barras – Setor Samambaia SR 65 fora

Tensões nas barras em p.u.

Barra SAM :	1,000 p.u.
Barra SR65 :	0,976 p.u.
Barra SR64 :	0,992 p.u.
Barra SR63 :	0,982 p.u.
Barra E36 :	0,976 p.u.
Barra E35 :	0,992 p.u.
Barra E34 :	0,982 p.u.

Potências

Alimentador de SAM para SR64 :	6064,8 kW / 1952,8 kVAr / 6371,4 kVA
Alimentador de SR65 para SR63 :	-1451,7 kW / -476,4 kVAr / -1527,9 kVA
Alimentador de SR64 para SR63 :	4216,4 kW / 1343,5 kVAr / 4425,3 kVA
Alimentador de SR65 para E36 :	108 kW / 81 kVAr / 135 kVA
Alimentador de SR64 para E35 :	108 kW / 81 kVAr / 135 kVA
Alimentador de SR63 para E34 :	108 kW / 81 kVAr / 135 kVA

Correntes

Alimentador de SAM para SR64 :	264,6 A
Alimentador de SR65 para SR63 :	65,0 A
Alimentador de SR64 para SR63 :	185,3 A
Alimentador de SR65 para E36 :	5,7 A
Alimentador de SR64 para E35 :	5,6 A
Alimentador de SR63 para E34 :	5,7 A

7.3 Alimentador SAM - SR64 fora de operação

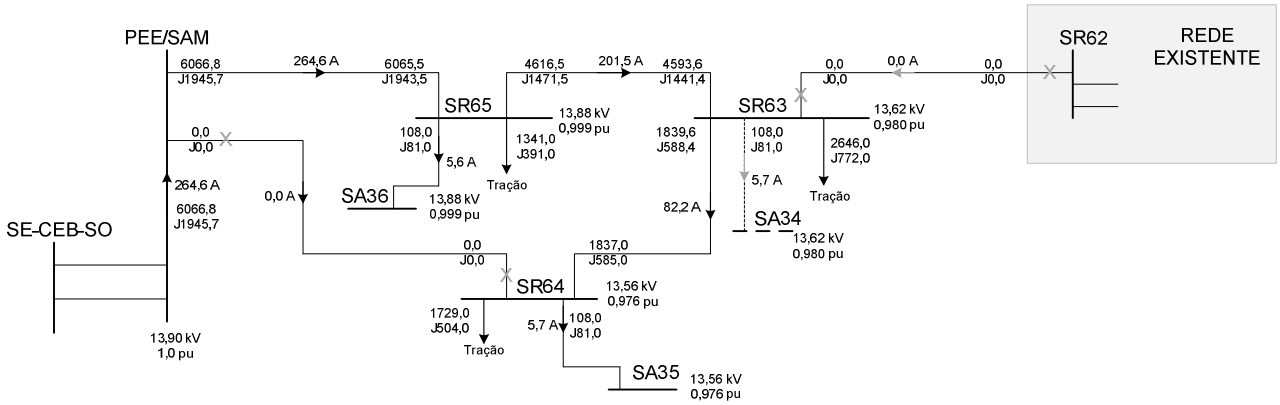


Figura 7.3 - Diagrama de Barras – Setor Samambaia SR64 fora

Tensões nas barras em p.u.

Barra SAM :	1,000 p.u.
Barra SR65 :	0,999 p.u.
Barra SR64 :	0,976 p.u.
Barra SR63 :	0,980 p.u.
Barra E36 :	0,999 p.u.
Barra E35 :	0,976 p.u.
Barra E34 :	0,980 p.u.

Potências

Alimentador de SAM para SR65 :	6066,8 kW / 1945,7 kVAr / 6371,2 kVA
Alimentador de SR65 para SR63 :	4616,5 kW / 1471,5 kVAr / 4845,3 kVA
Alimentador de SR64 para SR63 :	-1839,6 kW / -588,4 kVAr / -1931,4 kVA
Alimentador de SR65 para E36 :	108 kW / 81 kVAr / 135 kVA
Alimentador de SR64 para E35 :	108 kW / 81 kVAr / 135 kVA
Alimentador de SR63 para E34 :	108 kW / 81 kVAr / 135 kVA

Correntes

Alimentador de SAM para SR65 :	264,6 A
Alimentador de SR65 para SR63 :	201,5 A
Alimentador de SR64 para SR63 :	82,2 A
Alimentador de SR65 para E36 :	5,6 A
Alimentador de SR64 para E35 :	5,7 A
Alimentador de SR63 para E34 :	5,7 A

7.4 Setor Samambaia alimentado pelo circuito de socorro

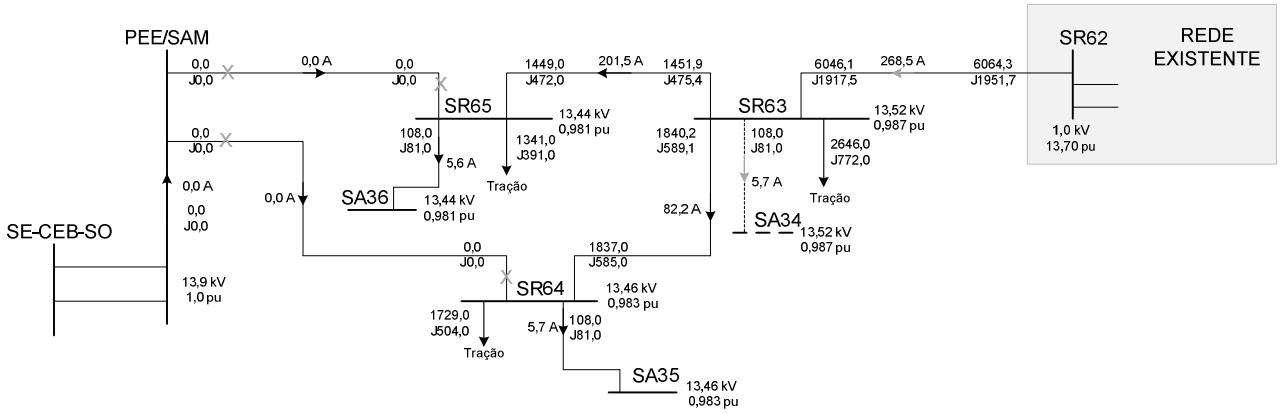


Figura 7.4 - Diagrama de Barras – Setor Samambaia socorro pela SR62

Tensões mínimas nas barras em p.u.

Barra SR62 :	1,000 p.u.
Barra SR65 :	0,981 p.u.
Barra SR64 :	0,983 p.u.
Barra SR63 :	0,987 p.u.
Barra E36 :	0,981 p.u.
Barra E35 :	0,983 p.u.
Barra E34 :	0,987 p.u.

Potências

Alimentador de SR62 para SR63 :	6064,3 kW / 1951,7 kVAr / 6370,6 kVA
Alimentador de SR65 para SR63 :	-1451,9 kW / -475,4 kVAr / -1527,7 kVA
Alimentador de SR64 para SR63 :	-1840,2 kW / -589,1 kVAr / -1932,2 kVA
Alimentador de SR65 para E36 :	108 kW / 81 kVAr / 135 kVA
Alimentador de SR64 para E35 :	108 kW / 81 kVAr / 135 kVA
Alimentador de SR63 para E34 :	108 kW / 81 kVAr / 135 kVA

Correntes

Alimentador de SR62 para SR63 :	268,5 A
Alimentador de SR65 para SR63 :	64,3 A
Alimentador de SR64 para SR63 :	81,3 A
Alimentador de SR65 para E36 :	5,7 A
Alimentador de SR64 para E35 :	5,7 A
Alimentador de SR63 para E34 :	5,7 A

7.5 Setor Ceilândia Íntegro

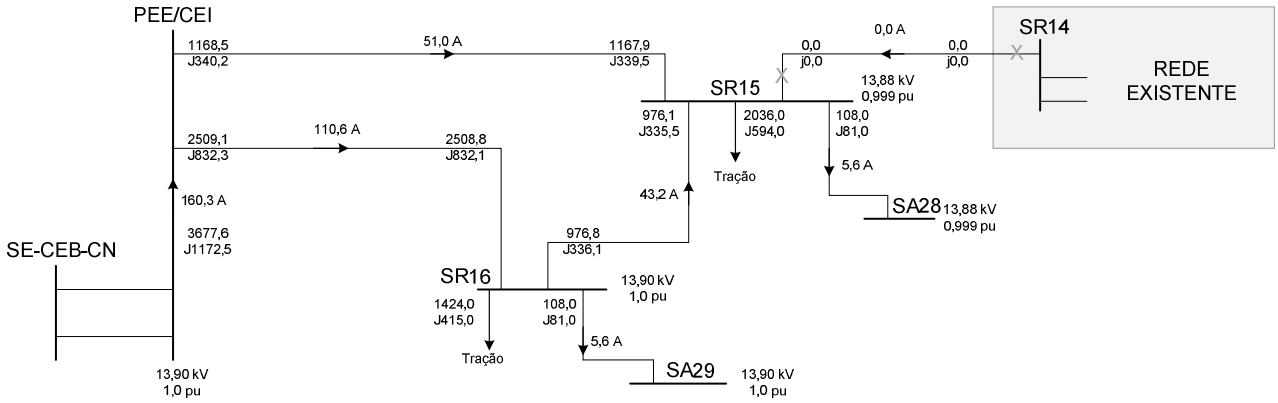


Figura 7.5 - Diagrama de Barras – Setor Ceilândia Íntegro

Tensões nas barras em p.u.

Barra CEI : 1,000 p.u.
Barra SR16 : 1,000 p.u.
Barra SR15 : 0,998 p.u.
Barra E29 : 1,000 p.u.
Barra E28 : 0,998 p.u.

Potências

Alimentador de CEI para SR16 : 2509,1 kW / 832,3 kVAr / 2643,5 kVA
Alimentador de CEI para SR15 : 1168,5 kW / 340,2 kVAr / 1217,0 kVA
Alimentador de SR16 para SR15 : 976,8 kW / 336,1 kVAr / 1033,0 kVA
Alimentador de SR16 para E29 : 108 kW / 81 kVAr / 135 kVA
Alimentador de SR15 para E28 : 108 kW / 81 kVAr / 135 kVA

Correntes

Alimentador de CEI para SR16 : 110,6 A
Alimentador de CEI para SR15 : 51,0 A
Alimentador de SR16 para SR15 : 43,2 A
Alimentador de SR16 para E29 : 5,6 A
Alimentador de SR15 para E28 : 5,6 A

7.6 Alimentador CEI – SR16 fora de operação

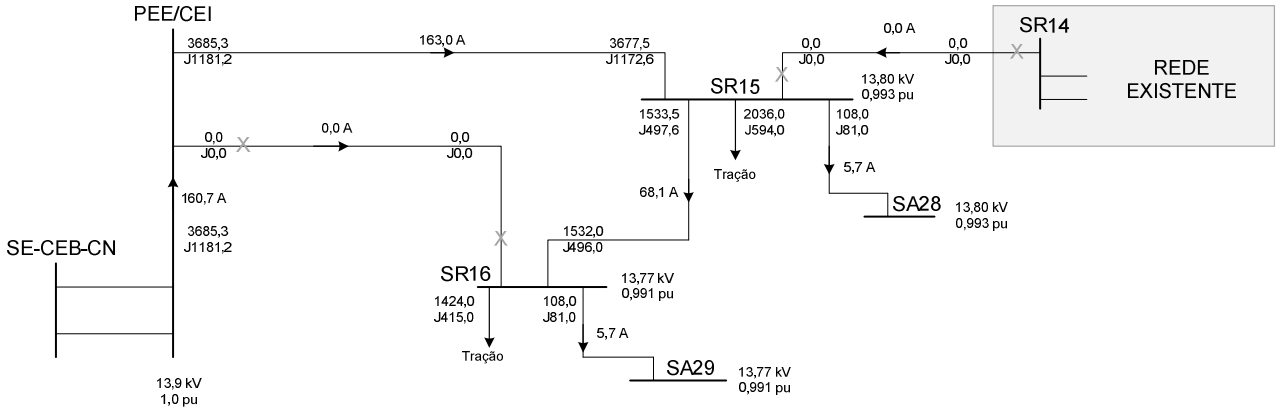


Figura 7.6 - Diagrama de Barras – Setor Ceilândia SR16 fora

Tensões nas barras em p.u.

Barra CEI : 1,000 p.u.
Barra SR16 : 0,991 p.u.
Barra SR15 : 0,993 p.u.
Barra E29 : 0,991 p.u.
Barra E28 : 0,993 p.u.

Potências

Alimentador de CEI para SR15 : 3685,3 kW / 1181,2 kVAr / 3870,0 kVA
Alimentador de SR16 para SR15 : -1533,5 kW / -497,6 kVAr / -1612,2 kVA
Alimentador de SR16 para E29 : 108 kW / 81 kVAr / 135 kVA
Alimentador de SR15 para E28 : 108 kW / 81 kVAr / 135 kVA

Correntes

Alimentador de CEI para SR15 : 163,0 A
Alimentador de SR16 para SR15 : 68,1 A
Alimentador de SR16 para E29 : 5,7 A
Alimentador de SR15 para E28 : 5,7 A

7.7 Alimentador CEI – SR15 fora de operação

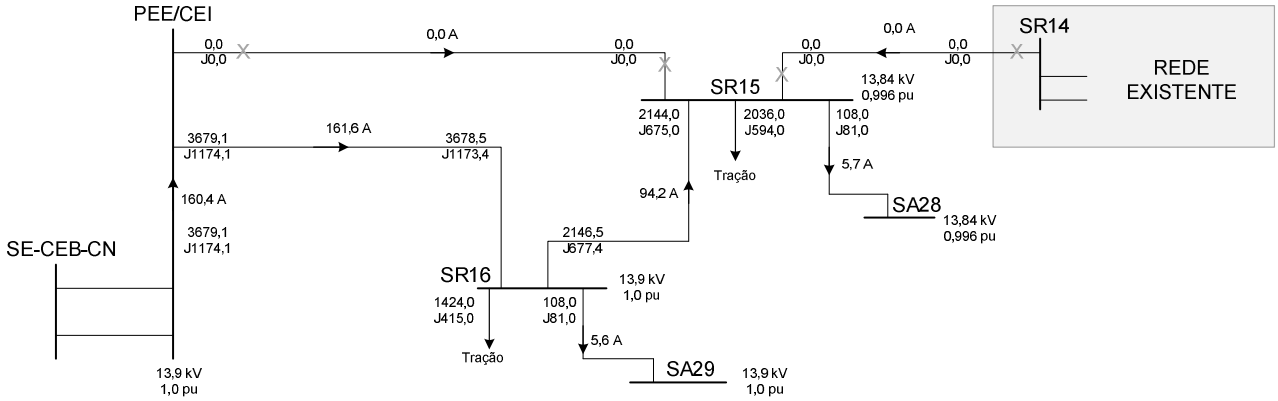


Figura 7.7 - Diagrama de Barras – Setor Ceilândia SR15 fora

Tensões nas barras em p.u.

Barra CEI : 1,000 p.u.
Barra SR16 : 1,000 p.u.
Barra SR15 : 0,996 p.u.
Barra E29 : 1,000 p.u.
Barra E28 : 0,996 p.u.

Potências

Alimentador de CEI para SR16 : 3679,1 kW / 1174,1 kVAr / 3861,9 kVA
Alimentador de SR16 para SR15 : 2146,5 kW / 677,4 kVAr / 2250,9 kVA
Alimentador de SR16 para E29 : 108 kW / 81 kVAr / 135 kVA
Alimentador de SR15 para E28 : 108 kW / 81 kVAr / 135 kVA

Correntes

Alimentador de CEI para SR16 : 161,6 A
Alimentador de SR16 para SR15 : 94,2 A
Alimentador de SR16 para E29 : 5,6 A
Alimentador de SR15 para E28 : 5,7 A

7.8 Setor Ceilândia alimentado pelo circuito de socorro

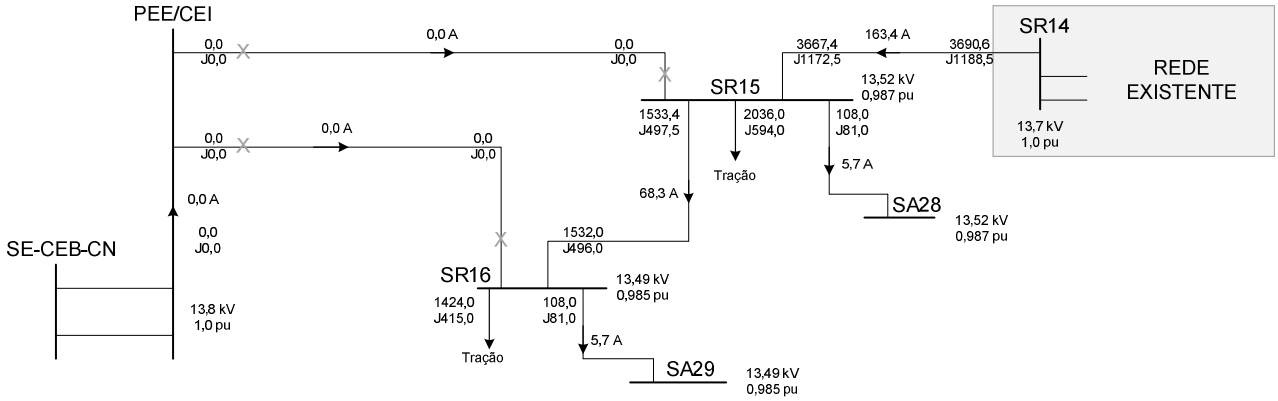


Figura 7.8 - Diagrama de Barras – Setor Ceilândia socorro pela SR14

Tensões nas barras em p.u.

Barra SR14 : 1,000 p.u.
Barra SR16 : 0,985 p.u.
Barra SR15 : 0,987 p.u.
Barra E29 : 0,985 p.u.
Barra E28 : 0,987 p.u.

Potências

Alimentador de SR14 para SR15 : 3690,6 kW / 1188,5 kVAr / 3877,2 kVA
Alimentador de SR16 para SR15 : -1533,4 kW / -497,5 kVAr / -1612,1 kVA
Alimentador de SR16 para E29 : 108 kW / 81 kVAr / 135 kVA
Alimentador de SR15 para E28 : 108 kW / 81 kVAr / 135 kVA

Correntes

Alimentador de SR14 para SR15 : 163,4 A
Alimentador de SR16 para SR15 : 68,3 A
Alimentador de SR16 para E29 : 5,7 A
Alimentador de SR15 para E28 : 5,7 A

7.9 Setor Asa Norte Íntegro

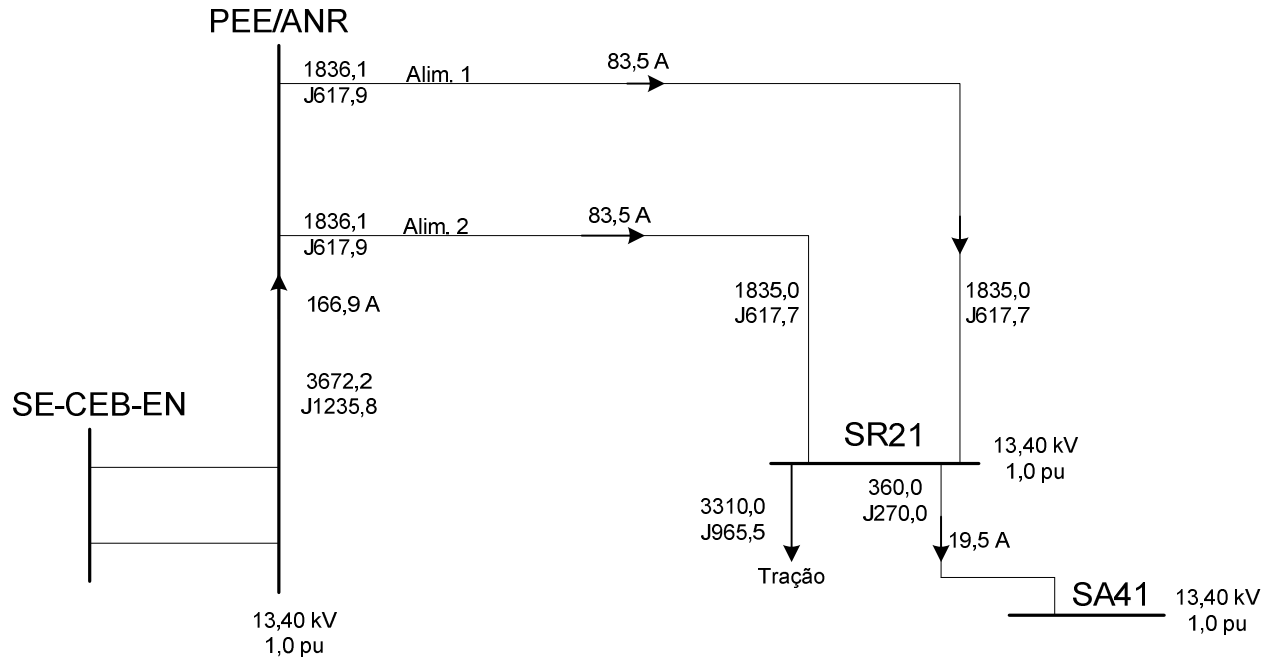


Figura 7.9 - Diagrama de Barras – Setor Asa Norte Íntegro

Tensões nas barras em p.u.

Barra PEE/ANR : 1,000 p.u.

Barra SR21 : 1,000 p.u.

Barra E41 : 1,000 p.u.

Potências

Alimentador de PEE/ANR para SR21 : 1836,1 kW / 617,9 kVAr / 1937,3 kVA

Alimentador de PEE/ANR para SR21 : 1836,1 kW / 617,9 kVAr / 1937,3 kVA

Alimentador de SR21 para E41 : 360 kW / 270 kVAr / 450 kVA

Correntes

Alimentador de PEE/ANR para SR21 : 83,5 A

Alimentador de PEE/ANR para SR21 : 83,5 A

Alimentador de SR21 para E41 : 19,4 A

7.10 Alimentador ANR – SR21 fora de operação (resultados válidos para qualquer um dos 2 alimentadores fora de operação)

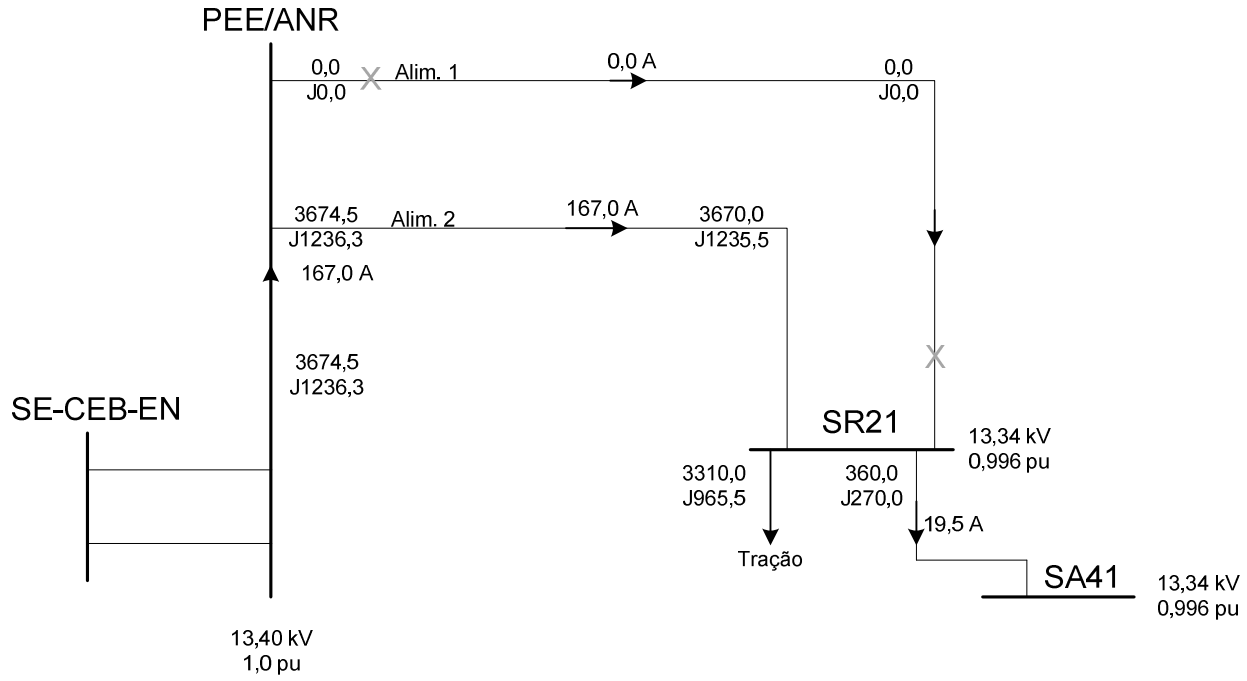


Figura 7.10 - Diagrama de Barras – Setor Asa Norte Degradado

Tensões nas barras em p.u.

Barra PEE/ANR : 1,000 p.u.

Barra SR21 : 0,996 p.u.

Barra E41 : 0,996 p.u.

Potências

Alimentador de PEE/ANR para SR21 : 3674,5 kW / 1236,3 kVAr / 3876,9 kVA

Alimentador de SR21 para E41 : 240 kW / 180 kVAr / 300 kVA

Correntes

Alimentador de PEE/ANR para SR21 : 167,0 A

Alimentador de SR21 para E41 : 19,5 A

ANEXOS

ANEXO I - DIMENSIONAMENTO DE MÉDIA TENSÃO

ANEXO II - DADOS DA CEB

METRÔ - DF	ENGEVIX	CODIFICAÇÃO ENGEVIX P00160/01-5X-RL-0014-0
SETOR		
ENDEREÇO	GERAL	
PROPRIETÁRIO	METRÔ - DF	
AUTOR DO PROJETO	VITO LABATE	
RESPONSÁVEL TÉCNICO		

METRÔ - DF

VITO LABATE CREA N° 260563453-1

METRÔ - DF

		SISTEMA ENERGIA
		SUB-SISTEMA REDE DE ALIMENTAÇÃO 13,8 kV
VISTO ELJ/RJF	DATA 17/07/14	LOCAL GERAL MODERNIZAÇÃO
APROVADO RMP	DATA 29/08/14	COMPONENTES /TIPO DE DOCUMENTO RELATÓRIO TÉCNICO CONSOLIDADO: ESTUDO DO FLUXO DE CARGAS AREA DE CONST. -
ESCALA **S/ESC.**	ETAPA DO PROJ. Básico	
N MICROFILME	FOLHA 1/102	CODIFICAÇÃO **RT.4/EX.99/00.014** REVISÃO **1**

1	APROVADO CONFORME PARECER Nº 484/14 – TEN	29/08/14	ViLa	MS	ITF	ELJ/RJF	RMP
0A	REVISADO CONF. PARECER Nº016/14 – TPSF - ENERGIA	11/08/14	ViLa	ECoA	ITF	ELJ/RJF	OOP
0	EMISSÃO INICIAL	17/07/14	ViLa / JoWe	ECoA	JoWe	ELJ/RJF	OOP
N°	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROV.	VERIF.	APROV.
		CONTRATADA				**METRÔ - DF**	
R E V I S Õ E S							

METRÔ DF
RT.4/EX.99/00.014

RELATÓRIO TÉCNICO CONSOLIDADO: ESTUDO DO FLUXO DE CARGAS

SISTEMA DE ENERGIA
PROJETO BÁSICO

SUMÁRIO

1 OBJETIVO 13

2 METODOLOGIA DE CÁLCULO 13

3 CONFIGURAÇÕES DOS SETORES DE ALIMENTAÇÃO DA REDE DE MÉDIA TENSÃO E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO 13

3.1 DIAGRAMAS DO ANEL CEILÂNDIA SUL – ÁGUAS CLARAS 14

3.2 DIAGRAMAS DO ANEL ÁGUAS CLARAS – PEE HÍPICA 19

3.3 DIAGRAMAS DO ANEL PEE HÍPICA – BRASÍLIA CENTRO 20

4 DADOS DE ENTRADA PARA OS CÁLCULOS 25

4.1 PARÂMETROS DOS CABOS DE MÉDIA TENSÃO 25

4.2 CARACTERÍSTICAS DOS CIRCUITOS DOS SETORES 26

4.2.1 ANEL BRASÍLIA CENTRO - PEE HÍPICA 27

4.2.2 ANEL CEILÂNDIA SUL – ÁGUAS CLARAS 27

4.2.3 ANEL ÁGUAS CLARAS – PEE HÍPICA 28

4.3 CARGAS DE TRAÇÃO E DE SERVIÇOS AUXILIARES 29

4.3.1 TRAÇÃO 29

4.3.2 SERVIÇOS AUXILIARES 30

4.3.3 ALIMENTADORES DE SOCORRO 31

4.3.4 SM E CENTRO DE ADMINISTRAÇÃO E OPERAÇÃO (CAO) 32

4.4 TENSÕES NAS BARRAS DAS SES E DOS PEES 32

5 DIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS DE TRAÇÃO 33

5.1 IMPEDÂNCIAS 33

5.1.1 ANEL SE CS / SE AC 33

5.1.2 ANEL PEE/HIP / SE BC 34

5.1.3 ANEL PEE/HIP / SE AC COM ALIMENTAÇÃO POR PEE/HIP 35

5.1.4 ANEL PEE/HIP / SE AC COM ALIMENTAÇÃO POR SE AC 35

5.2 VERIFICAÇÃO DAS CORRENTES 35

5.2.1 ANEL SE CS / SE AC 36

5.2.2 ANEL PEE/HIP / SE BC 38

5.2.3 ANEL PEE/HIP / SE AC 38

5.3 TENSÕES MÍNIMAS NAS BARRAS 39

5.3.1 ANEL SE CS / SE AC 39

5.3.2 ANEL PEE/HIP / SE BC 41
5.3.3 ANEL PEE/HIP / SE AC 42
6 CONCLUSÃO 43
6.1 ANEL SE CS / SE AC 43
6.1.1 SISTEMA ÍNTEGRO 43
6.1.2 ANEL SE CS / SE AC DEGRADADO 43
6.1.3 SOCORRO DE SAMAMBAIA 43
6.1.4 SOCORRO DE CEILÂNDIA 44
6.2 ANEL PEE/HIP / SE BC 44
6.2.1 SISTEMA ÍNTEGRO 44
6.2.2 SISTEMA DEGRADADO 44
6.3 ANEL PEE/HIP / SE AC 44
6.3.1 SISTEMA ÍNTEGRO 44
6.3.2 SISTEMA DEGRADADO 45
7 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES. 46
7.1 ANEL BRASÍLIA CENTRO – PEE/HIP 46
7.1.1 SISTEMA ÍNTEGRO 46
7.1.2 ALIMENTADOR BC – SR01 FORA DE OPERAÇÃO 47
7.1.3 ALIMENTADOR BC – SR02 FORA DE OPERAÇÃO 48
7.1.4 ALIMENTADOR HIP – SR03 FORA DE OPERAÇÃO 49
7.1.5 ALIMENTADOR HIP – SR04 FORA DE OPERAÇÃO 50
7.1.6 ALIMENTADOR SR02 – SR04 FORA DE OPERAÇÃO 51
7.1.7 ALIMENTADOR SR01 – SR03 FORA DE OPERAÇÃO 52
7.2 ANEL CEILÂNDIA SUL – ÁGUAS CLARAS 53
7.2.1 SISTEMA ÍNTEGRO 53
7.2.2 ALIMENTADOR CS – SR13 FORA DE OPERAÇÃO 55
7.2.3 ALIMENTADOR CS – SR12 FORA DE OPERAÇÃO 56
7.2.4 ALIMENTADOR AC – SR09 FORA DE OPERAÇÃO 58
7.2.5 ALIMENTADOR AC – SR61 FORA DE OPERAÇÃO 59
7.2.6 BARRA AC FORA DE OPERAÇÃO 61
7.2.7 ALIMENTADOR SR13 – SR11 FORA DE OPERAÇÃO 63
7.2.8 ALIMENTADOR SR12 – SR14 FORA DE OPERAÇÃO 64
7.2.9 ALIMENTADOR SR11 – SR62 FORA DE OPERAÇÃO 66
7.2.10 ALIMENTADOR SR14 – SR10 FORA DE OPERAÇÃO 67

7.2.11 ALIMENTADOR SR62 – SR09 FORA DE OPERAÇÃO 69
7.2.12 ALIMENTADOR SR10– SR61 FORA DE OPERAÇÃO 71
7.2.13 SOCORRO SAMAMBAIA 72
7.2.14 SOCORRO CEILÂNDIA 74
7.3 ANEL ÁGUAS CLARAS – PEE/HIP 76
7.3.1 ALIMENTAÇÃO ATRAVÉS DO PEE/HIP 76
7.3.2 ALIMENTAÇÃO ATRAVÉS DA SE AC 76
7.3.3 ALIMENTAÇÃO ATRAVÉS DE PEE/HIP COM SE AC FORA DE OPERAÇÃO 77
7.3.4 ALIMENTAÇÃO ATRAVÉS DE SE AC COM PEE/HIP FORA DE OPERAÇÃO 78
ANEXO 1 79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4-1 - Impedâncias dos cabos em ohms/km para os tipos de instalação 25

Tabela 4-2 - Ampacidade dos cabos para os tipos de instalação 26

Tabela 4-3 – Comprimentos dos circuitos em função dos tipos de instalação - Anel Brasília Centro – PEE Hípica 27

Tabela 4-4 – Comprimentos dos circuitos em função dos tipos de instalação - Anel Ceilândia Sul – Águas Claras 27

Tabela 4-5 – Comprimentos dos circuitos em função dos tipos de instalação - Anel Águas Claras – PEE Hípica 28

Tabela 4-6 – Carga dos circuitos de Tração 30

Tabela 4-7 – Carga dos circuitos de Auxiliares 30

Tabela 4-8 – Tensões nas Barras 32

Tabela 5-1 - Impedâncias em p.u. aplicadas para dimensionamento – Anel SE CS/SE AC 33

Tabela 5-2 - Impedâncias em p.u. aplicadas para dimensionamento – Anel PEE/HIP / SE BC 34

Tabela 5-3 - Impedâncias em p.u. aplicadas para dimensionamento – Anel PEE/HIP / SE AC com alimentação por PEE/HIP 35

Tabela 5-4 - Impedâncias em p.u. aplicadas para dimensionamento – Anel PEE/HIP / SE AC com alimentação por SE AC 35

Tabela 5-5-1 - Verificação das correntes para o Anel SE CS / SE AC: Sistema Íntegro 36

Tabela 5-6-2 - Verificação das correntes para o Anel SE CS / SE AC: Sistema Degradado 36

Tabela 5-7-3 - Verificação das correntes para o Anel SE CS / SE AC: Socorro SAM 37

Tabela 5-8-4 - Verificação das correntes para o Anel SE CS / SE AC: Socorro CEI 37

Tabela 5-9-1 - Verificação das correntes para o Anel PEE/HIP / SE AC: Sistema Íntegro 38

Tabela 5-10-2 - Verificação das correntes para o Anel PEE/HIP / SE AC: Sistema Degradado 39

Tabela 7-1 – Resultados – SE BC – PEE/HIP - Íntegro 46

Tabela 7-2 – Tensões – SE BC – PEE/HIP - Íntegro 46

Tabela 7-3 – Resultados – SE BC – PEE/HIP – SE BC-SR01 fora 47

Tabela 7-4 – Tensões – SE BC – PEE/HIP – SE BC-SR01 fora 47

Tabela 7-5 – Resultados – SE BC – PEE/HIP – SE BC-SR02 fora 48

Tabela 7-6 – Tensões – SE BC – PEE/HIP – SE BC-SR02 fora 48

Tabela 7-7 – Resultados – SE BC – PEE/HIP – PEE/HIP-SR03 fora 49

Tabela 7-8 – Tensões – SE BC – PEE/HIP – PEE/HIP-SR03 fora 49

Tabela 7-9 – Resultados – SE BC – PEE/HIP – PEE/HIP-SR04 fora 50

Tabela 7-10 – Tensões – SE BC – PEE/HIP – PEE/HIP-SR04 fora 50

Tabela 7-11 – Resultados – SE BC – PEE/HIP – SR02-SR04 fora 51

Tabela 7-12 – Tensões – SE BC – PEE/HIP – SR02-SR04 fora 51

Tabela 7-13 – Resultados – SE BC – PEE/HIP – SR01-SR03 fora 52

Tabela 7-14 – Tensões – SE BC – PEE/HIP – SR01-SR03 fora 52

Tabela 7-15 – Resultados – SE CS – SE AC – Íntegro 53

Tabela 7-16 – Tensões – SE CS – SE AC – Íntegro 54

Tabela 7-17 – Resultados – SE CS – SE AC – SE CS-SR13 fora 55

Tabela 7-18 – Tensões – SE CS – SE AC – SE CS-SR13 fora 55

Tabela 7-19 – Resultados – SE CS – SE AC – SE CS-SR12 fora 56

Tabela 7-20 – Tensões – SE CS – SE AC – SE CS-SR12 fora 57

Tabela 7-21 – Resultados – SE CS – SE AC – SE AC-SR09 fora 58

Tabela 7-22 – Tensões – SE CS – SE AC – SE AC-SR09 fora 59

Tabela 7-23 – Resultados – SE CS – SE AC – SE AC-SR61 fora 59

Tabela 7-24 – Tensões – SE CS – SE AC – SE AC-SR61 fora 60

Tabela 7-25 – Resultados – SE CS – SE AC – Barra SE AC fora 61

Tabela 7-26 – Tensões – SE CS – SE AC – Barra SE AC fora 62

Tabela 7-27 – Resultados – SE CS – SE AC – SR13-SR11 fora 63

Tabela 7-28 – Tensões – SE CS – SE AC – SR13-SR11 fora 63

Tabela 7-29 – Resultados – SE CS – SE AC – SR12-SR14 fora 64

Tabela 7-30 – Tensões – SE CS – SE AC – SR12-SR14 fora 65

Tabela 7-31 – Resultados – SE CS – SE AC – SR11-SR62 fora 66

Tabela 7-32 – Tensões – SE CS – SE AC – SR11-SR62 fora 67

Tabela 7-33 – Resultados – SE CS – SE AC – SR14-SR10 fora 67

Tabela 7-34 – Tensões – SE CS – SE AC – SR14-SR10 fora 68

Tabela 7-35 – Resultados – SE CS – SE AC – SR62-SR09 fora 69

Tabela 7-36 – Tensões – SE CS – SE AC – SR62-SR09 fora 70

Tabela 7-37 – Resultados – SE CS – SE AC – SR10-SR61 fora 71

Tabela 7-38 – Tensões – SE CS – SE AC – SR10-SR61 fora 71

Tabela 7-39 – Resultados – SE CS – SE AC – Socorro Samambaia..... 72

Tabela 7-40 – Tensões – SE CS – SE AC – Socorro Samambaia 73

Tabela 7-41 – Resultados – SE CS – SE AC – Socorro Ceilândia..... 74

Tabela 7-42 – Tensões – SE CS – SE AC – Socorro Ceilândia 75

Tabela 7-43 – Resultados – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através do PEE/HIP 76

Tabela 7-44 – Tensões – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através do PEE/HIP 76

Tabela 7-45 – Resultados – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através da SE AC 76

Tabela 7-46 – Tensões – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através da SE AC..... 77

Tabela 7-47 – Resultados – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através do PEE/HIP com SE AC fora de operação 77

Tabela 7-48 – Tensões – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através do PEE/HIP com SE AC fora de operação 77

Tabela 7-49 – Resultados – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através da SE AC com PEE/HIP fora de operação 78

Tabela 7-50 – Tensões – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através da SE AC com PEE/HIP fora de operação 78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1 - Diagrama de Barras Geral – Trecho Existente Modernizado 13

Figura 3-2 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras..... 14

Figura 3-3 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Sistema Íntegro..... 14

Figura 3-4 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação CS – SR13 – Fora..... 15

Figura 3-5 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação CS – SR12 – Fora..... 15

Figura 3-6 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SR13 – SR11 – Fora..... 15

Figura 3-7 - Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SR11 – SR62 – Fora..... 16

Figura 3-8 - Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SR62 – SR9 – Fora..... 16

Figura 3-9 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SE AC – SR9 – Fora..... 16

Figura 3-10 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SE AC – SR61 – Fora..... 17

Figura 3-11 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SR61 – SR10 – Fora..... 17

Figura 3-12 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SR10 – SR14 – Fora..... 17

Figura 3-13 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SR14 – SR12 – Fora..... 18

Figura 3-14 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Barra Águas Claras fora..... 18

Figura 3-15 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação de Contingência do trecho em expansão Ceilândia..... 18

Figura 3-16 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação de Contingência do trecho em expansão Samambaia..... 19

Figura 3-17 – Diagrama de Barras – Anel Águas Claras – PEE Hípica 19

Figura 3-18 – Diagrama de Barras – Anel Águas Claras – PEE Hípica – Sistema Íntegro 19

Figura 3-19 – Diagrama de Barras – Anel Águas Claras – PEE Hípica – Barra Águas Claras fora..... 20

Figura 3-20 – Diagrama de Barras – Anel Águas Claras – PEE Hípica – Barra PEE/HIP fora 20

Figura 3-21 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica..... 20

Figura 3-22 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Sistema Íntegro..... 21

Figura 3-23 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Interligação SR2 – SE BC – Fora..... 21

Figura 3-24 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Interligação SR1 – SE BC – Fora..... 22

Figura 3-25 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Interligação SR2 – SR4 – Fora..... 22

Figura 3-26 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Interligação SR1 – SR3 – Fora..... 23

Figura 3-27 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Interligação SR3 – PEE/HIP – Fora..... 23

Figura 3-28 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Interligação SR4 – PEE/HIP – Fora..... 24

Figura 4-1 – Modos de Instalação 25

Figura Anexa - 1 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Sistema íntegro 80

Figura Anexa - 2 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Circuito SE BC – SR01 fora..... 81

Figura Anexa - 3 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Circuito SE BC – SR02 fora..... 82

Figura Anexa - 4 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Circuito PEE/HIP – SR03 fora..... 83

Figura Anexa - 5 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Circuito PEE/HIP – SR04 fora..... 84

Figura Anexa - 6 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Circuito SR03 – SR01 fora..... 85

Figura Anexa - 7 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Circuito SR04 – SR02 fora..... 86

Figura Anexa - 8 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Alimentação através do PEE/HIP com SE AC fora 87

Figura Anexa - 9 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Alimentação através do SE AC com PEE/HIP fora 88

Figura Anexa - 10 – Anel SE CS –SE AC – Sistema íntegro..... 89

Figura Anexa - 11 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SE CS – SR13 fora..... 90

Figura Anexa - 12 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SE CS – SR12 fora..... 91

Figura Anexa - 13 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SE AC – SR09 fora 92

Figura Anexa - 14 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SE AC – SR61 fora 93

Figura Anexa - 15 – Anel SE CS –SE AC – Alimentação por SE AC fora..... 94

Figura Anexa - 16 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SR13 – SR11 fora 95

Figura Anexa - 17 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SR12 – SR14 fora 96

Figura Anexa - 18 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SR14 – SR10 fora 97

Figura Anexa - 19 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SR62 – SR09 fora 98

Figura Anexa - 20 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SR10 – SR61 fora 99

Figura Anexa - 21 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SR11 – SR62 fora 100

Figura Anexa - 22 – Anel SE CS –SE AC – Interligação de contingência com o trecho em expansão Ceilândia..... 101

Figura Anexa - 23 – Anel SE CS –SE AC – Interligação de contingência com o trecho em expansão Samambaia..... 102

1 OBJETIVO

O presente relatório tem por objetivo apresentar os resultados dos cálculos para o dimensionamento dos cabos dos circuitos dos setores modernizados da rede de distribuição em média tensão do Metrô de Brasília.

Os setores modernizados da Rede de Alimentação do Metrô-DF estão assim definidos:

2 METODOLOGIA DE CÁLCULO

Para as simulações dos vários casos de fluxo de potência na rede de média tensão será utilizado um programa desenvolvido com base em método iterativo de cálculo, que calcula as tensões nas barras. A partir das tensões nas barras são calculados os fluxos de potência ativa e reativa e as correntes correspondentes nos circuitos de interligação. (Subestações Retificadoras e Auxiliares) do anel.

Nos anéis em que é previsto o paralelismo das barras das fontes de alimentação, foi considerada a tensão de 1 p.u. em ambas as barras. Essa é uma aproximação que é feita devido ao fato de não se levar em consideração as condições da rede interna da Concessionária.

3 CONFIGURAÇÕES DOS SETORES DE ALIMENTAÇÃO DA REDE DE MÉDIA TENSÃO E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO.

Na figura a seguir é mostrado o diagrama de barras geral do trecho existente modernizado, compreendendo os três anéis que serão estudados:

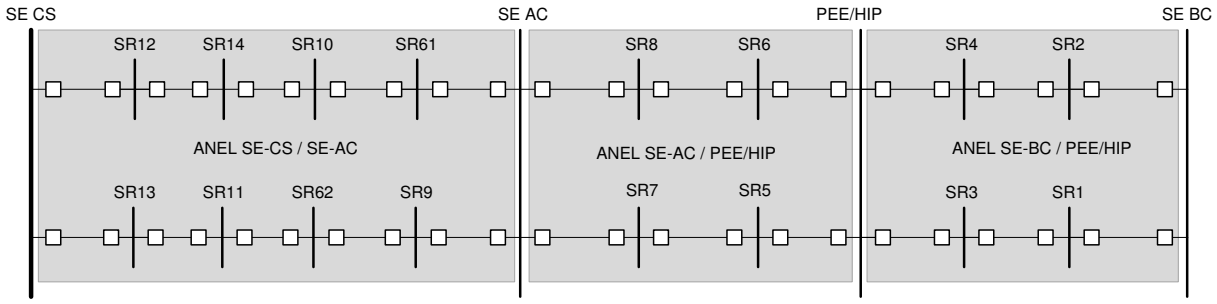


Figura 3-1 - Diagrama de Barras Geral – Trecho Existente Modernizado

Nos diagramas mostrados nas figuras dos itens seguintes são apresentadas as configurações correspondentes a cada um dos casos simulados.

Na condição normal de operação, no caso dos anéis SE CS / SE AC e SE BC / PEE/HIP, a alimentação é feita através das 2 subestações, numa configuração em anel. Em caso de perda de um dos circuitos da rede a alimentação passará a ser radial.

Já no caso do anel PEE/HIP / SE AC, a alimentação será sempre radial, visto que as tensões nominais nas barras das SEs que alimentam o anel são diferentes. Assim, em operação normal, a SE AC alimenta as SRs 8 e 7 e o PEE/HIP alimenta as SRs 5 e 6,

com os circuitos entre as SRs 6 e 8 e entre as SRs 5 e 7 normalmente abertos. Apenas em caso de perda de uma barra da CEB esses circuitos são fechados e a alimentação das SRs é sempre radial.

A rede alimenta as Subestações Retificadoras de Tração e, através de circuitos que derivam das suas barras de média tensão, às subestações de serviços auxiliares das estações.

Não serão considerados casos de dupla degradação, ou seja, de perda simultânea de 2 elementos do setor. Isso significa que, em cada caso simulado, apenas um dos circuitos do setor estará fora de operação.

Para os anéis com 2 fontes de alimentação, quais sejam SECS/SE AC e SE BC/PPE HIP, não foram simulados casos de perda de uma subestação completa, pois os resultados são os mesmos que ocorrem quando se perde individualmente os alimentadores que derivam das barras dessas subestações, visto que foi assumida a tensão de 1 p.u. em ambas as barras.

3.1 Diagramas do Anel Ceilândia Sul – Águas Claras

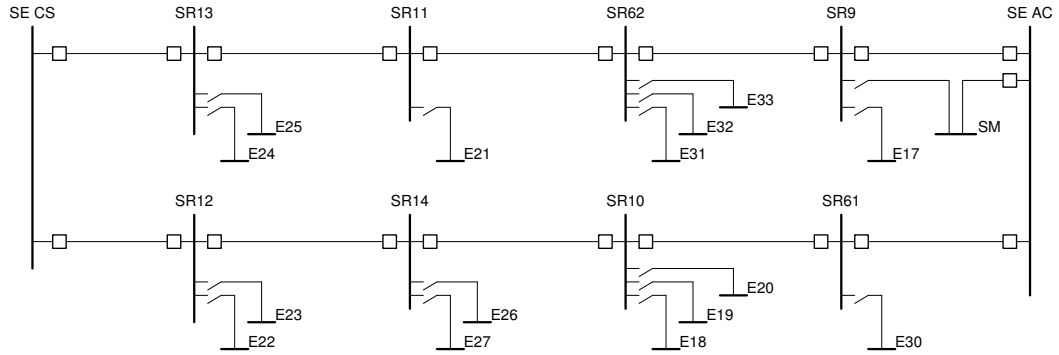


Figura 3-2 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras

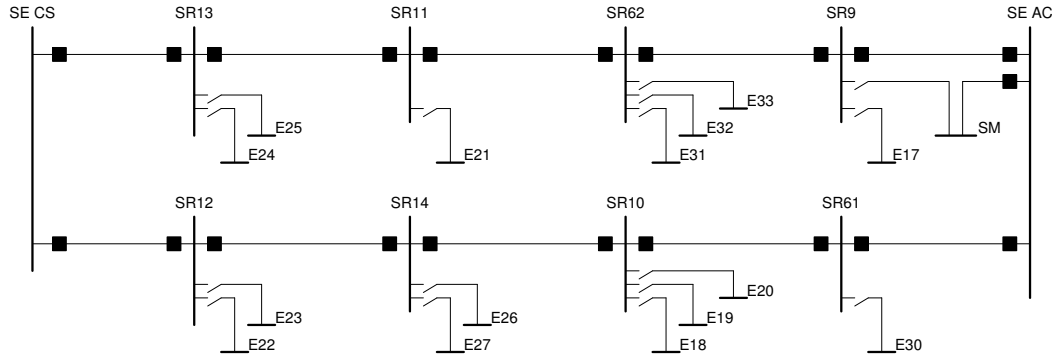


Figura 3-3 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Sistema Íntegro

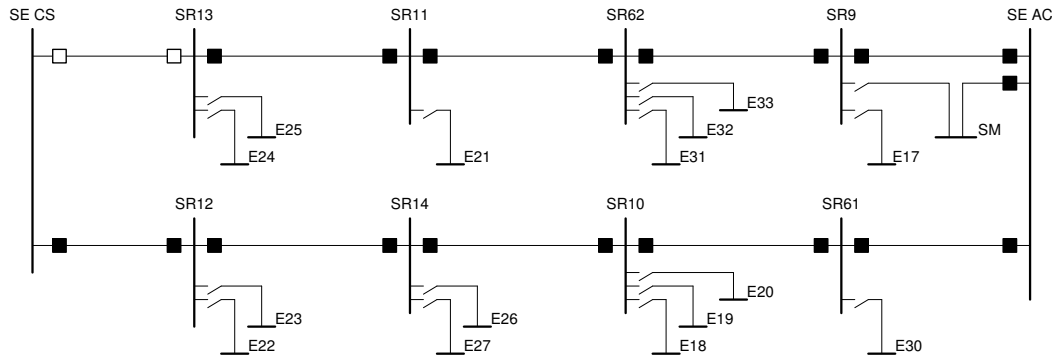


Figura 3-4 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação CS – SR13 – Fora

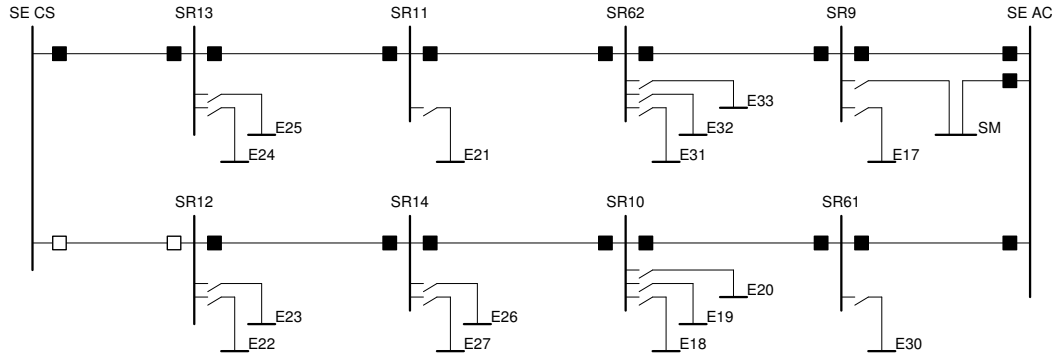


Figura 3-5 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação CS – SR12 – Fora

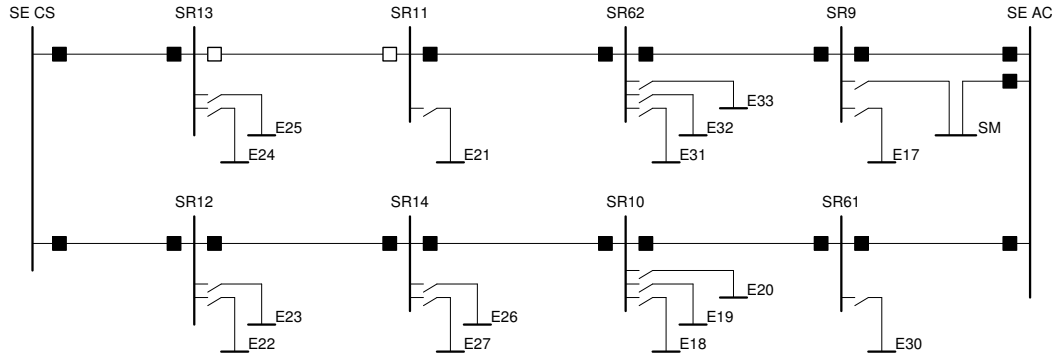


Figura 3-6 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SR13 – SR11 – Fora

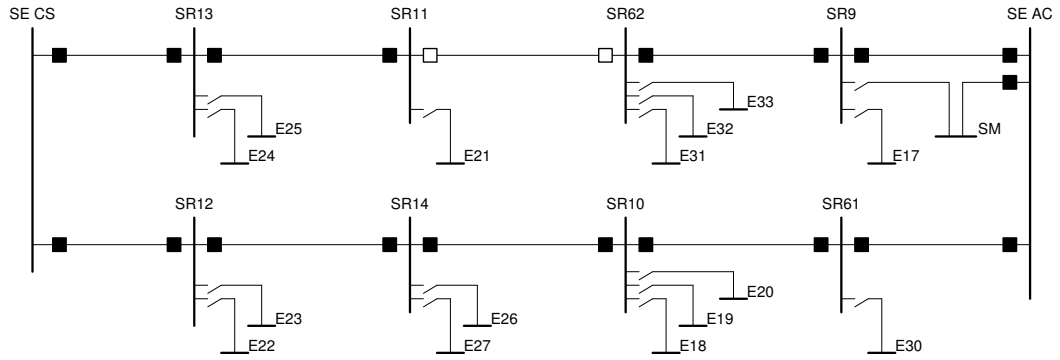


Figura 3-7 - Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SR11 – SR62 – Fora

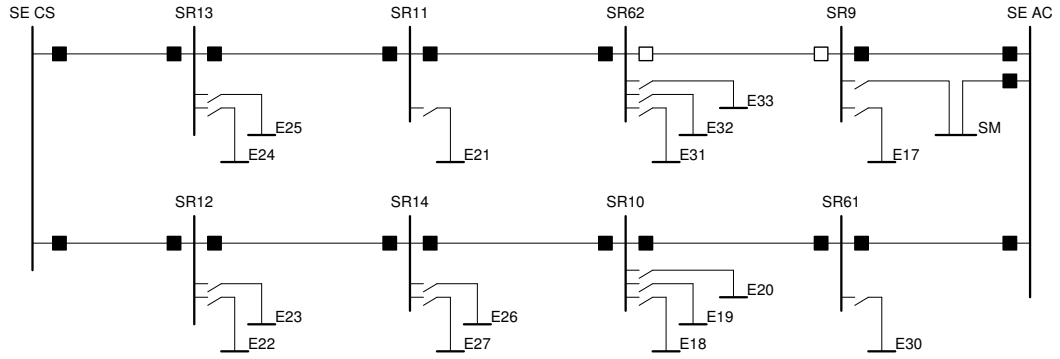


Figura 3-8 - Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SR62 – SR9 – Fora

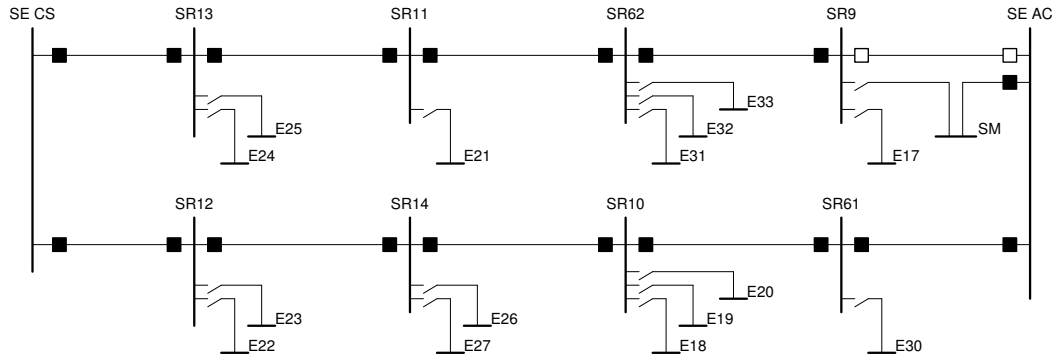


Figura 3-9 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SE AC – SR9 – Fora

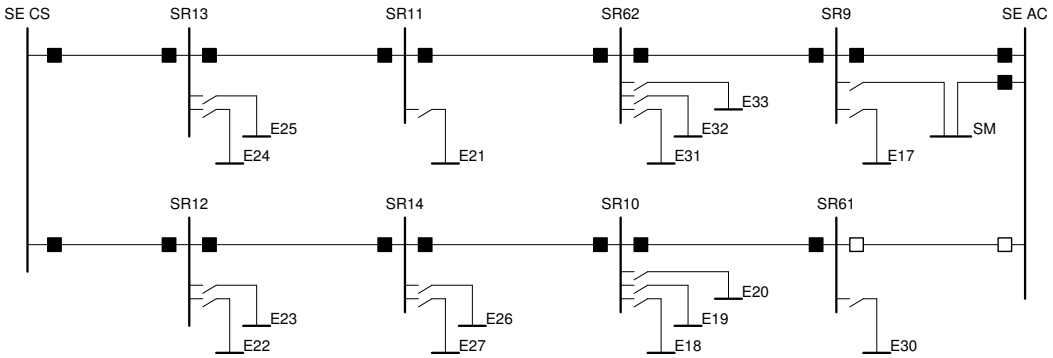


Figura 3-10 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SE AC – SR61 – Fora

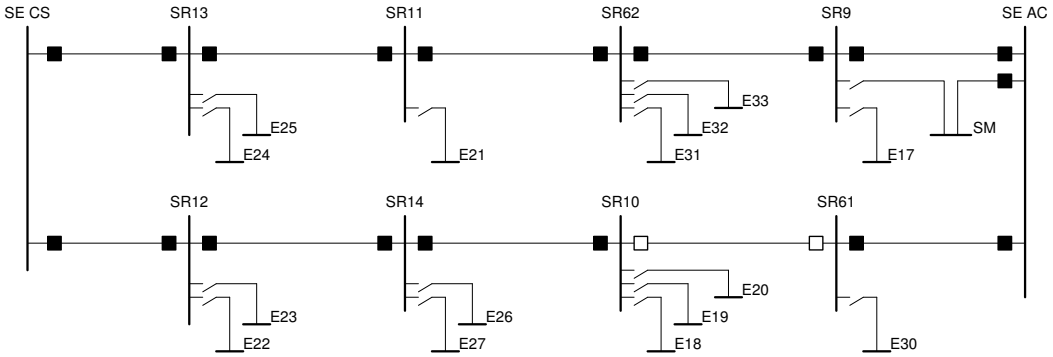


Figura 3-11 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SR61 – SR10 – Fora

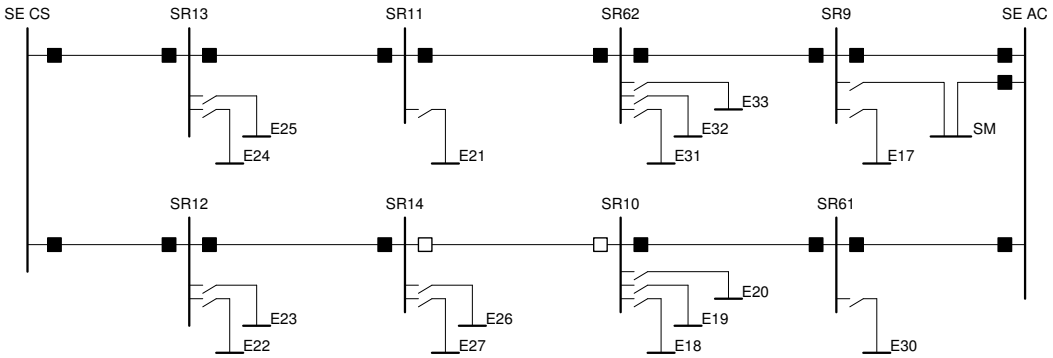


Figura 3-12 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SR10 – SR14 – Fora

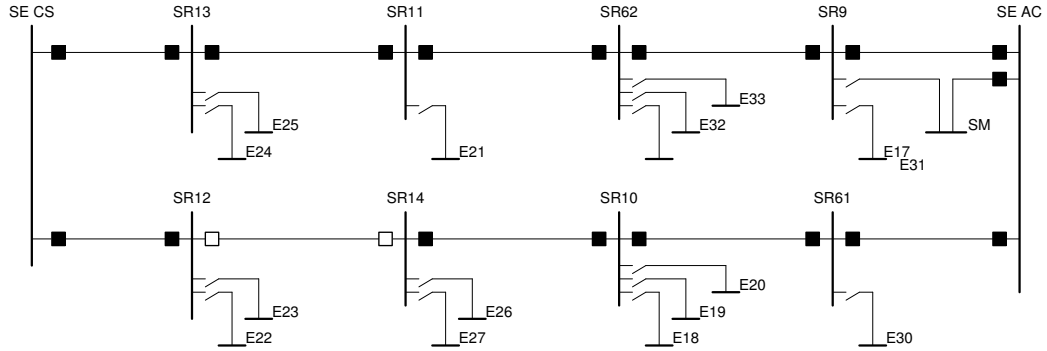


Figura 3-13 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação SR14 – SR12 – Fora

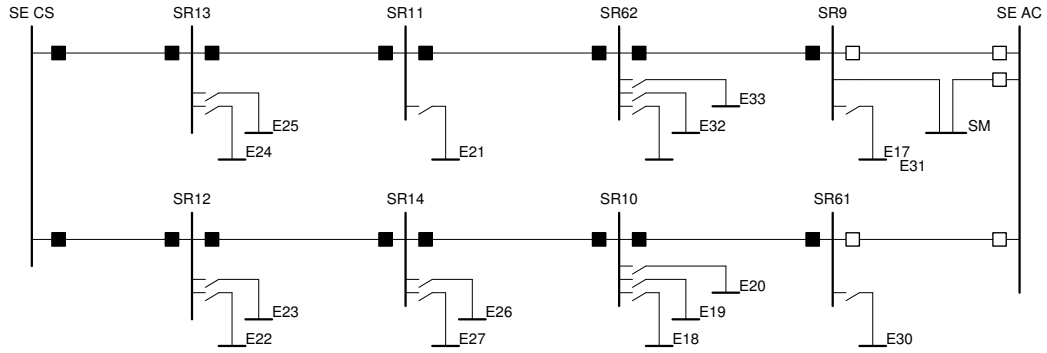


Figura 3-14 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Barra Águas Claras fora

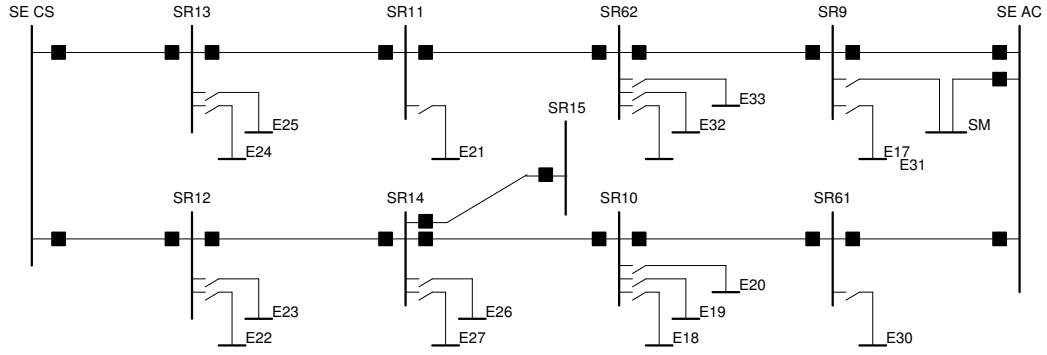


Figura 3-15 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação de Contingência do trecho em expansão Ceilândia

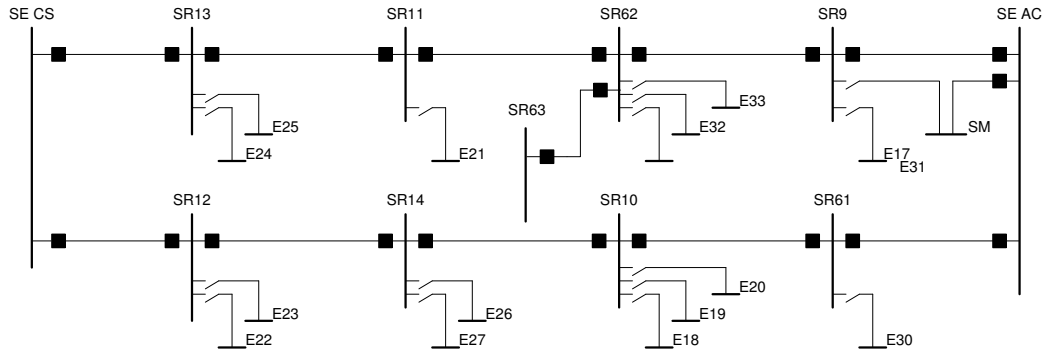


Figura 3-16 – Diagrama de Barras – Anel Ceilândia Sul – Águas Claras - Interligação de Contingência do trecho em expansão Samambaia

3.2 Diagramas do Anel Águas Claras – PEE Hípica

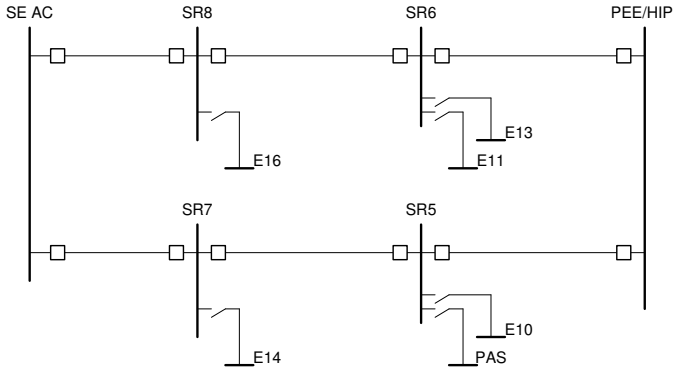


Figura 3-17 – Diagrama de Barras – Anel Águas Claras – PEE Hípica

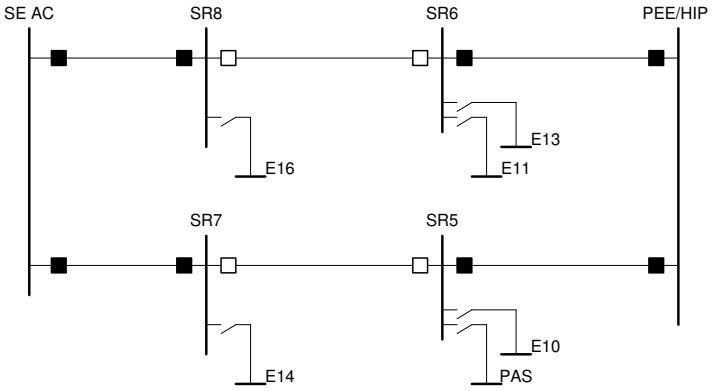


Figura 3-18 – Diagrama de Barras – Anel Águas Claras – PEE Hípica – Sistema Íntegro

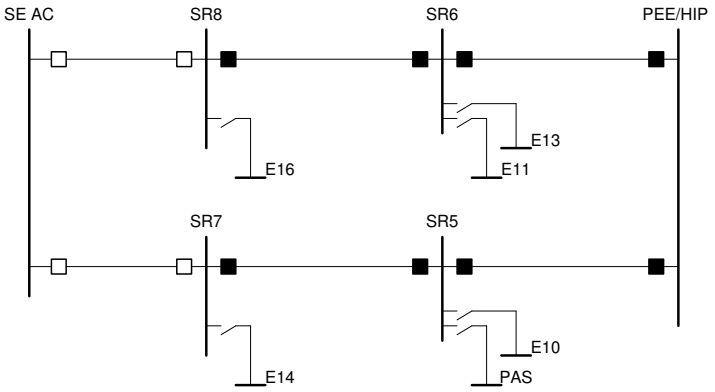


Figura 3-19 – Diagrama de Barras – Anel Águas Claras – PEE Hípica – Barra Águas Claras fora

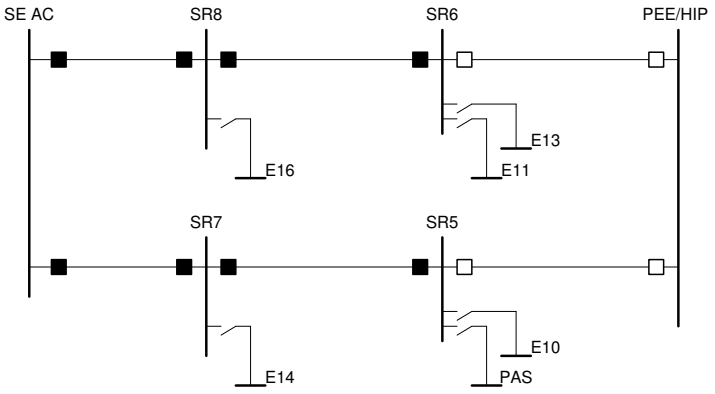


Figura 3-20 – Diagrama de Barras – Anel Águas Claras – PEE Hípica – Barra PEE/HIP fora

3.3 Diagramas do Anel PEE Hípica – Brasília Centro

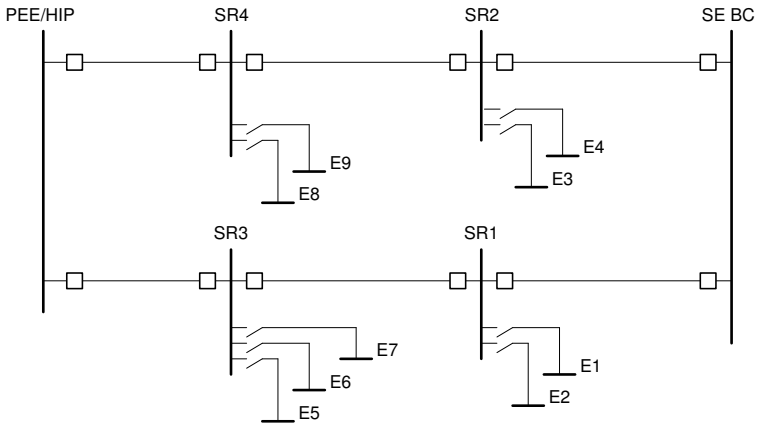


Figura 3-21 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica

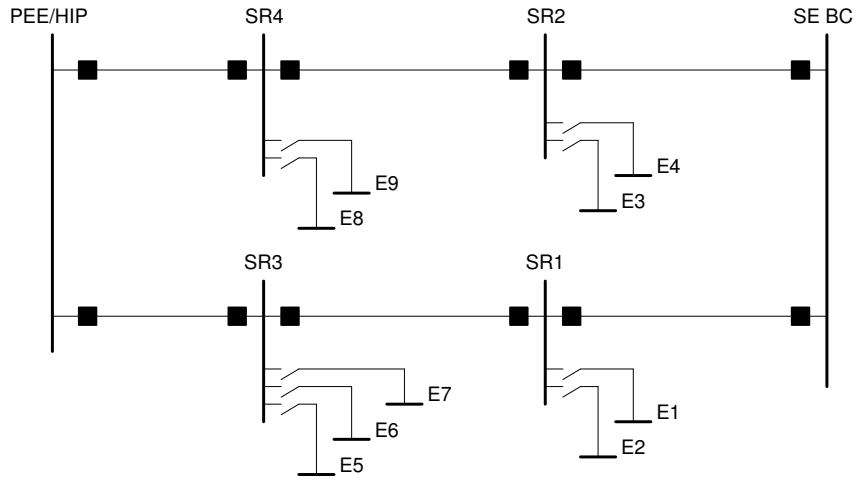


Figura 3-22 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Sistema Íntegro

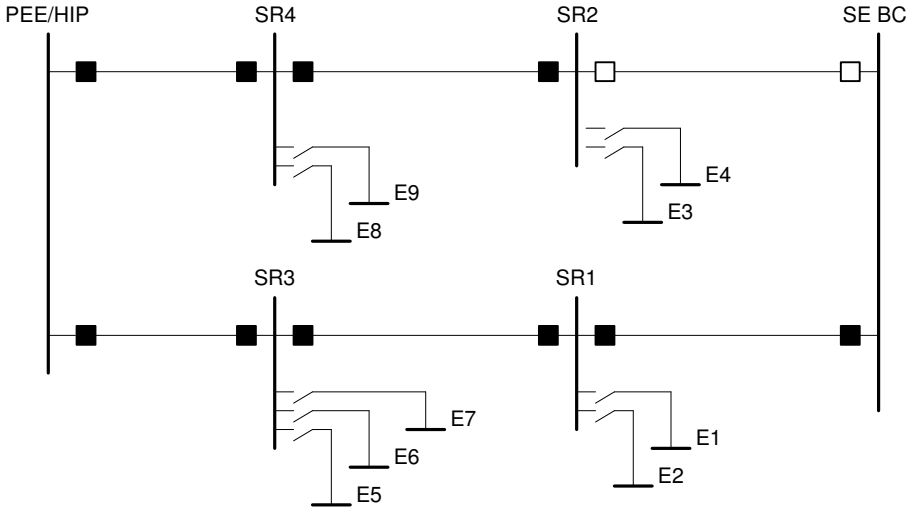


Figura 3-23 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Interligação SR2 – SE BC – Fora

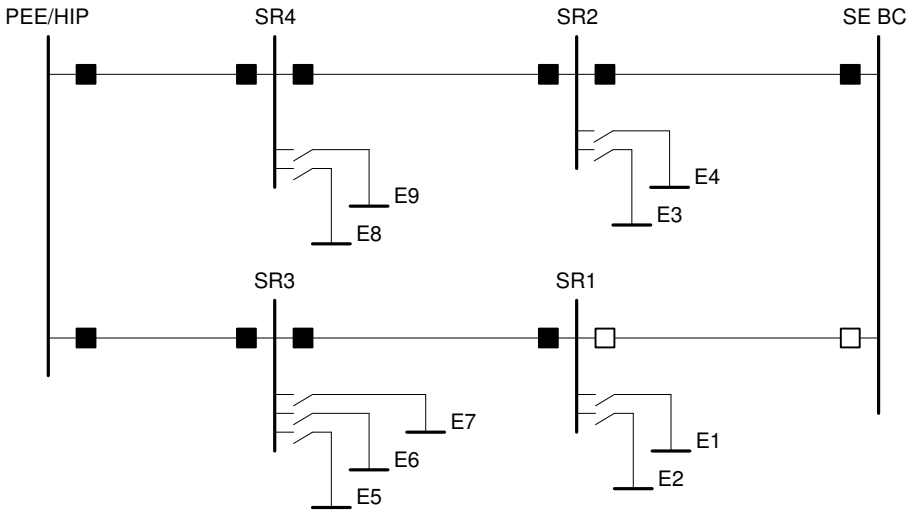


Figura 3-24 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Interligação SR1 – SE BC – Fora

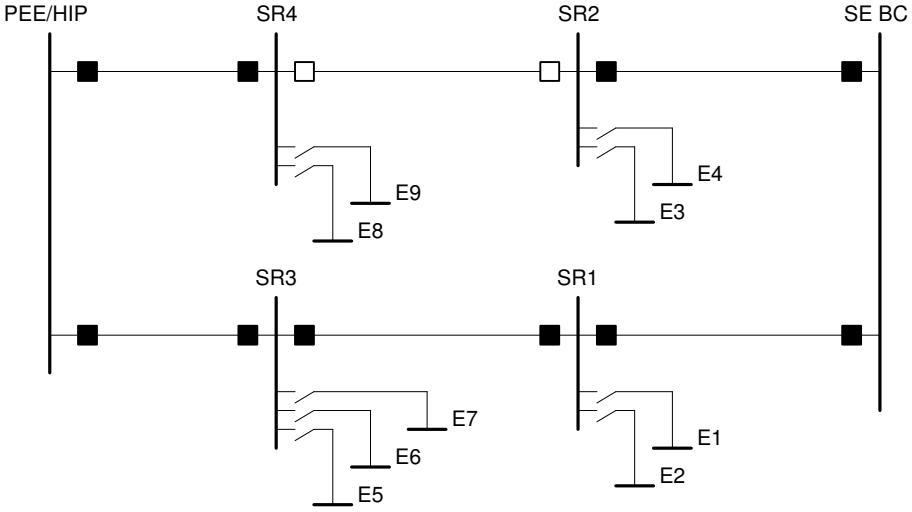


Figura 3-25 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Interligação SR2 – SR4 – Fora

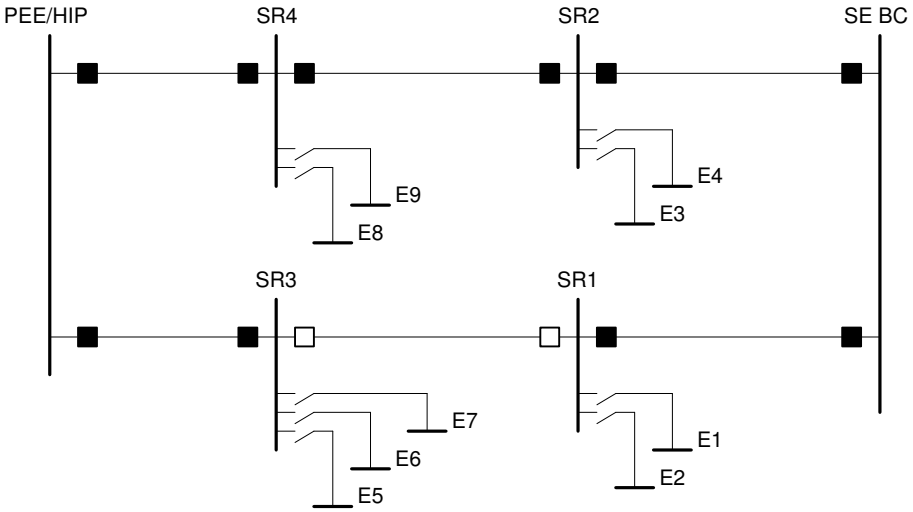


Figura 3-26 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Interligação SR1 – SR3 – Fora

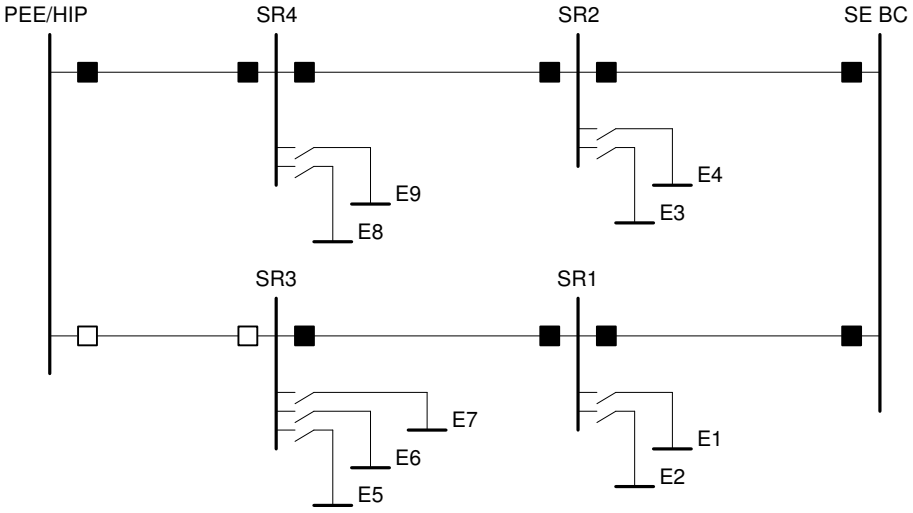


Figura 3-27 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Interligação SR3 – PEE/HIP – Fora

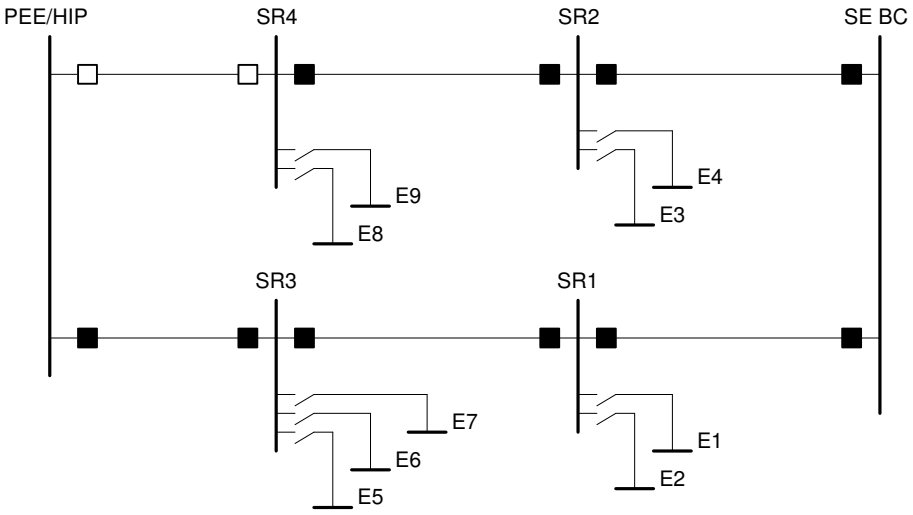


Figura 3-28 – Diagrama de Barras – Anel Brasília Centro – PEE Hípica - Interligação SR4 – PEE/HIP – Fora

4 DADOS DE ENTRADA PARA OS CÁLCULOS.

4.1 Parâmetros dos cabos de média tensão

Foram considerados cabos de 15 kV com isolação em EPR (temperatura máxima em regime de 90° C). A instalação pode ser em duto, perfilado ou trifólio.

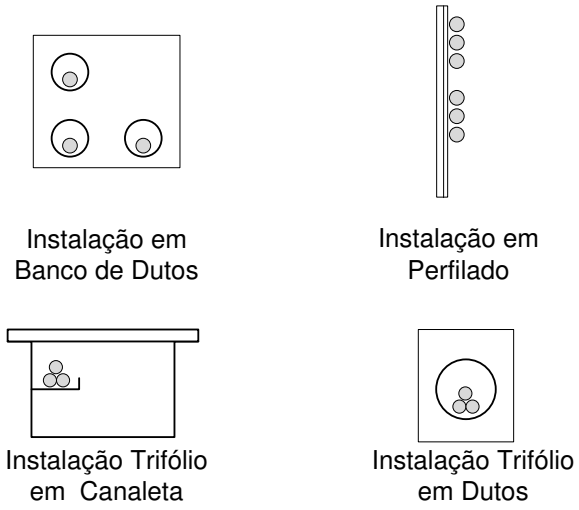


Figura 4-1 – Modos de Instalação

As resistências e reatâncias específicas para as bitolas dos cabos utilizados foram obtidas do catálogo da Prysmian para cabos Eprotenax, 8,7/15 kV e são indicadas na tabela abaixo.

Tabela 4-1 - Impedâncias dos cabos em ohms/km para os tipos de instalação

Bitola (mm^2)	Impedâncias em ohms/km para os tipos de instalação			
	duto	perfilado	trifólio	aéreo
25	x	x	0,928 + 0,170j	x
50	0,498 + 0,224j	x	0,495 + 0,155j	x
95	0,259 + 0,295j	0,251 + 0,208j	0,248 + 0,138j	x
120	0,211 + 0,286j	0,202 + 0,204j	0,198+ 0,134j	x
150	0,174 + 0,278j	0,165 + 0,199j	0,161 + 0,130j	x
240	0,111 + 0,258j	0,103 + 0,189j	0,100 + 0,120j	x
300	0,097 + 0,249j	0,087 + 0,186j	0,082 +0,117j	x
4/0	x	x	0,197 + 0,124j	0,325 + 0,472j

No caso de alimentadores com diferentes tipos de instalação, a impedância será a soma das impedâncias de cada trecho, iguais ao produto da impedância específica para o tipo de instalação pelo comprimento do trecho.

Para a verificação da capacidade dos circuitos serão consideradas as ampacidades da tabela abaixo para 1 cabo/fase, obtidas de catálogo do fabricante Prysmian, com a utilização de fator de agrupamento 0,9 e fator de temperatura 0,9.

Tabela 4-2 - Ampacidade dos cabos para os tipos de instalação

Bitola (mm^2)	Ampacidade (A)				
	duto	perfilado	Trifólio (canal.)	Trifólio (duto)	Aéreo
25	84,3	146,6	118,7	72,9	x
50	119,1	216,3	179,0	102,9	x
95	172,5	329,7	272,9	149,0	x
120	195,2	380,7	273,8	169,3	x
150	218,7	434,1	360,4	189,5	x
240	284,3	584,0	412,3	245,5	x
300	319,1	667,4	465,8	275,4	x
4/0	x	x	x	x	315

Para os alimentadores com mais de um tipo de instalação será considerada no dimensionamento do cabo a menor ampacidade dentre os tipos existentes.

A titulo de exemplo, é apresentada a seguir a forma de cálculo da ampacidade dos circuitos de bitola 120 mm^2, para instalação em trifólio em canaleta.

A capacidade em A do cabo, obtida da tabela da Prysmiam para esse tipo de cabo em canaleta é 338 A. Aplicados os fatores de correção mencionados acima a essa capacidade resulta a ampacidade do circuito, como segue:

$$273{,}8 = 338 \times 0{,}9 \times 0{,}9$$

4.2 Características dos Circuitos dos Setores

Nas figuras e tabelas a seguir são mostrados os circuitos de cada setor, os tipos de instalação e os respectivos comprimentos.

4.2.1 Anel Brasília Centro - PEE Hípica

Tabela 4-3 – Comprimentos dos circuitos em função dos tipos de instalação - Anel Brasília Centro – PEE Hípica

De	Para	Distância Total (km)	Tipo de instalação e distância em km		
			duto	perfilado	trifólio
PEE/HIP	SR03	5,65	x	3,772	1,878
PEE/HIP	SR04	3,25	x	1,16	2,09
SR03	SR01	3,205	x	3,205	x
SR04	SR02	4,7	x	4,7	x
SE BC	SR02	5,1	4,27	0,83	x
SE BC	SR01	4,7	4,7	x	x
SR01	E1	0,75	x	x	0,75
SR01	E2	0,1	x	x	0,1
SR02	E3	0,13	x	x	0,13
SR02	E4	0,9	x	x	0,9
SR03	E5	0,75	x	x	0,75
SR03	E6	0,1	x	x	0,1
SR03	E7	0,75	x	x	0,75
SR04	E8	0,75	x	x	0,75
SR04	E9	0,1	x	x	0,1

4.2.2 Anel Ceilândia Sul – Águas Claras

Tabela 4-4 – Comprimentos dos circuitos em função dos tipos de instalação - Anel Ceilândia Sul – Águas Claras

De	Para	Distância Total (km)	Tipo de instalação e distância em km			
			duto	perfilado	trifólio	aérea
SE CS	SR12	1,20	0,18	x	1,02	x
SE CS	SR13	3,6	3,02	0,58	x	x
SR12	SR14	4,38	3,17	1,21	x	x
SR13	SR11	5,59	4,66	0,93	x	x
SR14	SR10	10,8	5,62	4,21	0,97	x
SR11	SR62	4,95	x	x	0,23	4,72

De	Para	Distância Total (km)	Tipo de instalação e distância em km			
			duto	perfilado	trifólio	aérea
SR10	SR61	3,96	x	0,092	3,868	x
SR62	SR9	6,2	x	0,184	6,016	x
SE AC	SR9	1,2	0,18	x	1,02	x
SE AC	SR61	0,705	0,18	x	0,525	x
SE AC	SM	0,6	0,6	x	x	x
SR9	E17	0,305	x	x	0,305	x
SR9	SM	1,5	0,65	x	0,85	x
SR10	E18	0,79	x	x	1,0	x
SR10	E19	0,13	x	x	0,13	x
SR10	E20	1,37	x	x	1,37	x
SR61	E30	0,13	x	x	0,13	x
SR62	E31	1,43	x	x	1,43	x
SR62	E32	0,135	x	x	0,135	x
SR62	E33	1,82	x	x	1,82	x
SR11	E21	0,03	x	x	0,03	x
SR12	E22	0,6	x	x	0,6	x
SR12	E23	0,5	x	x	0,5	x
SR13	E24	1,0	x	x	1,0	x
SR13	E25	0,2	x	x	0,2	x
SR14	E26	0,1	x	x	0,1	x
SR14	E27	1,03	x	x	1,03	x

4.2.3 Anel Águas Claras – PEE Hípica

Tabela 4-5 – Comprimentos dos circuitos em função dos tipos de instalação - Anel Águas Claras – PEE Hípica

De	Para	Distância Total (km)	Tipo de instalação e distância em km		
			duto	perfilado	trifólio
SE AC	SR8	4,27	0,18	0,184	3,906
SE AC	SR7	6,7	0,18	0,184	6,336

De	Para	Distância Total (km)	Tipo de instalação e distância em km		
			duto	perfilado	trifólio
PEE/HIP	SR5	0,05	0,05	x	x
PEE/HIP	SR6	2,545	0,05	x	2,495
SR6	SR8	5,74	x	1,232	4,508
SR5	SR7	5,72	x	1,324	4,396
SR5	PAS	0,2	x	x	0,2
SR5	E10	1,6	x	x	1,6
SR6	E11	0,46	x	x	0,46
SR6	E13	0,6	x	x	0,6
SR7	E14	0,75	x	x	0,75
SR8	E16	1,2	x	x	1,2

4.3 Cargas de Tração e de Serviços Auxiliares

As seguintes potências foram consideradas nas simulações de fluxo de cargas:

4.3.1 Tração

Foram consideradas as potências obtidas das simulações elétricas para o caso íntegro constantes no relatório RT.4/EX.99/00.007. Essas potências correspondem aos valores em regime no horário de pico para o “headway” de 180 segundos.

Foi aplicado um fator igual a 0,8 a esses resultados da simulação para levar em conta que os mesmos são conservativos. As principais razões para isso são:

- As simulações não levam em conta a regeneração, ou seja, a troca de potência entre trens em fase de aceleração e frenagem. Essa redução pode ser da ordem de 15% a 30% da potência requerida;

- Nas simulações é considerado que todos os trens estão com a sua carga total de passageiros. Na prática o peso médio dos trens é usualmente inferior a esse valor.

- Não são levados em conta os atrasos na circulação dos trens, que usualmente ocorrem durante a operação.

A partir desses valores reduzidos, com a adoção de um rendimento de 98% e de um fator de potência de 0,96 para os grupos retificadores, foram obtidos os valores de potência ativa e reativa indicados na tabela a seguir.

Tabela 4-6 – Carga dos circuitos de Tração

Subestação	Potências da Simulação (kW) (0,8 – fator de redução)	Potência Ativa (kW) (0,98 – fator de rendimento)	Potência Reativa (kVAr) (0,96 – fator de potência)
SR14	2161,8	2206	643
SR13	2634,8	2688,6	784
SR12	2687	2741,9	800
SR11	2782	2838,8	828
SR10	3218	3283,8	958
SR9	3371	3440,1	1003
SR62	3302	3369,4	983
SR61	2990	3051,3	890
SR8	1946,5	1986,2	579
SR7	2400,6	2449,6	714
SR6	2021	2062,2	601
SR5	2480,3	2530,9	738
SR4	3211,8	3277,3	956
SR3	3515,6	3586,4	1046
SR2	2335,4	2383,1	695
SR1	1865,5	1903,6	555

4.3.2 Serviços Auxiliares

As potências das cargas das estações de passageiros foram calculadas a partir da potência instalada nas subestações auxiliares com a aplicação de um fator de diversidade de 0,6 sobre a potência nominal de um dos trafos, visto que os 2 trafos instalados são redundantes. Foi considerando um fator de potência de 0,8.

Tabela 4-7 – Carga dos circuitos de Auxiliares

Subestação	Potência Instalada (kVA)	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)
E1	2x500	240	180
E2	2x500	240	180
E3	2x350	168	126

Subestação	Potência Instalada (kVA)	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)
E4	2x350	168	126
E5	2x350	168	126
E6	2x350	168	126
E7	2x350	168	126
E8	2x350	168	126
E9	2x350	168	126
E10	2x150	72	54
E11	2x150	72	54
PAS	2x150	72	54
E13	2x150	72	54
E14	2x175	108	81
E16	2x150	72	54
E17	2x150	72	54
E18	2x150	72	54
E19	2x150	72	54
E20	2x500	240	180
E21	2x350	168	126
E22	2x150	72	54
E23	2x150	72	54
E24	2x150	72	54
E25	2x150	72	54
E26	2x150	72	54
E27	2x150	72	54
E30	2x150	72	54
E31	2x150	72	54
E32	2x150	72	54
E33	2x150	72	54

4.3.3 Alimentadores de Socorro

Para os alimentadores de Socorro foram consideradas as cargas obtidas do Relatório RT.4/EX.99/00.013 indicadas a seguir:

4.3.3.1 Alimentador de socorro do Setor Samambaia:

- Potência ativa: 6062 kW;
- Potência reativa: 2170 kVAr.

4.3.3.2 Alimentador de socorro do Setor Ceilândia:

- Potência ativa: 3657 kW;
- Potência reativa: 1238 kVAr.

4.3.4 SM e Centro de Administração e Operação (CAO)

São previstas as seguintes cargas instaladas:

- 01 trafo de tração para retificador de 1700 kW;
- 02 trafos de 500 kVA para as oficinas;
- 02 trafos de 225 kVA para o CAO;
- 01 trafo de 225 kVA para o sistema de ar condicionado do CAO.

Para os trafos das oficinas e do CAO foi aplicado um fator de diversidade de 0,6 sobre a potência nominal de um dos trafos. Para o trafo do sistema de ar condicionado foi aplicado o fator 0,3 sobre a potência do trafo. Para o trafo de tração foi considerada a sua potência nominal.

Assim sendo, resultaram as seguintes potências como dados de entrada para as simulações:

- Potência ativa: 1936 kW;
- Potência reativa: 657 kVAr.

4.4 Tensões nas Barras das SEs e dos PEEs

Serão consideradas nas barras dos PEEs e SEs as tensões das barras da concessionária que alimentam os anéis da rede de distribuição do Metrô. Essas tensões correspondem a 1 p.u. em cada caso simulado. Não é previsto o paralelismo entre barras de tensões diferentes. As tensões em kV das barras, mostradas na tabela a seguir, foram informadas pela Concessionária.

Tabela 4-8 – Tensões nas Barras

Subestação	Tensão (kV)
PEE/HIP	13,4
SE AC	13,9
SE BC	13,4
SE CS	13,9

Todas as tensões estão representadas também em p.u., o que torna facilmente ajustável os valores em kV para tensões diferentes nas barras de referência e, consequentemente, a determinação das correntes eficazes.

5 DIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS DE TRAÇÃO

A tabela a seguir mostra as bitolas de cada circuito com as respectivas impedâncias calculadas da forma descrita no item 4.1. Esses valores em p.u., calculados nas bases indicadas pelo programa, foram utilizados nos cálculos cujos resultados são apresentados no item 7.

5.1 Impedâncias

5.1.1 Anel SE CS / SE AC

Tabela 5-1 - Impedâncias em p.u. aplicadas para dimensionamento – Anel SE CS/SE AC

De	Para	Bitola (mm^2)	Impedâncias (p.u.) *
SE CS	SR13	240	0,207 + 0,467j
SE CS	SR12	300	0,011 + 0,029j
SE AC	SR09	240	0,064 + 0,089j
SE AC	SR61	240	0,038 + 0,058j
SE AC	SM	50	0,343 + 0,107j
SR13	SR11	120	0,615 + 0,799j
SR12	SR14	150	0,394 + 0,588j
SR11	SR62	4/0	0,831 + 1,185j
SR14	SR10	95	1,444 + 1,402j
SR62	SR09	120	0,645 + 0,443j
SR10	SR61	120	0,412 + 0,282j
SR14	SR15	120	0,24 + 0,30j
SR62	SR63	300	0,128 + 0,246J
SR13	E24	25	0,487 + 0,089j
SR13	E25	25	0,097 + 0,018j
SR12	E22	25	0,292 + 0,053j
SR12	E23	25	0,244 + 0,045j
SR11	E21	25	0,015 + 0,003j
SR14	E27	25	0,502 + 0,092j

De	Para	Bitola (mm^2)	Impedâncias (p.u.) *
SR14	E26	25	0,049 + 0,009j
SR62	E31	25	0,697 + 0,128j
SR62	E32	25	0,066 + 0,012j
SR62	E33	25	0,887 + 0,162j
SR10	E18	25	0,385 + 0,07j
SR10	E19	25	0,063 + 0,012j
SR10	E20	25	0,668 + 0,122j
SR09	E17	25	0,149 + 0,027j
SR09	SM	50	0,286 + 0,089j
SR61	E30	25	0,063 + 0,012j

(*) Tensão base: 13,8 kV / Potência base: 100 MVA

5.1.2 Anel PEE/HIP / SE BC

Tabela 5-2 - Impedâncias em p.u. aplicadas para dimensionamento – Anel PEE/HIP / SE BC

De	Para	Bitola (mm^2)	Impedâncias (p.u.) *
PEE/HIP	SR04	120	0,362 + 0,289j
PEE/HIP	SR03	120	0,629 + 0,574j
SE BC	SR02	240	0,312 + 0,702j
SE BC	SR01	240	0,289 + 0,674j
SR04	SR02	120	0,529 + 0,535j
SR03	SR01	120	0,362 + 0,362j
SR04	E8	25	0,388 + 0,071j
SR04	E9	25	0,052 + 0,009j
SR03	E5	25	0,388 + 0,071j
SR03	E6	25	0,052 + 0,009j
SR03	E7	25	0,388 + 0,071j
SR02	E3	25	0,067 + 0,012j
SR02	E4	25	0,465 + 0,085j

De	Para	Bitola (mm^2)	Impedâncias (p.u.) *
SR01	E2	25	0,052 + 0,009j
SR01	E1	25	0,388 + 0,071j

(*) Tensão base: 13,4 kV / Potência base: 100 MVA

5.1.3 Anel PEE/HIP / SE AC com alimentação por PEE/HIP

Tabela 5-3 - Impedâncias em p.u. aplicadas para dimensionamento – Anel PEE/HIP / SE AC com alimentação por PEE/HIP

De	Para	Bitola (mm^2)	Impedâncias (p.u.) *
PEE/HIP	SR05	120	0,006 + 0,008j
PEE/HIP	SR06	120	0,278 + 0,195j
SR05	SR07	120	0,635 + 0,479j
SR06	SR08	120	0,635 + 0,479j

(*) Tensão base: 13,4 kV / Potência base: 100 MVA

5.1.4 Anel PEE/HIP / SE AC com alimentação por SE AC

Tabela 5-4 - Impedâncias em p.u. aplicadas para dimensionamento – Anel PEE/HIP / SE AC com alimentação por SE AC

De	Para	Bitola (mm^2)	Impedâncias (p.u.) *
SE AC	SR07	240	0,352 + 0,441j
SE AC	SR08	240	0,226 + 0,289j
SR07	SR05	120	0,599 + 0,452j
SR08	SR06	120	0,599 + 0,452j

(*)Tensão base: 13,8 kV / Potência base: 100 MVA

5.2 Verificação das Correntes

Nas tabelas a seguir são apresentadas as correntes eficazes com o sistema íntegro e as maiores correntes eficazes em cada alimentador dentre todos os casos simulados, cujos resultados completos são apresentados no item 7. Essas correntes são confrontadas com a ampacidade do alimentador, sempre considerando o pior caso quando o alimentador tem mais de um tipo de instalação: na coluna da extremidade são apresentadas as porcentagens das correntes calculadas em relação à ampacidade para os resultados com o sistema íntegro e para o pior caso com o sistema degradado.

5.2.1 Anel SE CS / SE AC

Tabela 5-5-1 - Verificação das correntes para o Anel SE CS / SE AC: Sistema Íntegro

De	Para	Bitola (mm^2)	Ampacidade (A)	Corrente (A)	% da ampacidade
SE CS	SR13	240	284,3	236,1	83,0
SE CS	SR12	300	319,1	238,3	74,7
SE AC	SR09	240	284,3	349,1	122,8
SE AC	SR61	240	284,3	296,3	104,2
SE AC	SM	50	119,1	86,2	72,4
SR13	SR11	120	195,2	110,1	56,4
SR12	SR14	150	218,7	111,9	51,2
SR11	SR62	4/0	315,0	35	11,1
SR14	SR10	95	149,0	11,2	7,5
SR62	SR09	120	274,0	194,7	71,0
SR10	SR61	120	274,0	159,3	58,1

Tabela 5-6-2 - Verificação das correntes para o Anel SE CS / SE AC: Sistema Degradado

De	Para	Bitola (mm^2)	Ampacidade (A)	Corrente (A)	% da ampacidade
SE CS	SR13	240	284,3	834,7	293,6
SE CS	SR12	300	319,1	646,3	202,5
SE AC	SR09	240	284,3	658,9	231,8
SE AC	SR61	240	284,3	597,5	210,2
SE AC	SM	50	119,1	86,2	72,4
SR13	SR11	120	195,2	701,7	359,5
SR12	SR14	150	218,7	520,2	237,9
SR11	SR62	4/0	315,0	632,5	200,8
SR14	SR10	95	149,0	408,6	274,2
SR62	SR09	120	274,0	503,7	183,8
SR10	SR61	120	274,0	460,2	167,9
SR09	SM	50	119,1	162	136,0

Tabela 5-7-3 - Verificação das correntes para o Anel SE CS / SE AC: Socorro SAM

De	Para	Bitola (mm^2)	Ampacidade (A)	Corrente (A)	% da ampacidade
SE CS	SR13	240	284,3	309,7	108,9
SE CS	SR12	300	319,1	238,4	74,7
SE AC	SR09	240	284,3	591,7	208,1
SE AC	SR61	240	284,3	296,3	104,2
SE AC	SM	50	119,1	86,2	72,4
SR13	SR11	120	195,2	183,9	94,2
SR12	SR14	150	218,7	111,9	51,2
SR11	SR62	4/0	315,0	55,8	17,7
SR14	SR10	95	149,0	11,2	7,5
SR62	SR09	120	274,0	436,4	159,3
SR10	SR61	120	274,0	159,3	58,1
SR62	SR63	300	319,1	300,6	94,2

Tabela 5-8-4 - Verificação das correntes para o Anel SE CS / SE AC: Socorro CEI

De	Para	Bitola (mm^2)	Ampacidade (A)	Corrente (A)	% da ampacidade
SE CS	SR13	240	284,3	236,1	83,0
SE CS	SR12	300	319,1	372,9	116,8
SE AC	SR09	240	284,3	349,1	122,8
SE AC	SR61	240	284,3	335,4	117,9
SE AC	SM	50	119,1	86,2	72,4
SR13	SR11	120	195,2	110,1	56,4
SR12	SR14	150	218,7	246,6	112,7
SR11	SR62	4/0	315,0	35	11,1
SR14	SR10	95	149,0	34,8	23,3
SR62	SR09	120	274,0	194,7	71,1
SR10	SR61	120	274,0	198,4	72,4
SR14	SR15	120	195,2	170	87,1

5.2.2 Anel PEE/HIP / SE BC

Tabela 5-6-1 - Verificação das correntes para o Anel PEE/HIP / SE BC: Sistema Íntegro

De	Para	Bitola (mm^2)	Ampacidade (A)	Corrente (A)	% da ampacidade
PEE/HIP	SR04	120	274,0	177,9	64,9
PEE/HIP	SR03	120	274,0	167,8	61,2
SE BC	SR02	240	284,3	118,7	41,7
SE BC	SR01	240	284,3	132,8	46,7
SR04	SR02	120	380,7	22,7	5,9
SR03	SR01	120	380,7	21,5	5,6

Tabela 5-6-2 - Verificação das correntes para o Anel PEE/HIP / SE BC: Sistema Degradado

De	Para	Bitola (mm^2)	Ampacidade (A)	Corrente (A)	% da ampacidade
PEE/HIP	SR04	120	274,0	300,9	109,8
PEE/HIP	SR03	120	274,0	307,1	112,1
SE BC	SR02	240	284,3	303,6	106,8
SE BC	SR01	240	284,3	311,4	109,5
SR04	SR02	120	380,7	175	45,9
SR03	SR01	120	380,7	197,5	51,9

5.2.3 Anel PEE/HIP / SE AC

Tabela 5-9-1 - Verificação das correntes para o Anel PEE/HIP / SE AC: Sistema Íntegro

De	Para	Bitola (mm^2)	Ampacidade (A)	Corrente (A)	% da ampacidade
PEE/HIP	SR05	120	274,0	120,8	44,1
PEE/HIP	SR06	120	274,0	100,8	36,8
SE AC	SR07	240	319,1	112,6	35,3
SE AC	SR08	240	319,1	90	28,2
SR05	SR07	120	274,0	-	-

De	Para	Bitola (mm^2)	Ampacidade (A)	Corrente (A)	% da ampacidade
SR06	SR08	120	274,0	-	-

Observação: Em condições de sistema íntegro os circuitos SR05 e SR07 permanecem desenergizados.

Tabela 5-10-2 - Verificação das correntes para o Anel PEE/HIP / SE AC: Sistema Degradado

De	Para	Bitola (mm^2)	Ampacidade (A)	Corrente (A)	% da ampacidade
PEE/HIP	SR05	120	274,0	238,6	87,1
PEE/HIP	SR06	120	274,0	197,4	72,0
SE AC	SR07	240	319,1	237,1	74,3
SE AC	SR08	240	319,1	190,0	59,5
SR05	SR07	120	274,0	122,7	44,8
SR06	SR08	120	274,0	99,3	36,2

5.3 Tensões mínimas nas barras

5.3.1 Anel SE CS / SE AC

Tabela 5-8-1 – Tensões nas barras do Anel SE CS / SE AC

Barra	Tensão (p.u)	
	Sist. íntegro	Sist. degradado
SE AC	1,0	1,0
SE CS	1,0	1,0
SR13	0,979	0,769
SR12	0,998	0,791
SR11	0,955	0,766
SR14	0,983	0,812
SR62	0,959	0,612
SR10	0,978	0,742
SR09	0,992	0,545

Barra	Tensão (p.u)	
	Sist. íntegro	Sist. degradado
SR61	0,996	0,720
E24	0,978	0,768
E25	0,978	0,768
E22	0,998	0,791
E23	0,998	0,791
E21	0,955	0,766
E27	0,982	0,812
E26	0,983	0,812
E31	0,958	0,611
E32	0,959	0,612
E33	0,958	0,611
E18	0,978	0,742
E19	0,978	0,742
E20	0,976	0,739
E17	0,992	0,545
SM	0,992	0,993 (*)
SM	0,992	0,533 (**)
E30	0,996377	0,72

(*) com alimentação pela SE AC

(**) com alimentação pela SRO9

Tabela 5-8-2 – Tensões nas barras do Anel SE CS / SE AC com socorro

Barra	Tensão (p.u)	
	Socorro SAM	Socorro CEI
SE AC	1,0	1,0
SE CS	1,0	1,0
SR13	0,971	0,979
SR12	0,998	0,998
SR11	0,929	0,955
SR14	0,983	0,963

Barra	Tensão (p.u)	
	Socorro SAM	Socorro CEI
SR62	0,910	0,959
SR10	0,978	0,973
SR09	0,987	0,992
SR61	0,996	0,995
E24	0,970	0,978
E25	0,971	0,978
E22	0,998	0,997
E23	0,998	0,997
E21	0,929	0,955
E27	0,982	0,963
E26	0,983	0,963
E31	0,910	0,958
E32	0,910	0,959
E33	0,910	0,958
E18	0,978	0,973
E19	0,978	0,973
E20	0,976	0,971
E17	0,987	0,992
SM	0,992	0,992
E30	0,996	0,995
SR63	0,896	-
SR15	-	0,95

5.3.2 Anel PEE/HIP / SE BC

Tabela 5-9 – Tensões nas barras do Anel PEE/HIP / SE BC

Barra	Tensão (p.u)	
	Sist. íntegro	Sist. degradado
PEE HIP	1,0	1,0
SE BC	1,0	1,0

Barra	Tensão (p.u)	
	Sist. íntegro	Sist. degradado
SR04	0,983	0,935
SR03	0,982	0,942
SR02	0,983	0,948
SR01	0,984	0,954
E8	0,982	0,934
E9	0,983	0,934
E5	0,981	0,941
E6	0,981	0,941
E7	0,981	0,941
E3	0,983	0,948
E4	0,982	0,947

5.3.3 Anel PEE/HIP / SE AC

Tabela 5-10 – Tensões nas barras do Anel PEE/HIP / SE AC

Barra	Tensão (p.u)	
	Sist. íntegro	Sist. degradado
PEE HIP	1,0	1,0
SE AC	1,0	1,0
SR05	0,999	0,952
SR06	0,992	0,969
SR07	0,987	0,973
SR08	0,993	0,969
E14	0,987	0,973
E16	0,993	0,968
PAS	0,999	0,952
E10	0,999	0,952
E11	0,992	0,969
E13	0,992	0,969

6 CONCLUSÃO

Nos subitens a seguir são apresentadas as conclusões para cada um dos anéis da rede com base nos resultados dos itens precedentes

6.1 Anel SE CS / SE AC

6.1.1 Sistema íntegro

Com o sistema íntegro, os seguintes circuitos têm suas capacidades superadas, conforme mostrado na Tabela 5-5-1:

- SE AC – SR09: 122,8 % da ampacidade;
- SE AC – SR61: 104,2 % da ampacidade.

Esses resultados indicam, em particular no caso do alimentador SE AC – SR09, que para as condições operacionais do horizonte de projeto deverá ser providenciado o reforço desse circuito.

Com relação às tensões mínimas nas barras, verifica-se da Tabela 5-8-1 que a menor tensão ocorre nas barras SR11 e E21. A queda de tensão de 4,5 % que se verifica pode ser considerada aceitável.

6.1.2 Anel SE CS / SE AC degradado

Da Tabela 5-5-2 verifica-se que em condições de sistema degradado a capacidade de vários circuitos é amplamente superada, chegando a atingir 359,5 % no alimentador SR13 - SR11. A menor tensão mostrada na Tabela 5-8-1 atinge 0,545 p.u. nas barras SR09 e E17.

Esses resultados tem significado apenas teórico, visto que as condições de operação do sistema já não são viáveis.

Dentre os casos de degradação simulados, apenas no caso de fora de operação do circuito SR11-SR62 será possível manter a operação sem impor significativas restrições de carga (ressalvando-se os circuitos cuja capacidade já é superada mesmo com o sistema íntegro, já abordados no item anterior).

Deve ser observado, também, que sem impor restrições operacionais não é possível alimentar a Barra SM através da SR09 quando do fora de operação da Barra AC, visto que, conforme mostrado na Tabela 5-8-1, a tensão em SM cai a 53 % da nominal.

6.1.3 Socorro de Samambaia

Os resultados da Tabela 5-5-3 mostram que não é possível a alimentação de socorro do Setor Samambaia sem impor restrições operacionais no sistema. Os seguintes circuitos do Anel têm as suas capacidades superadas:

- SE CS – SR13;
- SE AC – SR09;
- SE AC – SR61;

- SR62 – SR09.

A menor tensão, conforme Tabela 5-8-2, é igual a 0,896 p.u. na SR63.

6.1.4 Socorro de Ceilândia

Os resultados da Tabela 5-5-4 mostram que não é possível a alimentação de socorro do Setor Ceilândia sem impor restrições operacionais no sistema. Os seguintes circuitos do Anel têm as suas capacidades superadas:

- SE CS – SR12;
- SE AC – SR09;
- SE AC – SR61;
- SR12 – SR14.

A menor tensão, conforme Tabela 5-8-2, é igual a 0,95 p.u. na SR15.

6.2 Anel PEE/HIP / SE BC

6.2.1 Sistema íntegro

Com o sistema íntegro, nenhum circuito tem sua capacidade superada, conforme mostrado na Tabela 5-6-1:

Com relação às tensões mínimas nas barras, verifica-se da Tabela 5.9 que a menor tensão ocorre nas barras E5, E6 e E7. A queda de tensão de 1,9 % que se verifica é aceitável.

6.2.2 Sistema degradado

Da Tabela 5-6-2 verifica-se que, em condições de sistema degradado, a capacidade de alguns circuitos é superada. A maior porcentagem ocorre no alimentador HIP – SR03 que atinge 112,1 %. Nos casos em que isso ocorrer deverão ser previstas restrições de carregamento moderadas.

A menor tensão mostrada na Tabela 5.9 atinge 0,934 p.u. nas barras E8 e E9.

6.3 Anel PEE/HIP / SE AC

6.3.1 Sistema íntegro

Com o sistema íntegro, nenhum circuito tem sua capacidade superada, conforme mostrado na Tabela 5-7-1:

Com relação às tensões mínimas nas barras, verifica-se da Tabela 5.10 que a menor tensão ocorre nas barras SR07 e E14. A queda de tensão de 1,3 % que se verifica é aceitável.

6.3.2 Sistema degradado

Com o sistema degradado, nenhum circuito tem sua capacidade superada, conforme mostrado na Tabela 5-7-1:

Com relação às tensões mínimas nas barras, verifica-se da Tabela 5.10 que a menor tensão ocorre nas barras SR05, PAS e E10. A queda de tensão de 4,8 % que se verifica é aceitável.

7 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.

7.1 Anel Brasília Centro – PEE/HIP

7.1.1 Sistema Íntegro

Tabela 7-1 – Resultados – SE BC – PEE/HIP - Íntegro

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
PEE/HIP	SR04	4033,9	883,9	4129,6	177,9	61,7	49,4
PEE/HIP	SR03	3651,8	1353,1	3894,5	167,8	43,9	87,0
SE BC	SR02	2385,5	1376,0	2753,9	118,7	23,7	53,2
SE BC	SR01	2861,0	1146,7	3082,2	132,8	27,5	64,0
SR04	SR02	359,0	-373,9	518,3	22,7	1,5	1,5
SR04	E8	168,2	126,0	210,2	9,2	0,2	0,0
SR04	E9	168,1	126,1	210,1	9,2	0,0	0,0
SR03	E5	168,7	125,8	210,4	9,2	0,2	0,0
SR03	E6	171,7	124,6	212,1	9,3	0,0	0,0
SR03	E7	168,7	125,8	210,4	9,2	0,2	0,0
SR02	E3	168,0	126,6	210,3	9,2	0,0	0,0
SR02	E4	168,2	126,1	210,2	9,2	0,2	0,0
SR01	SR03	464,3	162,9	492,0	21,5	0,9	0,9
SR01	E2	243,5	178,7	302,0	13,2	0,0	0,0
SR01	E1	240,8	179,9	300,6	13,2	0,4	0,1

Tabela 7-2 – Tensões – SE BC – PEE/HIP - Íntegro

Barra	Tensão (p.u.)
PEE/HIP	1,000
SE BC	1,000
SR04	0,983
SR03	0,982
SR02	0,983
SR01	0,984
E8	0,982
E9	0,983
E5	0,981
E6	0,981
E7	0,981
E3	0,983
E4	0,982
E2	0,984

Barra	Tensão (p.u.)
E1	0,983

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 80.

7.1.2 Alimentador BC – SR01 fora de operação

Tabela 7-3 – Resultados – SE BC – PEE/HIP – SE BC-SR01 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
PEE/HIP	SR04	4033,9	883,9	4129,6	177,9	61,7	49,4
PEE/HIP	SR03	6626,2	2626,5	7127,7	307,1	147,1	291,4
SE BC	SR02	2385,5	1376,0	2753,9	118,7	23,7	53,2
SR04	SR02	359,0	-373,9	518,3	22,7	1,5	1,5
SR04	E8	168,2	126,0	210,2	9,2	0,2	0,0
SR04	E9	168,0	126,1	210,1	9,2	0,0	0,0
SR03	SR01	2398,4	925,1	2570,7	114,6	25,6	25,6
SR03	E5	168,4	126,4	210,6	9,4	0,2	0,0
SR03	E6	169,9	128,4	212,9	9,5	0,0	0,0
SR03	E7	168,4	126,4	210,6	9,4	0,2	0,0
SR02	E3	168,0	126,4	210,3	9,2	0,0	0,0
SR02	E4	168,2	126,0	210,2	9,2	0,2	0,0
SR01	E2	242,4	183,5	304,0	13,7	0,1	0,0
SR01	E1	240,7	180,5	300,9	13,6	0,4	0,1

Tabela 7-4 – Tensões – SE BC – PEE/HIP – SE BC-SR01 fora

Barra	Tensão (p.u.)
PEE/HIP	1,000
SE BC	1,000
SR04	0,983
SR03	0,966
SR02	0,983
SR01	0,954
E8	0,982
E9	0,983
E5	0,966
E6	0,966
E7	0,966
E3	0,983

Barra	Tensão (p.u.)
E4	0,982
E2	0,954
E1	0,953

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 81.

7.1.3 Alimentador BC – SR02 fora de operação

Tabela 7-5 – Resultados – SE BC – PEE/HIP – SE BC-SR02 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
PEE/HIP	SR04	6576,8	2350,9	6984,3	300,9	176,6	141,3
PEE/HIP	SR03	3671,3	1354,4	3913,2	168,6	44,3	87,8
SE BC	SR01	2877,8	1147,9	3098,3	133,5	27,8	64,7
SR04	SR02	2778,9	999,0	2953,0	131,2	49,1	49,6
SR04	E8	168,0	125,9	209,9	9,3	0,2	0,0
SR04	E9	166,5	125,0	208,2	9,3	0,0	0,0
SR03	E5	168,2	125,9	210,0	9,2	0,2	0,0
SR03	E6	167,9	124,8	209,2	9,2	0,0	0,0
SR03	E7	168,2	125,9	210,0	9,2	0,2	0,0
SR02	E3	165,7	125,4	207,8	9,4	0,0	0,0
SR02	E4	167,9	125,9	209,9	9,5	0,2	0,0
SR01	SR03	465,0	164,1	493,1	21,6	0,9	0,9
SR01	E2	239,9	178,8	299,2	13,1	0,0	0,0
SR01	E1	240,3	179,9	300,2	13,1	0,4	0,1

Tabela 7-6 – Tensões – SE BC – PEE/HIP – SE BC-SR02 fora

Barra	Tensão (p.u.)
PEE/HIP	1,000
SE BC	1,000
SR04	0,969
SR03	0,982
SR02	0,949
SR01	0,984
E8	0,969
E9	0,969
E5	0,981
E6	0,981

Barra	Tensão (p.u.)
E7	0,981
E3	0,949
E4	0,948
E2	0,984
E1	0,983

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 82.

7.1.4 Alimentador HIP – SR03 fora de operação

Tabela 7-7 – Resultados – SE BC – PEE/HIP – PEE/HIP-SR03 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
PEE/HIP	SR04	4033,9	884,0	4129,6	177,9	61,7	49,4
SE BC	SR02	2385,5	1376,0	2753,9	118,7	23,7	53,2
SE BC	SR01	6675,4	2769,7	7227,2	311,4	151,3	352,0
SR04	SR02	359,0	-373,9	518,3	22,7	1,5	1,5
SR04	E8	168,2	126,0	210,2	9,2	0,2	0,0
SR04	E9	168,0	126,1	210,1	9,2	0,0	0,0
SR03	E5	168,6	125,9	210,4	9,6	0,2	0,0
SR03	E6	171,2	125,0	212,0	9,7	0,0	0,0
SR03	E7	168,6	125,9	210,4	9,6	0,2	0,0
SR02	E3	168,0	126,4	210,3	9,2	0,0	0,0
SR02	E4	168,2	126,0	210,2	9,2	0,2	0,0
SR01	SR03	4150,0	1500,9	4413,0	197,5	76,1	76,1
SR01	E2	242,2	179,6	301,5	13,5	0,1	0,0
SR01	E1	240,7	180,0	300,5	13,5	0,4	0,1

Tabela 7-8 – Tensões – SE BC – PEE/HIP – PEE/HIP-SR03 fora

Barra	Tensão (p.u.)
PEE/HIP	1,000
SE BC	1,000
SR04	0,983
SR03	0,942
SR02	0,983
SR01	0,963
E8	0,982
E9	0,983

Barra	Tensão (p.u.)
E5	0,941
E6	0,941
E7	0,941
E3	0,983
E4	0,982
E2	0,963
E1	0,962

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 83.

7.1.5 Alimentador HIP – SR04 fora de operação

Tabela 7-9 – Resultados – SE BC – PEE/HIP – PEE/HIP-SR04 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
PEE/HIP	SR03	3669,9	1348,4	3909,8	168,5	44,3	87,7
SE BC	SR02	6554,8	2587,9	7047,2	303,6	154,9	348,5
SE BC	SR01	2876,7	1142,7	3095,3	133,4	27,7	64,6
SR04	E8	168,6	126,1	210,5	9,7	0,2	0,0
SR04	E9	171,0	126,4	212,6	9,8	0,0	0,0
SR03	E5	168,2	126,0	210,2	9,2	0,2	0,0
SR03	E6	168,1	125,9	210,0	9,2	0,0	0,0
SR03	E7	168,2	126,0	210,2	9,2	0,2	0,0
SR02	SR04	3686,9	1292,6	3906,9	175,0	87,2	88,2
SR02	E3	169,4	126,5	211,4	9,5	0,0	0,0
SR02	E4	168,4	126,1	210,4	9,4	0,2	0,0
SR01	SR03	465,2	163,8	493,2	21,6	0,9	0,9
SR01	E2	240,1	179,9	300,0	13,1	0,0	0,0
SR01	E1	240,4	180,1	300,3	13,1	0,4	0,1

Tabela 7-10 – Tensões – SE BC – PEE/HIP – PEE/HIP-SR04 fora

Barra	Tensão (p.u.)
PEE/HIP	1,000
SE BC	1,000
SR04	0,935
SR03	0,982
SR02	0,962
SR01	0,984

Barra	Tensão (p.u.)
E8	0,934
E9	0,934
E5	0,981
E6	0,981
E7	0,981
E3	0,962
E4	0,961
E2	0,984
E1	0,983

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 84.

7.1.6 Alimentador SR02 – SR04 fora de operação

Tabela 7-11 – Resultados – SE BC – PEE/HIP – SR02-SR04 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
PEE/HIP	SR04	3667,4	1251,5	3875,1	167,0	54,4	43,5
PEE/HIP	SR03	3651,8	1353,1	3894,5	167,8	43,9	87,0
SE BC	SR02	2749,8	1011,5	2929,9	126,2	26,8	60,2
SE BC	SR01	2861,0	1146,7	3082,2	132,8	27,5	64,0
SR04	E8	168,2	126,0	210,1	9,2	0,2	0,0
SR04	E9	168,1	125,6	209,8	9,2	0,0	0,0
SR03	E5	168,7	125,8	210,4	9,2	0,2	0,0
SR03	E6	171,7	124,6	212,1	9,3	0,0	0,0
SR03	E7	168,7	125,8	210,4	9,2	0,2	0,0
SR02	E3	167,2	125,2	208,9	9,1	0,0	0,0
SR02	E4	168,1	125,9	210,0	9,2	0,2	0,0
SR01	SR03	464,3	162,9	492,0	21,5	0,9	0,9
SR01	E2	243,5	178,7	302,0	13,2	0,0	0,0
SR01	E1	240,8	179,9	300,6	13,2	0,4	0,1

Tabela 7-12 – Tensões – SE BC – PEE/HIP – SR02-SR04 fora

Barra	Tensão (p.u.)
PEE/HIP	1,000
SE BC	1,000
SR04	0,983
SR03	0,982

Barra	Tensão (p.u.)
SR02	0,984
SR01	0,984
E8	0,982
E9	0,983
E5	0,981
E6	0,981
E7	0,981
E3	0,984
E4	0,984
E2	0,984
E1	0,983

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 86.

7.1.7 Alimentador SR01 – SR03 fora de operação

Tabela 7-13 – Resultados – SE BC – PEE/HIP – SR01-SR03 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
PEE/HIP	SR04	4033,8	883,9	4129,5	177,9	61,7	49,4
PEE/HIP	SR03	4129,5	1543,5	4408,5	190,0	56,3	111,5
SE BC	SR02	2385,5	1376,0	2753,9	118,7	23,7	53,2
SE BC	SR01	2386,7	969,5	2576,1	111,0	19,2	44,7
SR04	SR02	359,0	-373,8	518,2	22,7	1,5	1,5
SR04	E8	168,2	126,0	210,2	9,2	0,2	0,0
SR04	E9	168,1	126,0	210,0	9,2	0,0	0,0
SR03	E5	168,7	125,8	210,4	9,3	0,2	0,0
SR03	E6	171,5	123,9	211,6	9,3	0,0	0,0
SR03	E7	168,7	125,8	210,4	9,3	0,2	0,0
SR02	E3	168,1	125,9	210,0	9,2	0,0	0,0
SR02	E4	168,2	126,0	210,2	9,2	0,2	0,0
SR01	E2	243,7	178,0	301,8	13,2	0,0	0,0
SR01	E1	240,8	179,8	300,5	13,1	0,4	0,1

Tabela 7-14 – Tensões – SE BC – PEE/HIP – SR01-SR03 fora

Barra	Tensão (p.u.)
PEE/HIP	1,000
SE BC	1,000

Barra	Tensão (p.u.)
SR04	0,983
SR03	0,979
SR02	0,983
SR01	0,987
E8	0,982
E9	0,983
E5	0,978
E6	0,979
E7	0,978
E3	0,983
E4	0,982
E2	0,987
E1	0,986

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 85.

7.2 Anel Ceilândia Sul – Águas Claras

7.2.1 Sistema Íntegro

Tabela 7-15 – Resultados – SE CS – SE AC – Íntegro

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR13	5182,7	2233,9	5643,6	236,1	66,1	148,6
SE CS	SR12	5347,9	1961,5	5696,3	238,3	3,6	9,3
SE AC	SR09	8060,4	2155,3	8343,6	349,1	44,6	61,7
SE AC	SR61	6789,4	2011,5	7081,1	296,3	19,1	28,8
SE AC	SM	1950,6	661,6	2059,7	86,2	14,6	4,6
SR13	SR11	2283,2	1195,5	2577,2	110,1	42,6	55,4
SR13	E24	72,0	54,3	90,2	3,9	0,0	0,0
SR13	E25	71,9	55,3	90,7	3,9	0,0	0,0
SR12	SR14	2459,4	1044,0	2671,8	111,9	28,2	42,1
SR12	E22	72,0	53,9	90,0	3,8	0,0	0,0
SR12	E23	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR11	E21	164,1	143,5	218,0	9,6	0,0	0,0
SR14	SR10	81,8	249,9	262,9	11,2	1,0	1,0
SR14	E27	72,0	54,1	90,1	3,8	0,0	0,0
SR14	E26	71,8	54,9	90,4	3,8	0,0	0,0
SR62	SR11	777,1	-201,9	802,8	35,0	5,8	8,3
SR62	E31	72,0	54,2	90,1	3,9	0,1	0,0

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SR62	E32	71,2	55,9	90,5	3,9	0,0	0,0
SR62	E33	72,0	54,2	90,1	3,9	0,1	0,0
SR10	E18	72,0	54,1	90,1	3,9	0,0	0,0
SR10	E19	71,8	54,8	90,3	3,9	0,0	0,0
SR10	E20	240,6	180,2	300,6	12,9	0,6	0,1
SR09	SR62	4504,1	1036,6	4621,8	194,7	139,7	96,0
SR09	E17	71,9	54,3	90,2	3,8	0,0	0,0
SR61	SR10	3647,3	1038,4	3792,2	159,3	59,7	40,9
SR61	E30	72,1	53,8	89,9	3,8	0,0	0,0

Tabela 7-16 – Tensões – SE CS – SE AC – Íntegro

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SE AC	1,000
SR13	0,979
SR12	0,999
SR11	0,955
SR14	0,983
SR62	0,959
SR10	0,978
SR09	0,993
SR61	0,996
E24	0,978
E25	0,979
E22	0,999
E23	0,999
E21	0,955
E27	0,983
E26	0,983
E31	0,959
E32	0,959
E33	0,959
E18	0,978
E19	0,978
E20	0,976
E17	0,993
SM	0,993
E30	0,996

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 89.

7.2.2 Alimentador CS – SR13 fora de operação

Tabela 7-17 – Resultados – SE CS – SE AC – SE CS-SR13 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR12	5348,4	1961,7	5696,9	238,3	3,6	9,3
SE AC	SR09	14661,1	5748,3	15747,7	658,9	158,7	219,9
SE AC	SR61	6789,7	2011,5	7081,4	296,3	19,1	28,8
SE AC	SM	1950,6	661,5	2059,7	86,2	14,6	4,6
SR13	E24	71,6	54,2	89,8	4,9	0,1	0,0
SR13	E25	69,8	54,8	88,7	4,8	0,0	0,0
SR12	SR14	2459,5	1044,0	2671,9	111,9	28,2	42,1
SR12	E22	72,0	53,9	90,0	3,8	0,0	0,0
SR12	E23	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR11	SR13	2929,4	1010,5	3098,8	162,0	92,2	119,8
SR11	E21	153,9	132,4	203,0	10,6	0,0	0,0
SR14	SR10	81,8	249,9	263,0	11,2	1,0	1,0
SR14	E27	72,0	54	90,0	3,8	0,0	0,0
SR14	E26	72,0	53,8	89,9	3,8	0,0	0,0
SR62	SR11	6466,9	2684,9	7002,1	327,8	510,1	727,3
SR62	E31	71,9	54,1	90,0	4,2	0,1	0,0
SR62	E32	70,4	54,2	88,9	4,2	0,0	0,0
SR62	E33	72,0	54,0	90,0	4,2	0,1	0,0
SR10	E18	72,1	54,0	90,1	3,9	0,0	0,0
SR10	E19	72,2	54,0	90,1	3,9	0,0	0,0
SR10	E20	240,7	180,1	300,6	12,9	0,6	0,1
SR09	SR62	10990,6	4471,7	11865,4	503,7	934,9	642,1
SR09	E17	71,9	54,2	90,1	3,8	0,0	0,0
SR61	SR10	3647,3	1038,6	3792,3	159,3	59,7	40,9
SR61	E30	71,9	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0

Tabela 7-18 – Tensões – SE CS – SE AC – SE CS-SR13 fora

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SE AC	1,000
SR13	0,769
SR12	0,999
SR11	0,801
SR14	0,983

Barra	Tensão (p.u.)
SR62	0,894
SR10	0,978
SR09	0,986
SR61	0,996
E24	0,768
E25	0,768
E22	0,999
E23	0,999
E21	0,800
E27	0,983
E26	0,983
E31	0,893
E32	0,893
E33	0,893
E18	0,978
E19	0,978
E20	0,977
E17	0,986
SM	0,994
E30	0,996

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 90.

7.2.3 Alimentador CS – SR12 fora de operação

Tabela 7-19 – Resultados – SE CS – SE AC – SE CS-SR12 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR13	5173,1	2250,0	5641,2	236,0	66,0	148,5
SE AC	SR09	8055,4	2167,2	8341,8	349,0	44,5	61,7
SE AC	SR61	13355,4	5057,8	14281,1	597,5	77,5	117,3
SE AC	SM	1950,6	661,6	2059,7	86,2	14,6	4,6
SR13	SR11	2274,8	1209,8	2576,5	110,1	42,6	55,3
SR13	E24	72,1	54,1	90,1	3,9	0,0	0,0
SR13	E25	72,2	54,5	90,4	3,9	0,0	0,0
SR12	E22	71,3	54,0	89,4	4,7	0,0	0,0
SR12	E23	71,1	54,1	89,4	4,7	0,0	0,0
SR11	E21	171,4	130,7	215,5	9,4	0,0	0,0
SR14	SR12	2946,8	994,9	3110,3	160,2	57,9	86,4

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SR14	E27	71,7	54,0	89,7	4,6	0,1	0,0
SR14	E26	67,8	54,0	86,7	4,5	0,0	0,0
SR62	SR11	773,9	-192,2	797,4	34,8	5,7	8,2
SR62	E31	72,1	54,0	90,1	3,9	0,1	0,0
SR62	E32	72,4	53,7	90,1	3,9	0,0	0,0
SR62	E33	72,1	54,0	90,1	3,9	0,1	0,0
SR10	SR14	5986,2	2408,1	6452,4	287,6	682,9	661,7
SR10	E18	71,9	54,1	90,0	4,0	0,0	0,0
SR10	E19	70,9	54,5	89,5	4,0	0,0	0,0
SR10	E20	240,6	180,1	300,6	13,4	0,7	0,1
SR09	SR62	4499,2	1048,5	4619,7	194,7	139,6	95,9
SR09	E17	72,0	54,1	90,1	3,8	0,0	0,0
SR61	SR10	10154,8	3996,1	10912,8	460,2	498,6	341,2
SR61	E30	71,8	54,5	90,1	3,8	0,0	0,0

Tabela 7-20 – Tensões – SE CS – SE AC – SE CS-SR12 fora

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SE AC	1,000
SR13	0,979
SR12	0,791
SR11	0,955
SR14	0,812
SR62	0,959
SR10	0,938
SR09	0,993
SR61	0,992
E24	0,978
E25	0,979
E22	0,791
E23	0,791
E21	0,955
E27	0,812
E26	0,812
E31	0,959
E32	0,959
E33	0,959
E18	0,938
E19	0,938
E20	0,937
E17	0,993

Barra	Tensão (p.u.)
SM	0,993
E30	0,992

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 91.

7.2.4 Alimentador AC – SR09 fora de operação

Tabela 7-21 – Resultados – SE CS – SE AC – SE AC-SR09 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR13	17121,1	10239,7	19949,5	834,7	825,4	1857,4
SE CS	SR12	5348,6	1961,7	5696,9	238,4	3,6	9,3
SE AC	SR61	6789,8	2011,3	7081,4	296,3	19,1	28,8
SE AC	SM	1950,6	661,5	2059,7	86,2	14,6	4,6
SR13	SR11	13461,7	7490,7	15405,4	701,7	1729,8	2247,3
SR13	E24	72,0	54,0	90,0	4,1	0,0	0,0
SR13	E25	71,5	54,1	89,7	4,1	0,0	0,0
SR12	SR14	2459,4	1044,1	2671,9	111,9	28,2	42,1
SR12	E22	72,0	53,9	90,0	3,8	0,0	0,0
SR12	E23	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR11	SR62	8713,5	4292,5	9713,5	530,4	1335,5	1904,4
SR11	E21	160,1	129,8	206,2	11,3	0,0	0,0
SR14	SR10	81,8	249,8	262,9	11,2	1,0	1,0
SR14	E27	72,1	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR14	E26	72,1	54,0	90,1	3,8	0,0	0,0
SR62	SR09	3787,3	1244,7	3986,6	272,7	273,9	188,1
SR62	E31	71,9	54,1	90,0	6,2	0,2	0,0
SR62	E32	69,7	55,0	88,8	6,1	0,0	0,0
SR62	E33	72,0	54,1	90,1	6,2	0,2	0,0
SR10	E18	72,1	54,0	90,0	3,9	0,0	0,0
SR10	E19	72,0	53,9	89,9	3,8	0,0	0,0
SR10	E20	240,6	180,1	300,6	12,9	0,6	0,1
SR09	E17	71,0	54,4	89,5	6,6	0,0	0,0
SR61	SR10	3647,4	1038,3	3792,3	159,3	59,7	40,9
SR61	E30	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0

Tabela 7-22 – Tensões – SE CS – SE AC – SE AC-SR09 fora

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SE AC	1,000
SR13	0,919
SR12	0,999
SR11	0,766
SR14	0,983
SR62	0,612
SR10	0,978
SR09	0,563
SR61	0,996
E24	0,918
E25	0,919
E22	0,999
E23	0,999
E21	0,766
E27	0,983
E26	0,983
E31	0,611
E32	0,612
E33	0,611
E18	0,978
E19	0,978
E20	0,976
E17	0,563
SM	0,993
E30	0,996

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 92.

7.2.5 Alimentador AC – SR61 fora de operação

Tabela 7-23 – Resultados – SE CS – SE AC – SE AC-SR61 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR13	5177,8	2251,9	5646,3	236,2	66,1	148,8
SE CS	SR12	14142,2	6217,8	15448,7	646,3	26,7	68,6
SE AC	SR09	8059,2	2168,2	8345,7	349,2	44,6	61,8
SE AC	SM	1950,6	661,5	2059,7	86,2	14,6	4,6
SR13	SR11	2278,9	1211,3	2580,8	110,3	42,7	55,5

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SR13	E24	72,0	54,1	90,1	3,8	0,0	0,0
SR13	E25	71,9	54,3	90,1	3,8	0,0	0,0
SR12	SR14	11229,4	5241,1	12392,2	520,2	609,9	910,6
SR12	E22	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR12	E23	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR11	E21	167,6	127,5	210,6	9,2	0,0	0,0
SR14	SR10	8267,0	3579,7	9008,8	408,6	1378,5	1335,6
SR14	E27	71,9	54,1	90,0	4,1	0,0	0,0
SR14	E26	70,6	54,5	89,2	4,0	0,0	0,0
SR62	SR11	776,6	-191,8	799,9	34,9	5,8	8,2
SR62	E31	72,1	54,0	90,1	3,9	0,1	0,0
SR62	E32	72,0	54,0	90,0	3,9	0,0	0,0
SR62	E33	72,1	54,0	90,1	3,9	0,1	0,0
SR10	SR61	3212,6	1000,1	3364,7	189,8	84,8	58,0
SR10	E18	71,6	54,3	89,8	5,1	0,1	0,0
SR10	E19	69,0	55,5	88,5	5,0	0,0	0,0
SR10	E20	240,8	180,3	300,8	17,0	1,1	0,2
SR09	SR62	4502,5	1049,5	4623,2	194,8	139,8	96,0
SR09	E17	72,0	54,1	90,1	3,8	0,0	0,0
SR61	E30	68,8	55,3	88,3	5,1	0,0	0,0

Tabela 7-24 – Tensões – SE CS – SE AC – SE AC-SR61 fora

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SE AC	1,000
SR13	0,979
SR12	0,996
SR11	0,955
SR14	0,922
SR62	0,959
SR10	0,742
SR09	0,993
SR61	0,720
E24	0,978
E25	0,979
E22	0,996
E23	0,996
E21	0,955
E27	0,922

Barra	Tensão (p.u.)
E26	0,922
E31	0,959
E32	0,959
E33	0,959
E18	0,741
E19	0,742
E20	0,739
E17	0,993
SM	0,993
E30	0,720

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 93.

7.2.6 Barra AC fora de operação

Tabela 7-25 – Resultados – SE CS – SE AC – Barra SE AC fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR13	18023,8	7336,7	19459,8	814,2	785,4	1767,3
SE CS	SR12	14121,3	6213,1	15427,7	645,5	26,7	68,5
SR13	SR11	14470,5	4964,6	15298,5	687,5	1660,9	2157,8
SR13	E24	76,1	63,4	99,0	4,5	0,1	0,0
SR13	E25	92,3	101,0	136,8	6,1	0,0	0,0
SR12	SR14	11207,9	5237,1	12371,1	519,3	607,8	907,5
SR12	E22	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR12	E23	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR11	SR62	10977,5	5000,7	12062,8	632,5	1899,0	2707,9
SR11	E21	464,5	904,1	1016,4	53,3	0,2	0,0
SR14	SR10	8250,2	3578,3	8992,8	407,9	1373,3	1330,6
SR14	E27	72,0	54,0	90,1	4,1	0,0	0,0
SR14	E26	71,9	54,2	90,1	4,1	0,0	0,0
SR62	SR09	5909,0	1868,7	6197,4	418,6	645,7	443,5
SR62	E31	80,0	67,4	104,7	7,1	0,2	0,0
SR62	E32	156,7	195,6	250,7	16,9	0,1	0,0
SR62	E33	78,4	64,6	101,5	6,9	0,2	0,0
SR10	SR61	3207,8	1001,6	3360,6	189,5	84,5	57,8
SR10	E18	72,1	54,0	90,0	5,1	0,1	0,0
SR10	E19	72,0	54,0	90,0	5,1	0,0	0,0

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SR10	E20	241,1	180,2	301,0	17,0	1,1	0,2
SR09	E17	110,0	105,9	152,7	11,7	0,1	0,0
SR09	SM	1991,3	699,5	2110,5	162,0	42,9	13,4
SR61	E30	72,0	53,8	89,9	5,2	0,0	0,0

Tabela 7-26 – Tensões – SE CS – SE AC – Barra SE AC fora

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SR13	0,931
SR12	0,996
SR11	0,798
SR14	0,922
SR62	0,620
SR10	0,742
SR09	0,545
SR61	0,720
E24	0,930
E25	0,931
E22	0,996
E23	0,996
E21	0,798
E27	0,922
E26	0,922
E31	0,618
E32	0,620
E33	0,618
E18	0,742
E19	0,742
E20	0,740
E17	0,545
SM	0,533
E30	0,720

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 94.

7.2.7 Alimentador SR13 – SR11 fora de operação

Tabela 7-27 – Resultados – SE CS – SE AC – SR13-SR11 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR13	2851,5	934,2	3000,6	125,5	18,7	42,0
SE CS	SR12	5348,0	1961,7	5696,4	238,3	3,6	9,3
SE AC	SR09	10694,9	3669,0	11306,8	473,1	81,8	113,4
SE AC	SR61	6789,4	2011,5	7081,1	296,3	19,1	28,8
SE AC	SM	1950,6	661,6	2059,7	86,2	14,6	4,6
SR13	E24	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR13	E25	72,0	53,9	89,9	3,8	0,0	0,0
SR12	SR14	2459,6	1044,0	2672,0	111,9	28,2	42,1
SR12	E22	72,0	53,9	90,0	3,8	0,0	0,0
SR12	E23	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR11	E21	149,9	131,1	199,1	9,3	0,0	0,0
SR14	SR10	81,7	249,9	263,0	11,2	1,0	1,0
SR14	E27	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR14	E26	72,0	53,7	89,8	3,8	0,0	0,0
SR62	SR11	3139,1	1097,7	3325,5	149,2	105,7	150,7
SR62	E31	71,9	54,0	89,9	4,0	0,1	0,0
SR62	E32	70,2	53,8	88,4	4,0	0,0	0,0
SR62	E33	72,0	54,0	90,0	4,0	0,1	0,0
SR10	E18	72,1	54,0	90,1	3,9	0,0	0,0
SR10	E19	72,1	53,9	90,0	3,8	0,0	0,0
SR10	E20	240,6	180,1	300,6	12,9	0,6	0,1
SR09	SR62	7101,3	2498,7	7528,1	318,2	373,0	256,2
SR09	E17	71,9	54,0	89,9	3,8	0,0	0,0
SR61	SR10	3647,3	1038,5	3792,3	159,3	59,7	40,9
SR61	E30	72,1	53,9	90,0	3,8	0,0	0,0

Tabela 7-28 – Tensões – SE CS – SE AC – SR13-SR11 fora

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SE AC	1,000
SR13	0,990
SR12	0,999
SR11	0,891
SR14	0,983
SR62	0,933
SR10	0,978

Barra	Tensão (p.u.)
SR09	0,990
SR61	0,996
E24	0,989
E25	0,990
E22	0,999
E23	0,999
E21	0,891
E27	0,983
E26	0,983
E31	0,932
E32	0,933
E33	0,932
E18	0,978
E19	0,978
E20	0,976
E17	0,990
SM	0,993
E30	0,996

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 95.

7.2.8 Alimentador SR12 – SR14 fora de operação

Tabela 7-29 – Resultados – SE CS – SE AC – SR12-SR14 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR13	5182,7	2233,9	5643,6	236,1	66,1	148,6
SE CS	SR12	2887,0	910,4	3027,1	126,6	1,0	2,6
SE AC	SR09	8060,4	2155,3	8343,6	349,1	44,6	61,7
SE AC	SR61	9475,8	3227,2	10010,3	418,8	38,1	57,6
SE AC	SM	1950,6	661,6	2059,7	86,2	14,6	4,6
SR13	SR11	2283,2	1195,5	2577,2	110,1	42,6	55,4
SR13	E24	72,0	54,3	90,2	3,9	0,0	0,0
SR13	E25	71,9	55,3	90,7	3,9	0,0	0,0
SR12	E22	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR12	E23	72,0	54,1	90,0	3,8	0,0	0,0
SR11	E21	164,1	143,5	218,0	9,6	0,0	0,0
SR14	E27	71,8	54,2	90,0	4,1	0,0	0,0
SR14	E26	69,9	55,7	89,4	4,1	0,0	0,0

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SR62	SR11	777,1	-201,9	802,8	35,0	5,8	8,3
SR62	E31	72,0	54,2	90,1	3,9	0,1	0,0
SR62	E32	71,2	55,9	90,5	3,9	0,0	0,0
SR62	E33	72,0	54,2	90,1	3,9	0,1	0,0
SR10	SR14	2458,8	851,6	2602,0	113,2	105,7	102,4
SR10	E18	72,0	54,0	90,0	3,9	0,0	0,0
SR10	E19	71,6	54,0	89,7	3,9	0,0	0,0
SR10	E20	240,6	180,1	300,6	13,1	0,7	0,1
SR09	SR62	4504,1	1036,6	4621,8	194,7	139,7	96,0
SR09	E17	71,9	54,3	90,2	3,8	0,0	0,0
SR61	SR10	6314,8	2225,4	6695,5	281,7	186,7	127,8
SR61	E30	72,0	54,8	90,5	3,8	0,0	0,0

Tabela 7-30 – Tensões – SE CS – SE AC – SR12-SR14 fora

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SE AC	1,000
SR13	0,979
SR12	0,999
SR11	0,955
SR14	0,913
SR62	0,959
SR10	0,962
SR09	0,993
SR61	0,994
E24	0,978
E25	0,979
E22	0,999
E23	0,999
E21	0,955
E27	0,912
E26	0,913
E31	0,959
E32	0,959
E33	0,959
E18	0,962
E19	0,962
E20	0,960
E17	0,993

Barra	Tensão (p.u.)
SM	0,993
E30	0,994

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 96.

7.2.9 Alimentador SR11 – SR62 fora de operação

Tabela 7-31 – Resultados – SE CS – SE AC – SR11-SR62 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR13	5982,5	2091,3	6337,5	265,2	83,3	187,4
SE CS	SR12	5348,1	1961,7	5696,5	238,3	3,6	9,3
SE AC	SR09	7233,2	2320,4	7596,2	317,8	36,9	51,2
SE AC	SR61	6789,4	2011,5	7081,2	296,3	19,1	28,8
SE AC	SM	1950,6	661,6	2059,7	86,2	14,6	4,6
SR13	SR11	3066,9	1014,1	3230,2	138,2	67,1	87,1
SR13	E24	72,1	54,3	90,3	3,9	0,0	0,0
SR13	E25	72,4	55,3	91,1	3,9	0,0	0,0
SR12	SR14	2459,6	1044,0	2672,0	111,9	28,2	42,1
SR12	E22	72,0	53,9	90,0	3,8	0,0	0,0
SR12	E23	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR11	E21	172,3	144,1	224,6	9,9	0,0	0,0
SR14	SR10	81,8	249,9	262,9	11,2	1,0	1,0
SR14	E27	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR14	E26	72,0	53,8	89,9	3,8	0,0	0,0
SR62	E31	72,1	54,0	90,0	3,9	0,1	0,0
SR62	E32	72,1	53,5	89,8	3,9	0,0	0,0
SR62	E33	72,1	54,0	90,1	3,9	0,1	0,0
SR10	E18	72,1	54,1	90,1	3,9	0,0	0,0
SR10	E19	72,0	54,7	90,4	3,9	0,0	0,0
SR10	E20	240,6	180,1	300,6	12,9	0,6	0,1
SR09	SR62	3684,5	1212,2	3878,8	163,4	98,3	67,5
SR09	E17	72,0	54,2	90,1	3,8	0,0	0,0
SR61	SR10	3647,3	1038,3	3792,2	159,3	59,7	40,9
SR61	E30	72,1	53,9	90,0	3,8	0,0	0,0

Tabela 7-32 – Tensões – SE CS – SE AC – SR11-SR62 fora

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SE AC	1,000
SR13	0,978
SR12	0,999
SR11	0,951
SR14	0,983
SR62	0,964
SR10	0,978
SR09	0,993
SR61	0,996
E24	0,978
E25	0,978
E22	0,999
E23	0,999
E21	0,951
E27	0,983
E26	0,983
E31	0,964
E32	0,964
E33	0,963
E18	0,978
E19	0,978
E20	0,976
E17	0,993
SM	0,993
E30	0,996

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 100.

7.2.10 Alimentador SR14 – SR10 fora de operação

Tabela 7-33 – Resultados – SE CS – SE AC – SR14-SR10 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR13	5182,7	2233,9	5643,6	236,1	66,1	148,6
SE CS	SR12	5263,0	1705,3	5532,4	231,5	3,4	8,8
SE AC	SR09	8060,4	2155,3	8343,6	349,1	44,6	61,7
SE AC	SR61	6876,4	2265,7	7240,0	302,9	19,9	30,1
SE AC	SM	1950,6	661,6	2059,7	86,2	14,6	4,6

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SR13	SR11	2283,2	1195,5	2577,2	110,1	42,6	55,4
SR13	E24	72,0	54,3	90,2	3,9	0,0	0,0
SR13	E25	71,9	55,3	90,7	3,9	0,0	0,0
SR12	SR14	2374,7	788,0	2502,0	104,8	24,7	37,0
SR12	E22	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR12	E23	72,0	54,1	90,1	3,8	0,0	0,0
SR11	E21	164,1	143,5	218,0	9,6	0,0	0,0
SR14	E27	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR14	E26	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR62	SR11	777,1	-201,9	802,8	35,0	5,8	8,3
SR62	E31	72,0	54,2	90,1	3,9	0,1	0,0
SR62	E32	71,2	55,9	90,5	3,9	0,0	0,0
SR62	E33	72,0	54,2	90,1	3,9	0,1	0,0
SR10	E18	72,0	54,0	90,1	3,9	0,0	0,0
SR10	E19	72,0	54,2	90,1	3,9	0,0	0,0
SR10	E20	240,6	180,1	300,6	12,9	0,6	0,1
SR09	SR62	4504,1	1036,6	4621,8	194,7	139,7	96,0
SR09	E17	71,9	54,3	90,2	3,8	0,0	0,0
SR61	SR10	3733,2	1291,3	3950,3	165,9	64,8	44,3
SR61	E30	71,9	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0

Tabela 7-34 – Tensões – SE CS – SE AC – SR14-SR10 fora

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SE AC	1,000
SR13	0,979
SR12	0,999
SR11	0,955
SR14	0,985
SR62	0,959
SR10	0,977
SR09	0,993
SR61	0,996
E24	0,978
E25	0,979
E22	0,999
E23	0,999

Barra	Tensão (p.u.)
E21	0,955
E27	0,985
E26	0,985
E31	0,959
E32	0,959
E33	0,959
E18	0,977
E19	0,977
E20	0,975
E17	0,993
SM	0,993
E30	0,996

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 97.

7.2.11 Alimentador SR62 – SR09 fora de operação

Tabela 7-35 – Resultados – SE CS – SE AC – SR62-SR09 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR13	10229,9	4284,8	11091,0	464,0	255,1	574,1
SE CS	SR12	5348,2	1961,6	5696,6	238,3	3,6	9,3
SE AC	SR09	3520,7	1069,0	3679,4	153,9	8,7	12,0
SE AC	SR61	6789,4	2011,5	7081,2	296,3	19,1	28,8
SE AC	SM	1950,6	661,6	2059,7	86,2	14,6	4,6
SR13	SR11	7142,5	2820,8	7679,3	334,8	393,9	511,7
SR13	E24	72,1	54,2	90,2	3,9	0,0	0,0
SR13	E25	72,4	55,0	90,9	4,0	0,0	0,0
SR12	SR14	2459,7	1043,9	2672,1	111,9	28,2	42,2
SR12	E22	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR12	E23	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR11	SR62	3750,2	1376,9	3995,0	187,5	167,0	238,1
SR11	E21	173,0	143,0	224,4	10,5	0,0	0,0
SR14	SR10	81,7	249,9	262,9	11,2	1,0	1,0
SR14	E27	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR14	E26	71,9	53,6	89,7	3,8	0,0	0,0
SR62	E31	72,2	54,4	90,4	4,5	0,1	0,0
SR62	E32	73,5	57,5	93,3	4,7	0,0	0,0
SR62	E33	72,2	54,3	90,3	4,5	0,1	0,0
SR10	E18	72,0	54,1	90,1	3,9	0,0	0,0

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SR10	E19	71,9	54,6	90,3	3,9	0,0	0,0
SR10	E20	240,6	180,1	300,6	12,9	0,6	0,1
SR09	E17	72,0	54,1	90,1	3,8	0,0	0,0
SR61	SR10	3647,4	1038,2	3792,3	159,3	59,7	40,9
SR61	E30	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0

Tabela 7-36 – Tensões – SE CS – SE AC – SR62-SR09 fora

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SE AC	1,000
SR13	0,959
SR12	0,999
SR11	0,891
SR14	0,983
SR62	0,839
SR10	0,978
SR09	0,997
SR61	0,996
E24	0,959
E25	0,959
E22	0,999
E23	0,999
E21	0,891
E27	0,983
E26	0,983
E31	0,838
E32	0,838
E33	0,838
E18	0,978
E19	0,978
E20	0,976
E17	0,996
SM	0,993
E30	0,996

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 98.

7.2.12 Alimentador SR10– SR61 fora de operação

Tabela 7-37 – Resultados – SE CS – SE AC – SR10-SR61 fora

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR13	5182,6	2233,9	5643,6	236,1	66,1	148,6
SE CS	SR12	9391,9	3487,1	10018,4	419,2	11,2	28,9
SE AC	SR09	8060,4	2155,3	8343,6	349,1	44,6	61,7
SE AC	SR61	3127,5	949,8	3268,6	136,8	4,1	6,1
SE AC	SM	1950,6	661,6	2059,7	86,2	14,6	4,6
SR13	SR11	2283,2	1195,5	2577,2	110,1	42,6	55,4
SR13	E24	72,0	54,3	90,2	3,9	0,0	0,0
SR13	E25	71,9	55,3	90,7	3,9	0,0	0,0
SR12	SR14	6495,8	2549,6	6978,3	292,6	192,9	288,0
SR12	E22	72,1	53,9	90,0	3,8	0,0	0,0
SR12	E23	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR11	E21	164,1	143,6	218,0	9,6	0,0	0,0
SR14	SR10	3952,8	1512,8	4232,4	184,9	282,3	273,5
SR14	E27	72,0	54,3	90,2	3,9	0,0	0,0
SR14	E26	71,6	56,7	91,3	4,0	0,0	0,0
SR62	SR11	777,1	-201,9	802,8	35,0	5,8	8,3
SR62	E31	72,0	54,2	90,1	3,9	0,1	0,0
SR62	E32	71,2	55,9	90,5	3,9	0,0	0,0
SR62	E33	72,0	54,2	90,1	3,9	0,1	0,0
SR10	E18	71,9	54,6	90,3	4,3	0,0	0,0
SR10	E19	70,9	57,4	91,3	4,4	0,0	0,0
SR10	E20	240,7	180,4	300,8	14,4	0,8	0,1
SR09	SR62	4504,1	1036,6	4621,8	194,7	139,7	96,0
SR09	E17	71,9	53,9	89,9	3,8	0,0	0,0
SR61	E30	72,1	53,8	90,0	3,8	0,0	0,0

Tabela 7-38 – Tensões – SE CS – SE AC – SR10-SR61 fora

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SE AC	1,000
SR13	0,979
SR12	0,998
SR11	0,955
SR14	0,958
SR62	0,959
SR10	0,877

Barra	Tensão (p.u.)
SR09	0,993
SR61	0,999
E24	0,978
E25	0,979
E22	0,998
E23	0,998
E21	0,955
E27	0,957
E26	0,957
E31	0,959
E32	0,959
E33	0,959
E18	0,876
E19	0,877
E20	0,875
E17	0,993
SM	0,993
E30	0,999

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 99.

7.2.13 Socorro Samambaia

Tabela 7-39 – Resultados – SE CS – SE AC – Socorro Samambaia

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR13	6598,7	3352,6	7401,6	309,7	113,6	255,7
SE CS	SR12	5349,0	1961,3	5697,2	238,4	3,6	9,3
SE AC	SR09	13549,1	4052,3	14142,1	591,7	128,0	177,3
SE AC	SR61	6789,9	2011,1	7081,5	296,3	19,1	28,8
SE AC	SM	1950,6	661,5	2059,7	86,2	14,6	4,6
SR13	SR11	3651,7	2207,7	4267,1	183,9	118,8	154,3
SR13	E24	72,0	54,2	90,2	3,9	0,0	0,0
SR13	E25	72,0	55,0	90,6	3,9	0,0	0,0
SR12	SR14	2459,6	1043,9	2671,9	111,9	28,2	42,1
SR12	E22	72,0	53,9	90,0	3,8	0,0	0,0
SR12	E23	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR11	SR62	523,1	1124,0	1239,7	55,8	14,8	21,1

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SR11	E21	165,7	143,5	219,2	9,9	0,0	0,0
SR14	SR10	81,8	249,9	262,9	11,2	1,0	1,0
SR14	E27	72,0	54,1	90,1	3,8	0,0	0,0
SR14	E26	71,8	54,7	90,3	3,8	0,0	0,0
SR62	E31	72,0	54,2	90,1	4,1	0,1	0,0
SR62	E32	71,5	55,2	90,3	4,1	0,0	0,0
SR62	E33	72,0	54,1	90,1	4,1	0,1	0,0
SR62	SR63	6127,8	2297,0	6544,1	300,6	66,1	126,9
SR10	E18	72,1	54,0	90,0	3,9	0,0	0,0
SR10	E19	72,0	53,8	89,9	3,8	0,0	0,0
SR10	E20	240,6	180,1	300,5	12,9	0,6	0,1
SR09	SR62	9909,1	2818,1	10302,1	436,4	701,6	481,9
SR09	E17	72,0	54,1	90,1	3,8	0,0	0,0
SR61	SR10	3647,5	1038,2	3792,4	159,3	59,7	40,9
SR61	E30	72,0	54,1	90,1	3,8	0,0	0,0

Tabela 7-40 – Tensões – SE CS – SE AC – Socorro Samambaia

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SE AC	1,000
SR13	0,971
SR12	0,999
SR11	0,930
SR14	0,983
SR62	0,911
SR10	0,978
SR09	0,988
SR61	0,996
E24	0,970
E25	0,971
E22	0,999
E23	0,999
E21	0,930
E27	0,983
E26	0,983
E31	0,910
E32	0,911
E33	0,910
E18	0,978

Barra	Tensão (p.u.)
E19	0,978
E20	0,976
E17	0,988
SM	0,993
E30	0,996
SR63	0,896

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 102.

7.2.14 Socorro Ceilândia

Tabela 7-41 – Resultados – SE CS – SE AC – Socorro Ceilândia

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE CS	SR13	5182,7	2233,9	5643,6	236,1	66,1	148,6
SE CS	SR12	8284,0	3287,5	8912,5	372,9	8,9	22,9
SE AC	SR09	8060,3	2155,6	8343,6	349,1	44,6	61,7
SE AC	SR61	7712,6	2188,1	8017,0	335,4	24,4	37,0
SE AC	SM	1950,6	661,5	2059,7	86,2	14,6	4,6
SR13	SR11	2283,2	1195,5	2577,2	110,1	42,6	55,4
SR13	E24	72,0	54,3	90,2	3,9	0,0	0,0
SR13	E25	71,9	55,3	90,7	3,9	0,0	0,0
SR12	SR14	5389,7	2356,2	5882,3	246,6	137,0	204,6
SR12	E22	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR12	E23	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR11	E21	164,1	143,6	218,0	9,6	0,0	0,0
SR14	E27	72,0	54,0	90,1	3,9	0,0	0,0
SR14	E26	71,9	54,3	90,1	3,9	0,0	0,0
SR14	SR15	3696,8	1287,6	3914,6	170,0	39,7	49,6
SR62	SR11	777,1	-201,9	802,8	35,0	5,8	8,3
SR62	E31	72,0	54,2	90,1	3,9	0,1	0,0
SR62	E32	71,2	55,9	90,5	3,9	0,0	0,0
SR62	E33	72,0	54,2	90,1	3,9	0,1	0,0
SR10	SR14	804,2	-103,4	810,8	34,8	10,0	9,7
SR10	E18	72,0	54,1	90,1	3,9	0,0	0,0
SR10	E19	71,9	54,4	90,2	3,9	0,0	0,0
SR10	E20	240,6	180,1	300,6	12,9	0,6	0,1
SR09	SR62	4504,1	1036,5	4621,8	194,7	139,7	96,0
SR09	E17	72,0	54,1	90,1	3,8	0,0	0,0

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SR61	SR10	4565,4	1206,4	4722,1	198,4	92,6	63,4
SR61	E30	72,0	54,4	90,3	3,8	0,0	0,0

Tabela 7-42 – Tensões – SE CS – SE AC – Socorro Ceilândia

Barra	Tensão (p.u.)
SE CS	1,000
SE AC	1,000
SR13	0,979
SR12	0,998
SR11	0,955
SR14	0,963
SR62	0,959
SR10	0,973
SR09	0,993
SR61	0,996
E24	0,978
E25	0,979
E22	0,998
E23	0,998
E21	0,955
E27	0,963
E26	0,963
E31	0,959
E32	0,959
E33	0,959
E18	0,973
E19	0,973
E20	0,972
E17	0,993
SM	0,993
E30	0,996
SR15	0,950

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 101.

7.3 Anel Águas Claras – PEE/HIP

7.3.1 Alimentação através do PEE/HIP

Tabela 7-43 – Resultados – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através do PEE/HIP

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
PEE/HIP	SR05	2672,5	849,0	2804,2	120,8	0,4	0,7
PEE/HIP	SR06	2225,4	722,5	2339,7	100,8	15,2	10,7
SR05	PAS	72,0	54,1	90,0	3,9	0,0	0,0
SR05	E10	72,1	54,0	90,1	3,9	0,1	0,0
SR06	E11	71,4	53,6	89,3	3,9	0,0	0,0
SR06	E13	71,5	53,6	89,4	3,9	0,0	0,0

Tabela 7-44 – Tensões – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através do PEE/HIP

Barra	Tensão (p.u.)
PEE/HIP	1,000
SR05	1,000
SR06	0,993
PAS	1,000
E10	0,999
E11	0,993
E13	0,992

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 80.

7.3.2 Alimentação através da SE AC

Tabela 7-45 – Resultados – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através da SE AC

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE AC	SR07	2581,7	827,1	2710,9	112,6	25,9	32,4
SE AC	SR08	2068,4	646,8	2167,2	90,0	10,6	13,6
SR07	E14	108,7	81,3	135,7	5,7	0,1	0,0
SR08	E16	72,1	54,0	90,1	3,8	0,0	0,0

Tabela 7-46 – Tensões – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através da SE AC

Barra	Tensão (p.u.)
SE AC	1,000
SR07	0,987
SR08	0,994
E14	0,987
E16	0,993

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 80.

7.3.3 Alimentação através de PEE/HIP com SE AC fora de operação

Tabela 7-47 – Resultados – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através do PEE/HIP com SE AC fora de operação

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
PEE/HIP	SR05	5276,4	1683,1	5538,4	238,6	1,7	2,6
PEE/HIP	SR06	4357,8	1413,0	4581,1	197,4	58,4	40,9
SR05	SR07	2605,6	830,8	2734,8	117,9	47,5	35,9
SR05	PAS	72,0	54,0	90,0	3,9	0,0	0,0
SR05	E10	72,1	54,0	90,1	3,9	0,1	0,0
SR06	SR08	2090,4	657,5	2191,4	95,8	31,4	23,7
SR06	E11	71,6	53,4	89,4	3,9	0,0	0,0
SR06	E13	71,7	53,5	89,5	3,9	0,0	0,0
SR07	E14	108,1	81,0	135,1	5,9	0,1	0,0
SR08	E16	71,8	53,8	89,7	4,0	0,1	0,0

Tabela 7-48 – Tensões – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através do PEE/HIP com SE AC fora de operação

Barra	Tensão (p.u.)
PEE/HIP	1,000
SR05	0,999
SR06	0,985
SR07	0,979
SR08	0,969
PAS	0,999
E10	0,999
E11	0,985
E13	0,985

Barra	Tensão (p.u.)
E14	0,978
E16	0,968

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 87.

7.3.4 Alimentação através de SE AC com PEE/HIP fora de operação

Tabela 7-49 – Resultados – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através da SE AC com PEE/HIP fora de operação

Origem	Destino	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Potência Aparente (kVA)	Corrente (A)	Perdas (kW)	Perdas (kVAr)
SE AC	SR07	5410,3	1820,7	5708,4	237,1	114,6	143,7
SE AC	SR08	4345,4	1428,5	4574,2	190,0	47,2	60,4
SR07	SR05	2735,3	882,5	2874,1	122,7	52,2	39,4
SR07	E14	107,8	81,2	135,0	5,8	0,1	0,0
SR08	SR06	2240,1	735,2	2357,6	99,3	34,2	25,8
SR08	E16	72,0	54,0	90,0	3,8	0,0	0,0
SR05	PAS	70,1	55,0	89,1	3,9	0,0	0,0
SR05	E10	71,8	54,1	89,9	3,9	0,1	0,0
SR06	E11	72,0	54,0	90,0	3,9	0,0	0,0

Tabela 7-50 – Tensões – SE AC – PEE/HIP – Alimentação através da SE AC com PEE/HIP fora de operação

Barra	Tensão (p.u.)
SE AC	1,000
SR07	0,973
SR08	0,986
SR05	0,953
SR06	0,969
E14	0,973
E16	0,986
PAS	0,952
E10	0,952
E11	0,969
E13	0,969

O diagrama esquemático com os resultados dessa simulação encontra-se no Anexo 1 na página 88.

ANEXO 1

DIAGRAMAS DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

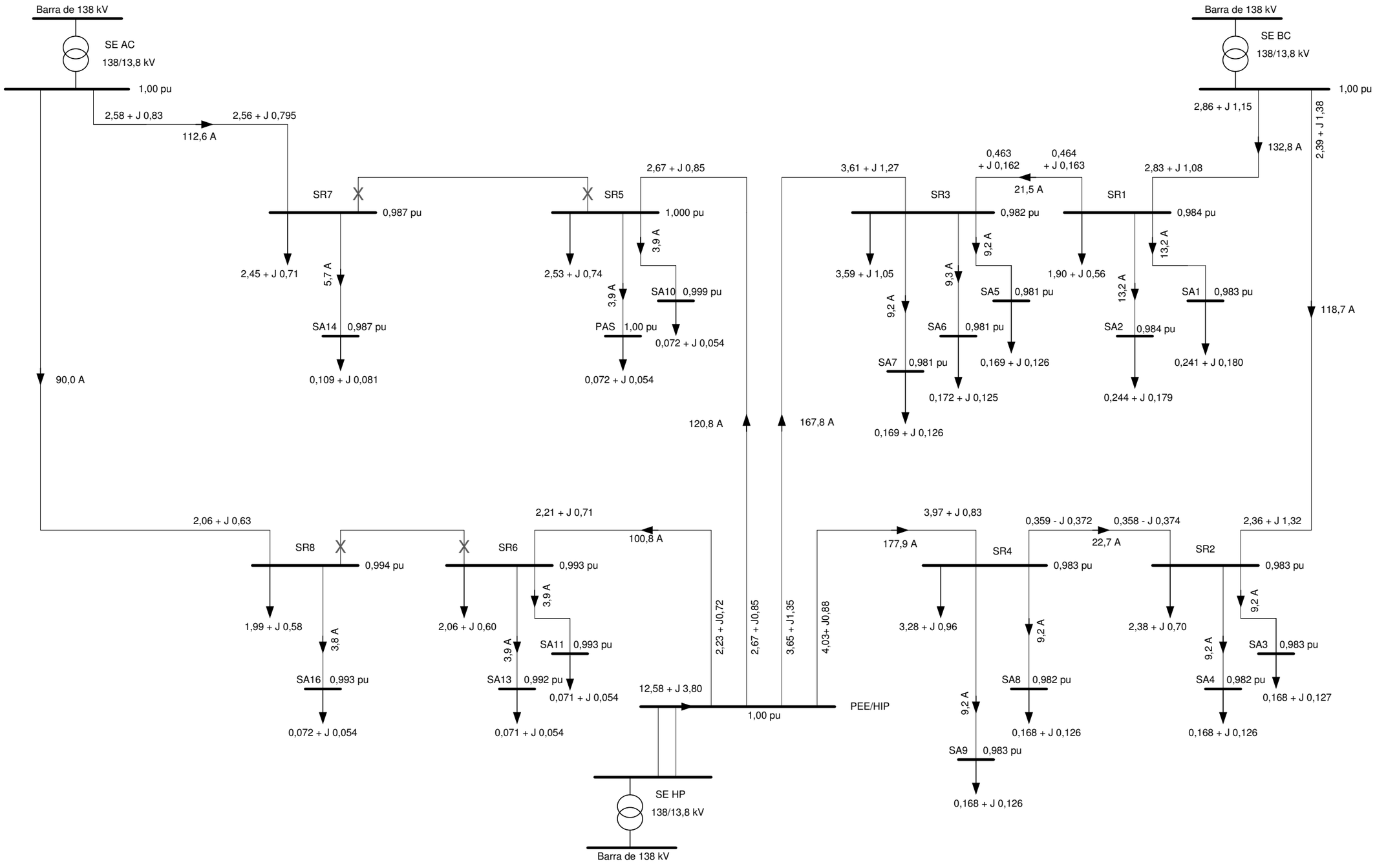


Figura Anexa - 1 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Sistema íntegro

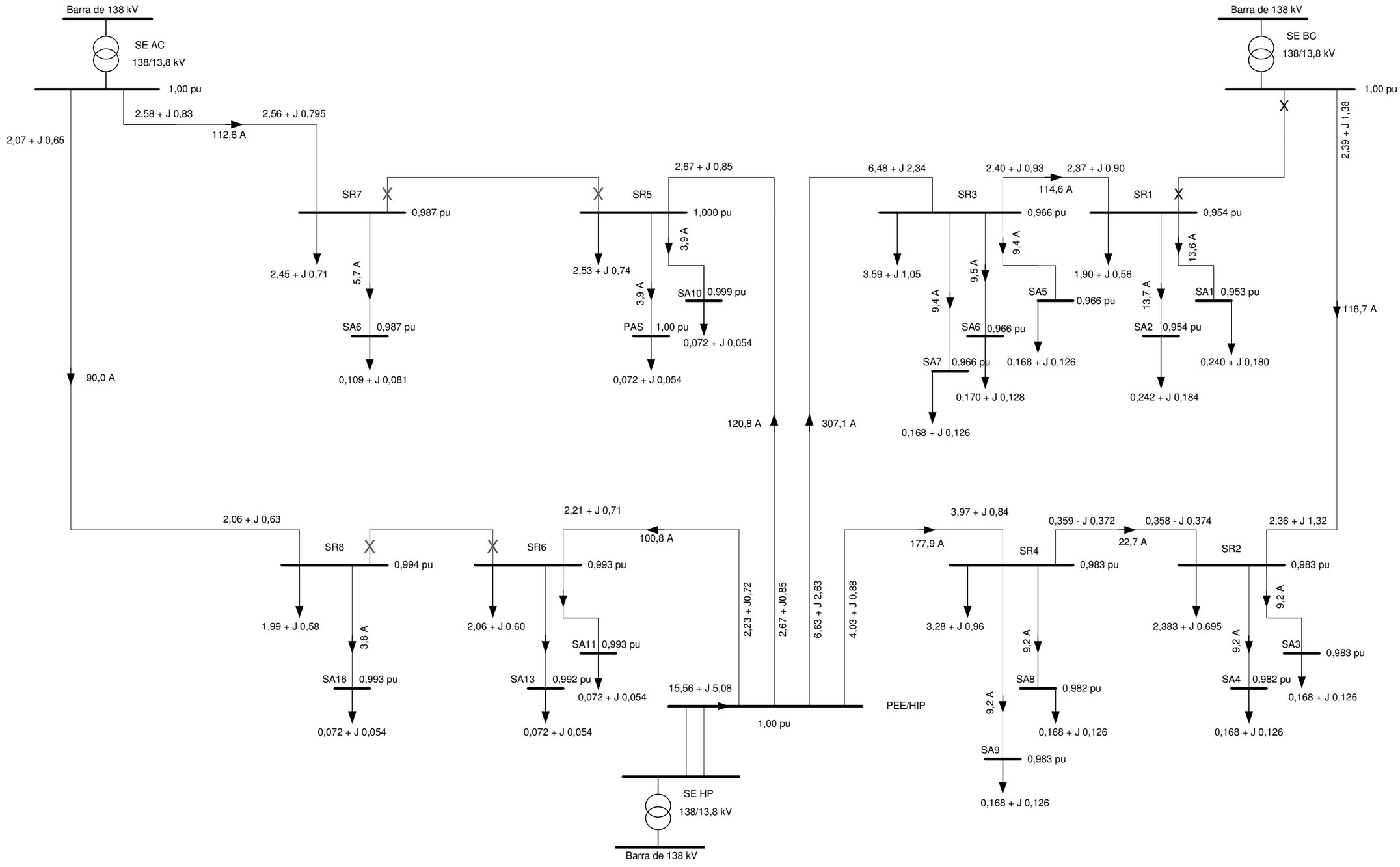


Figura Anexa - 2 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Circuito SE BC – SR01 fora

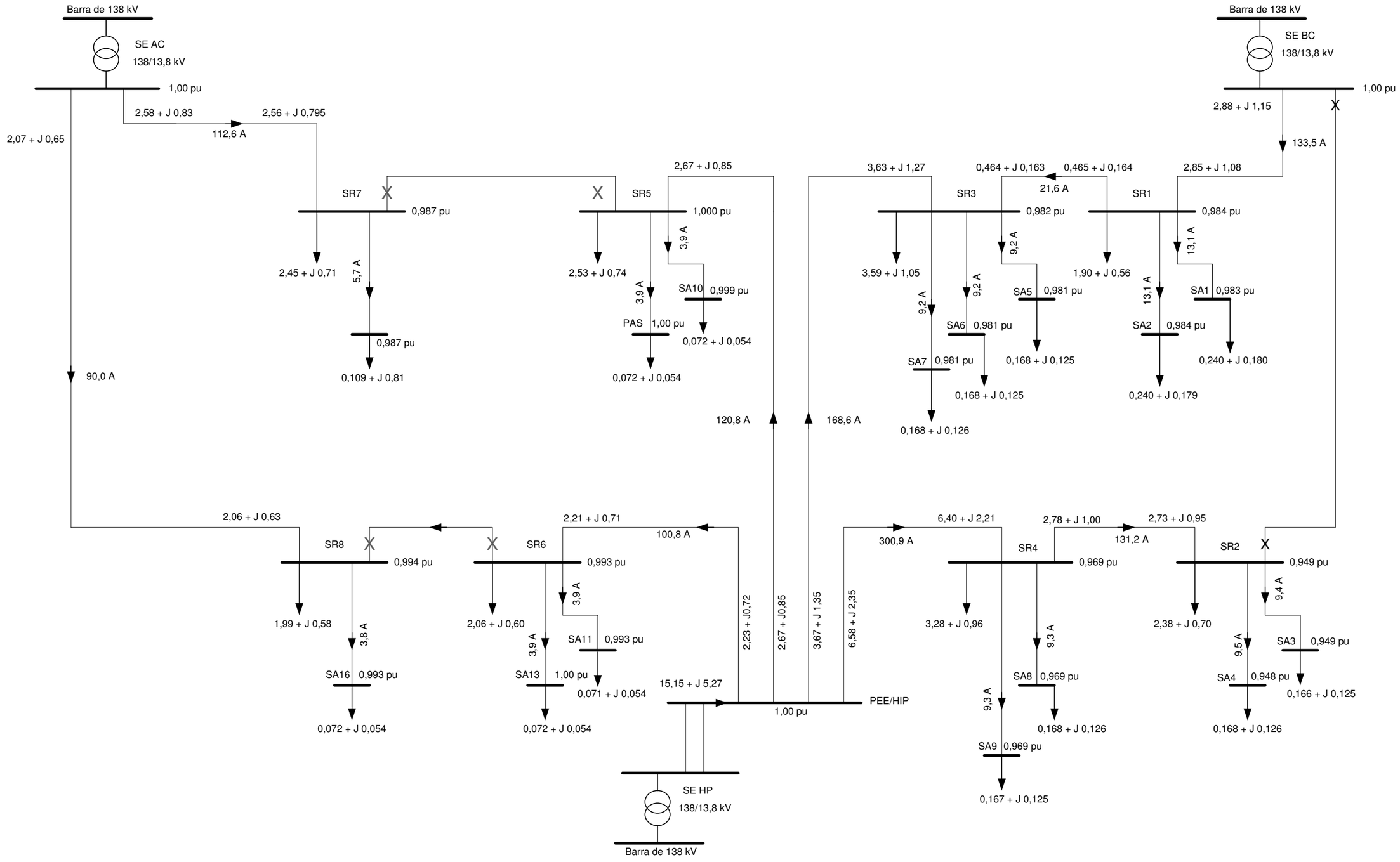


Figura Anexa - 3 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Circuito SE BC – SR02 fora

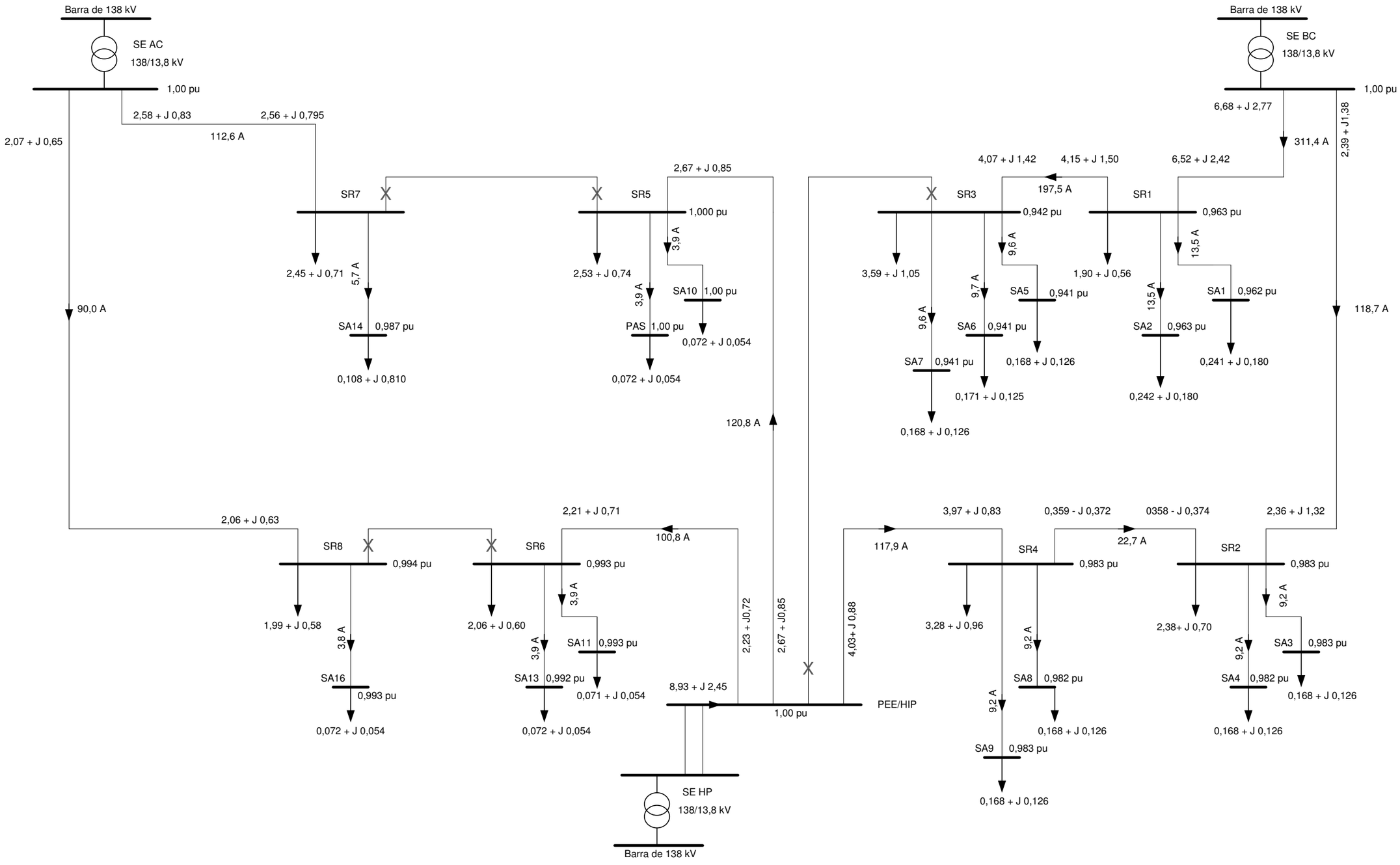


Figura Anexa - 4 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Circuito PEE/HIP – SR03 fora

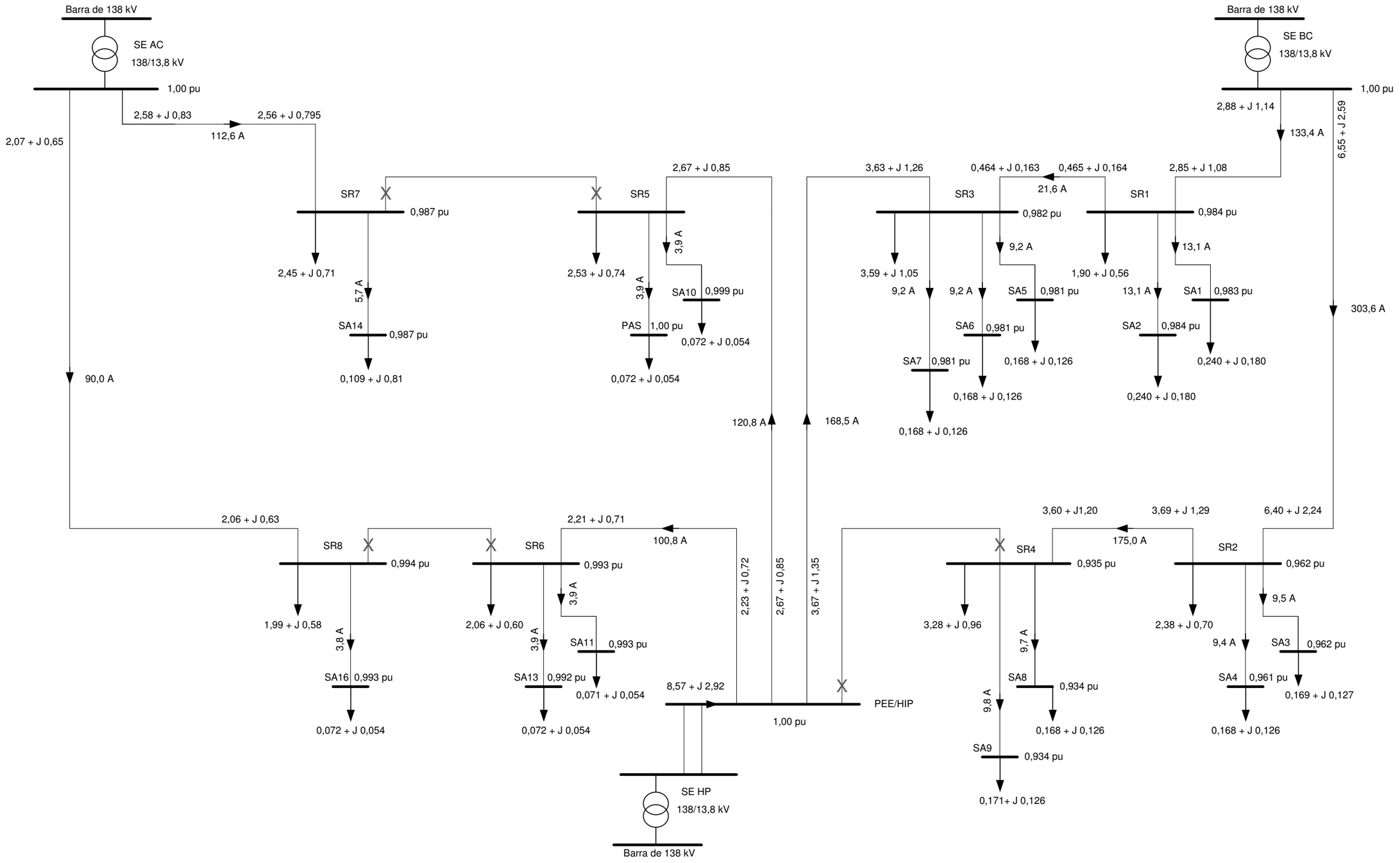


Figura Anexa - 5 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Circuito PEE/HIP – SR04 fora

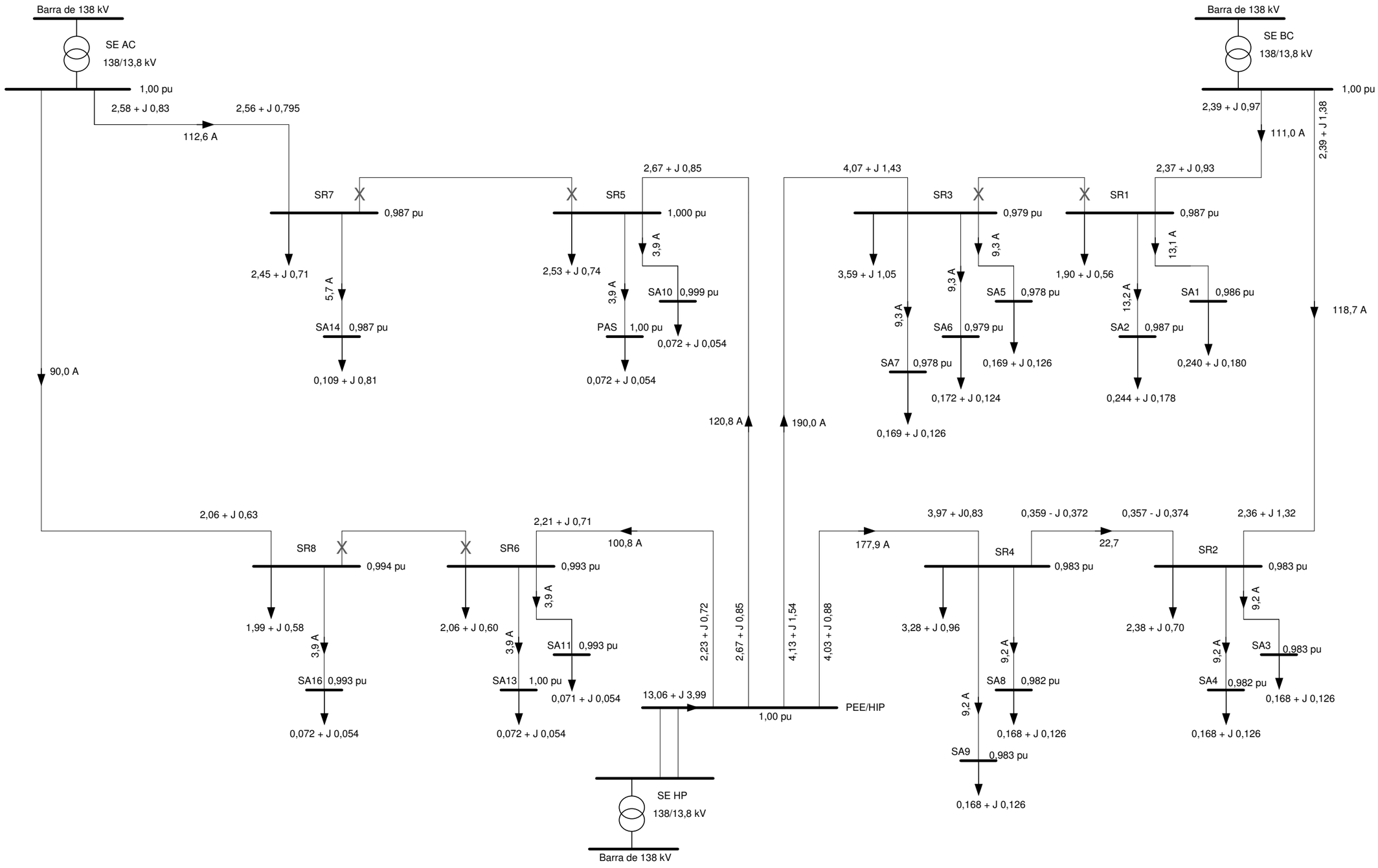


Figura Anexa - 6 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Circuito SR03 – SR01 fora

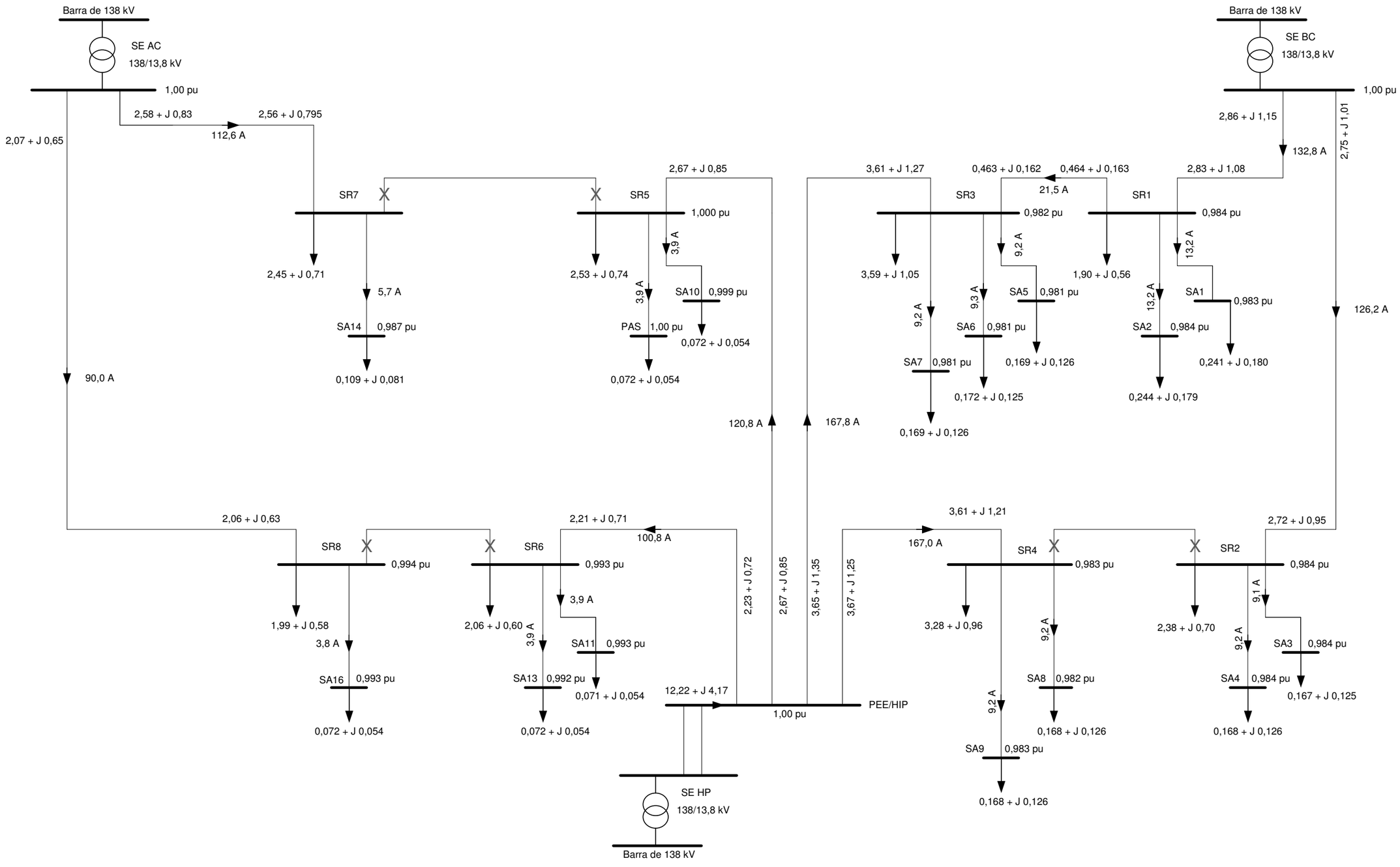


Figura Anexa - 7 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Circuito SR04 – SR02 fora

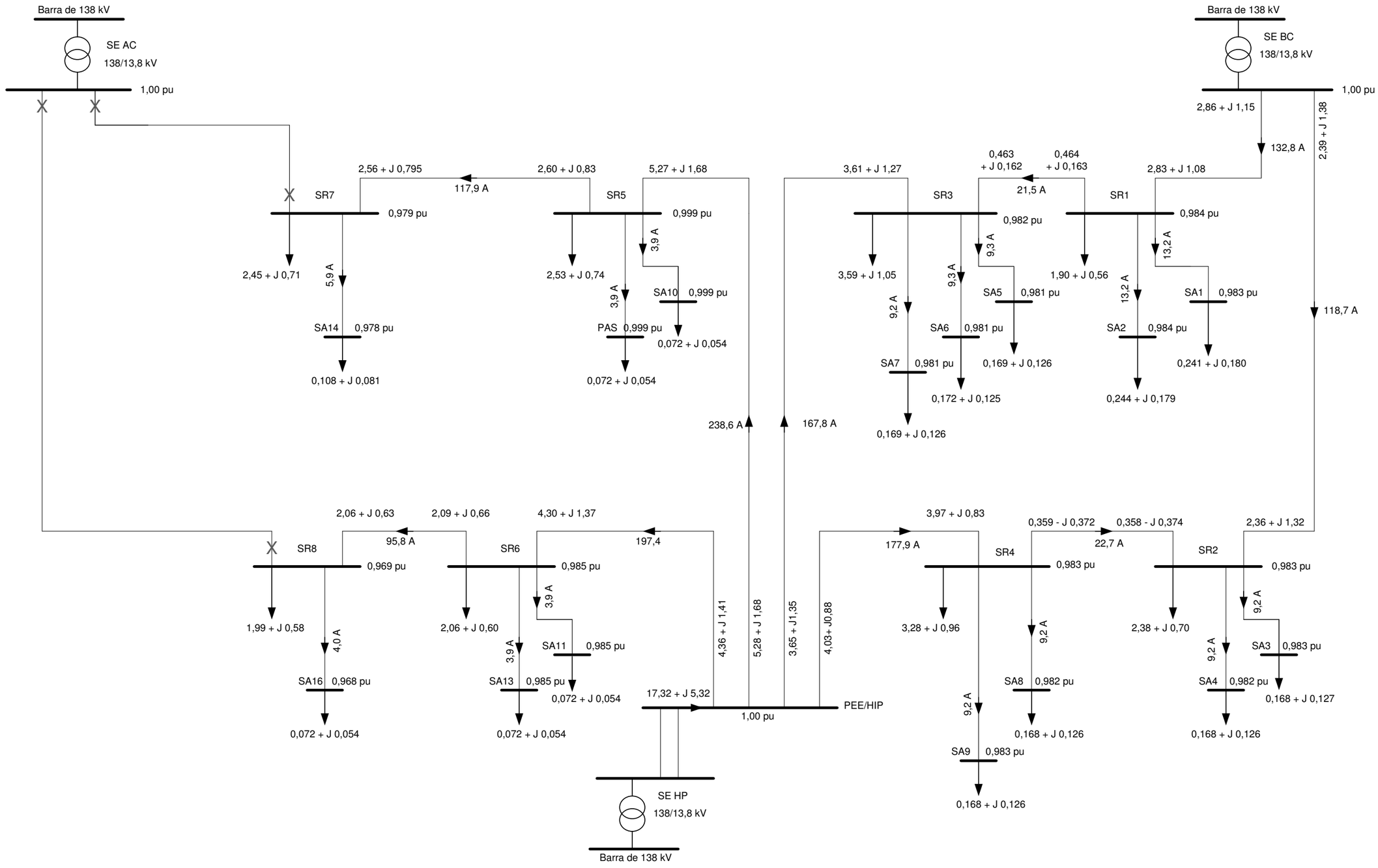


Figura Anexa - 8 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Alimentação através do PEE/HIP com SE AC fora

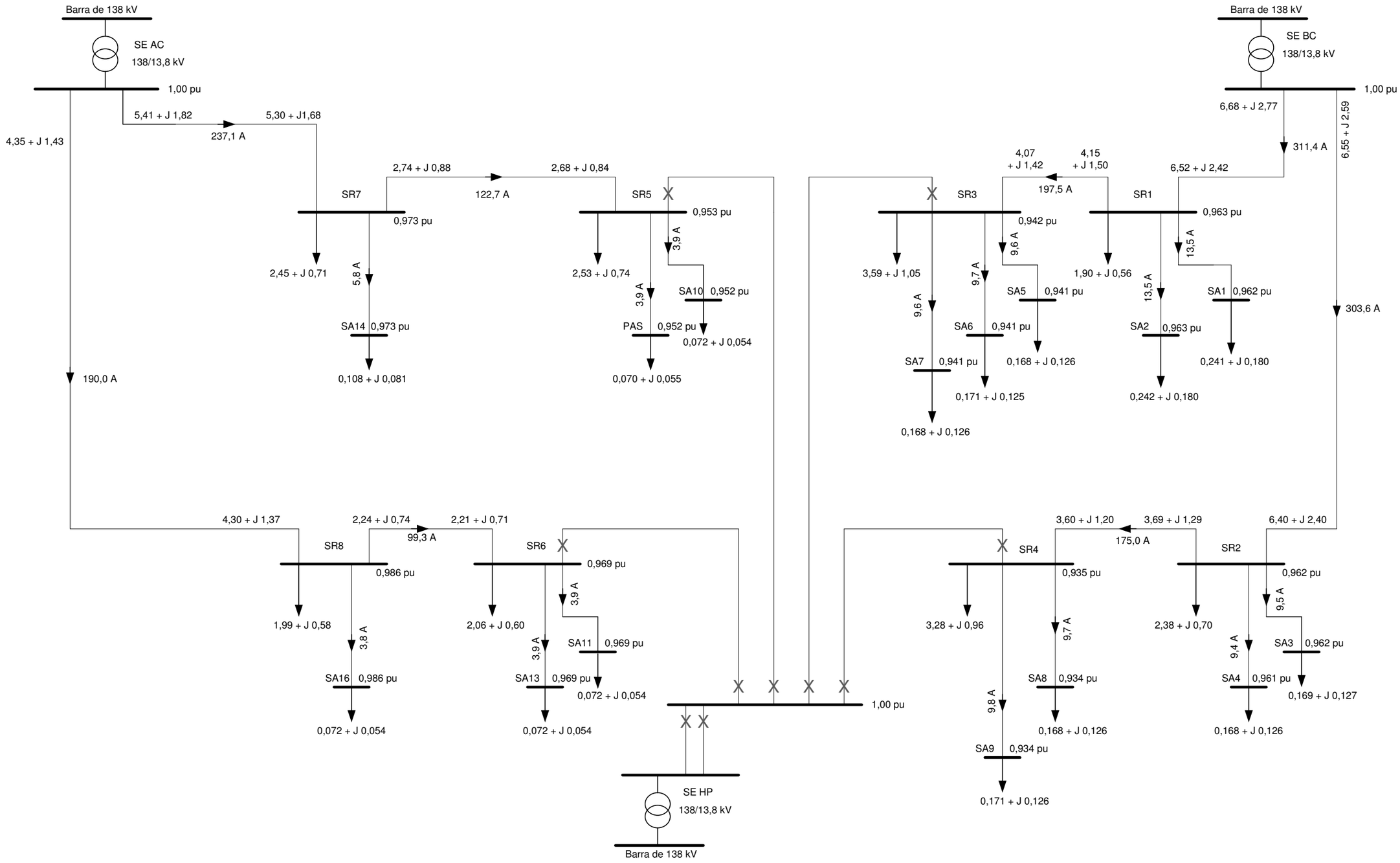


Figura Anexa - 9 – Trecho SE AC – PEE/HIP – SE BC – Alimentação através do SE AC com PEE/HIP fora

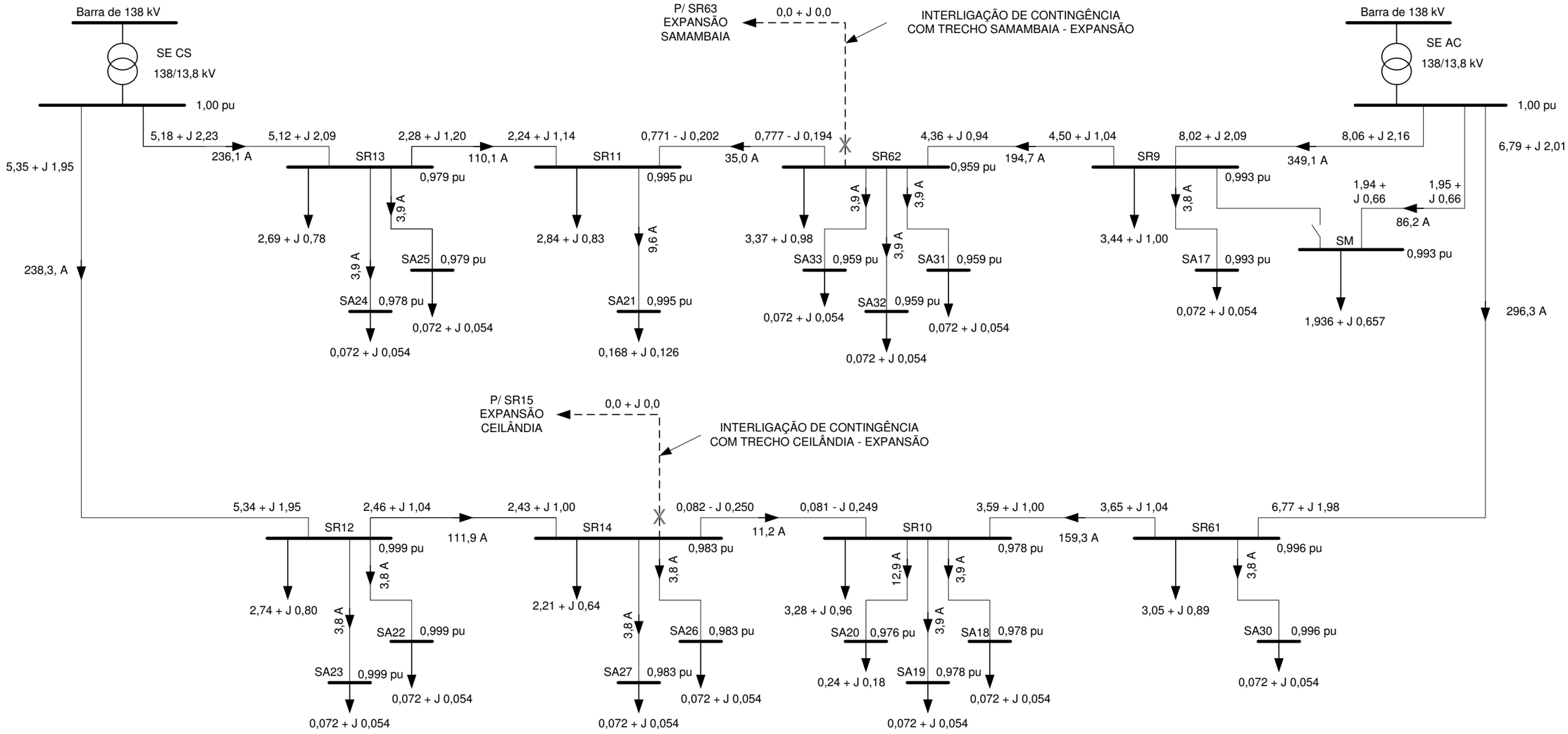


Figura Anexa - 10 – Anel SE CS –SE AC – Sistema íntegro

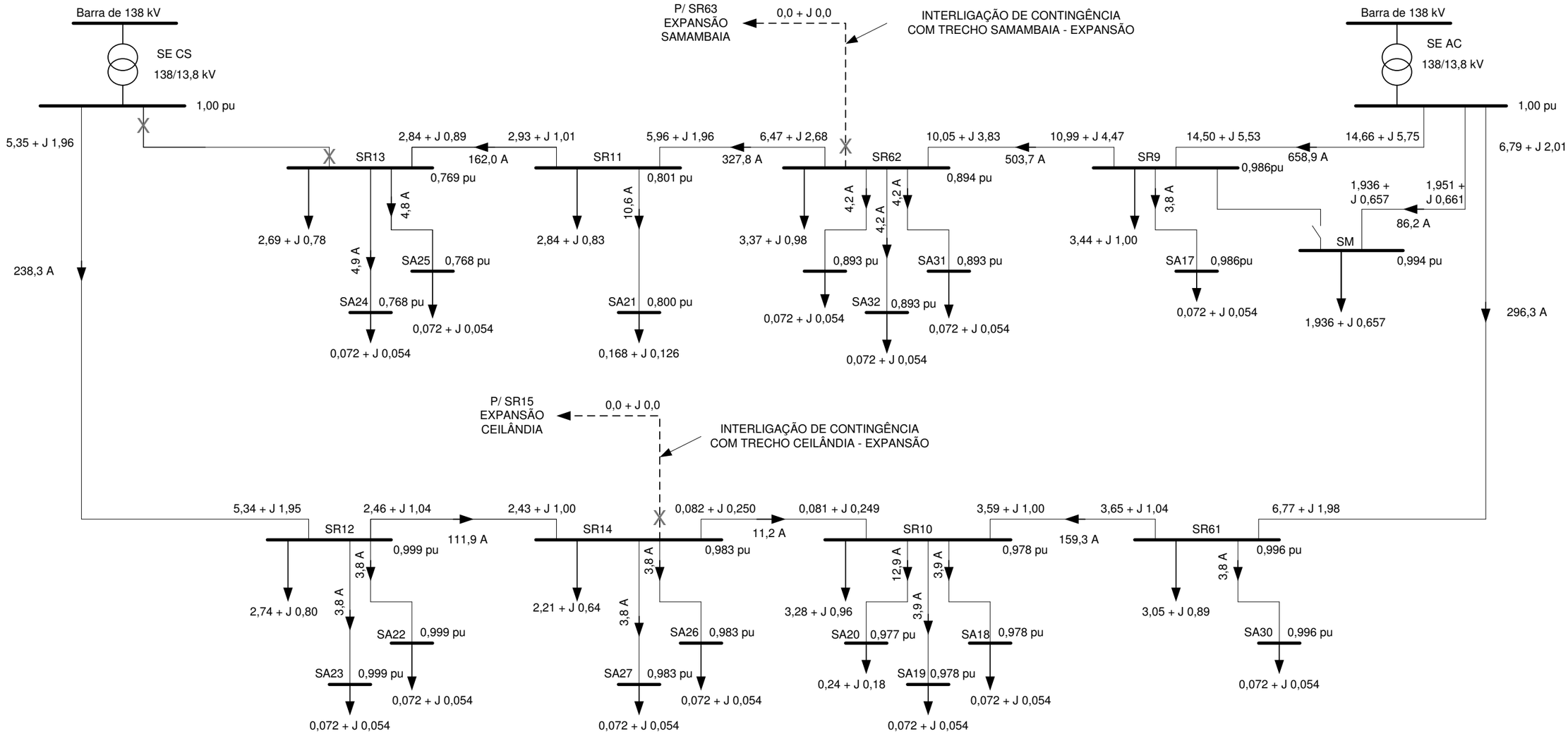


Figura Anexa - 11 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SE CS – SR13 fora

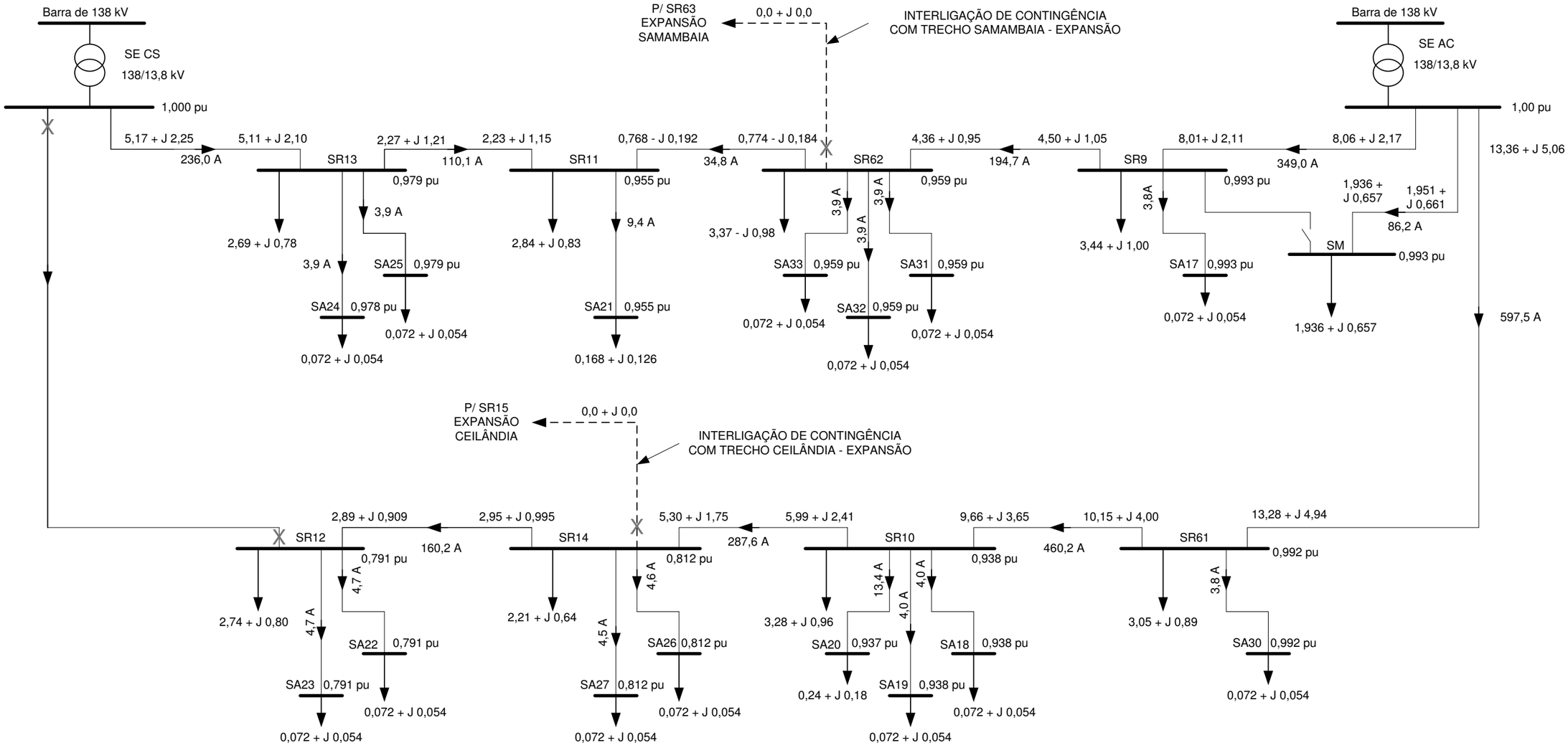


Figura Anexa - 12 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SE CS – SR12 fora

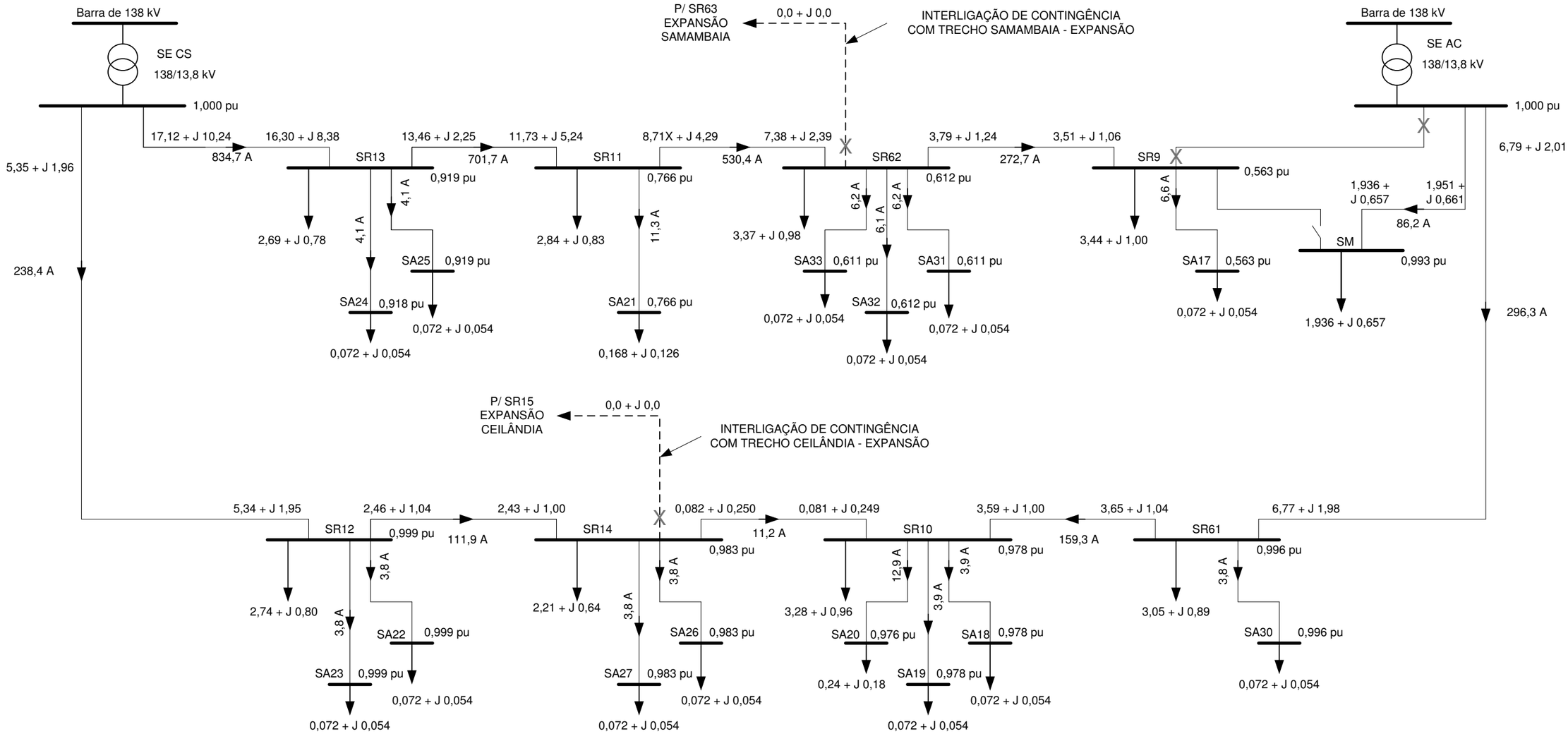


Figura Anexa - 13 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SE AC – SR09 fora

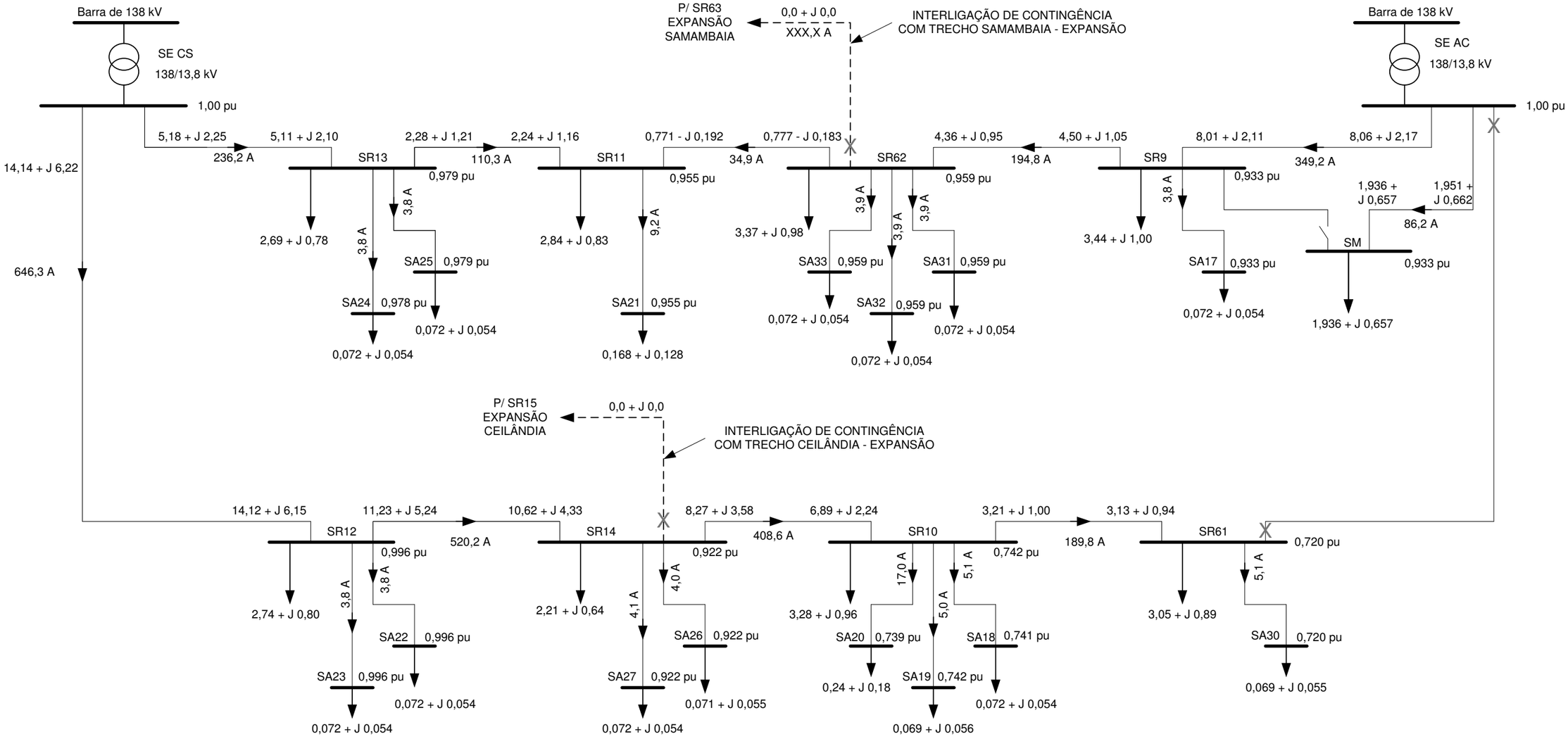


Figura Anexa - 14 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SE AC – SR61 fora

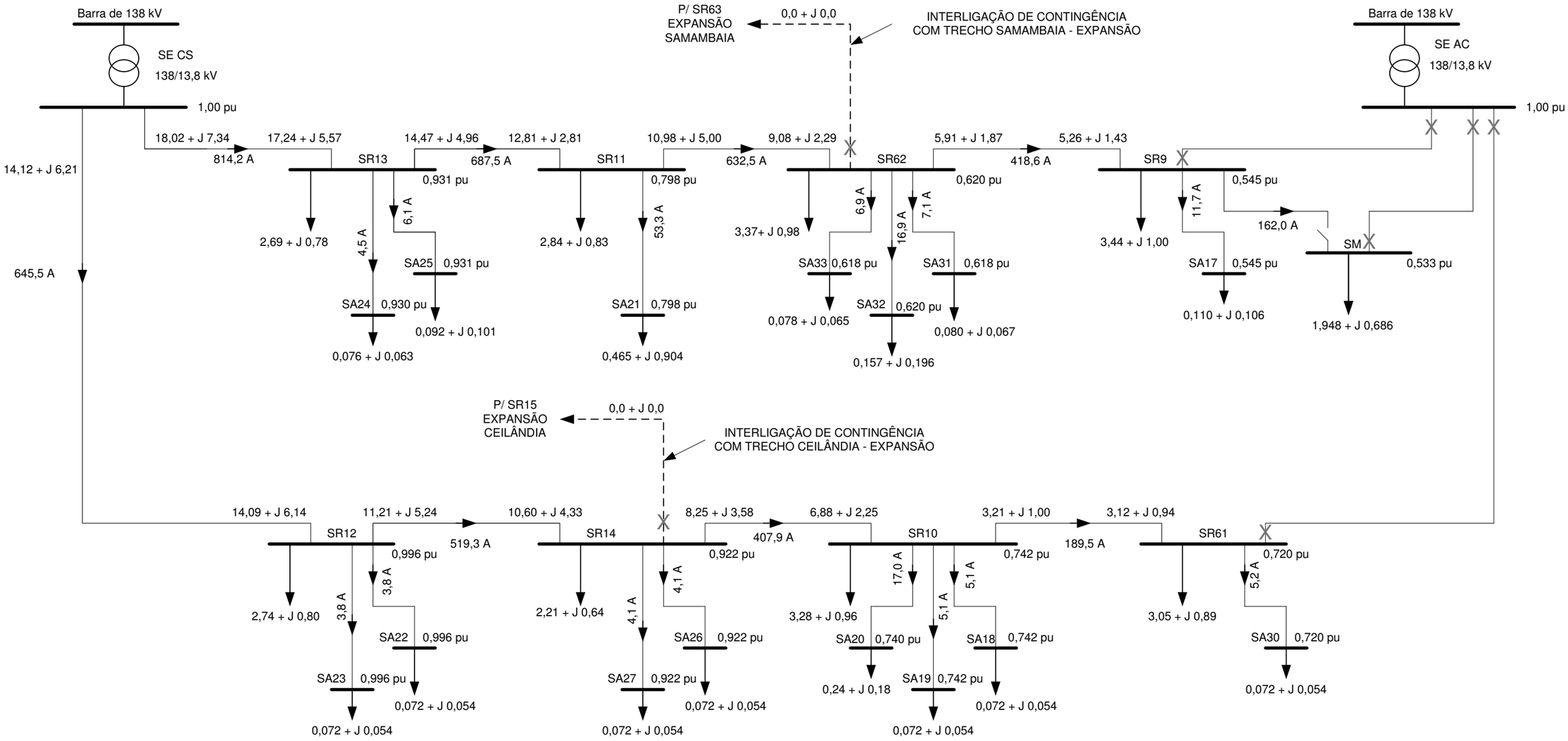


Figura Anexa - 15 – Anel SE CS –SE AC – Alimentação por SE AC fora

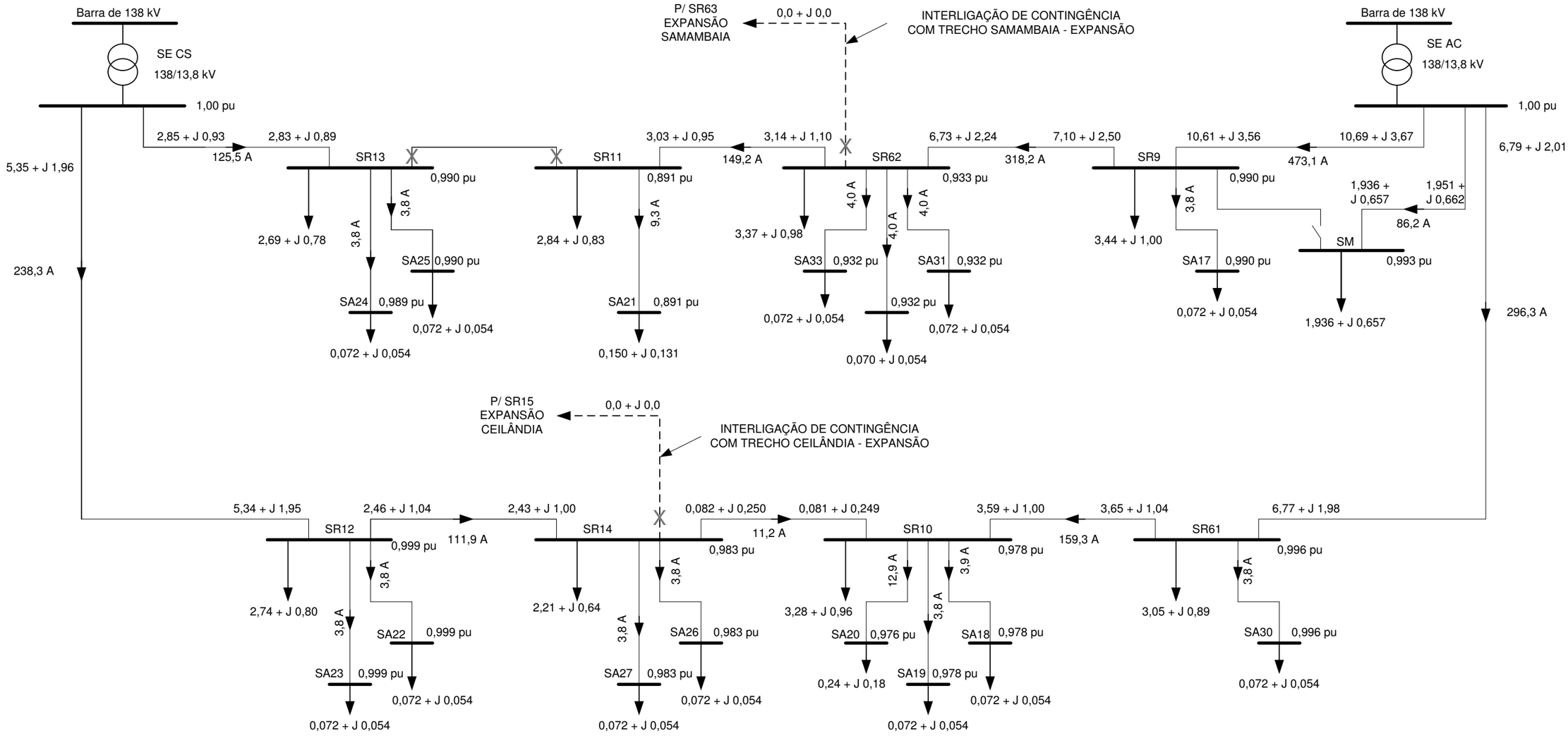


Figura Anexa - 16 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SR13 – SR11 fora

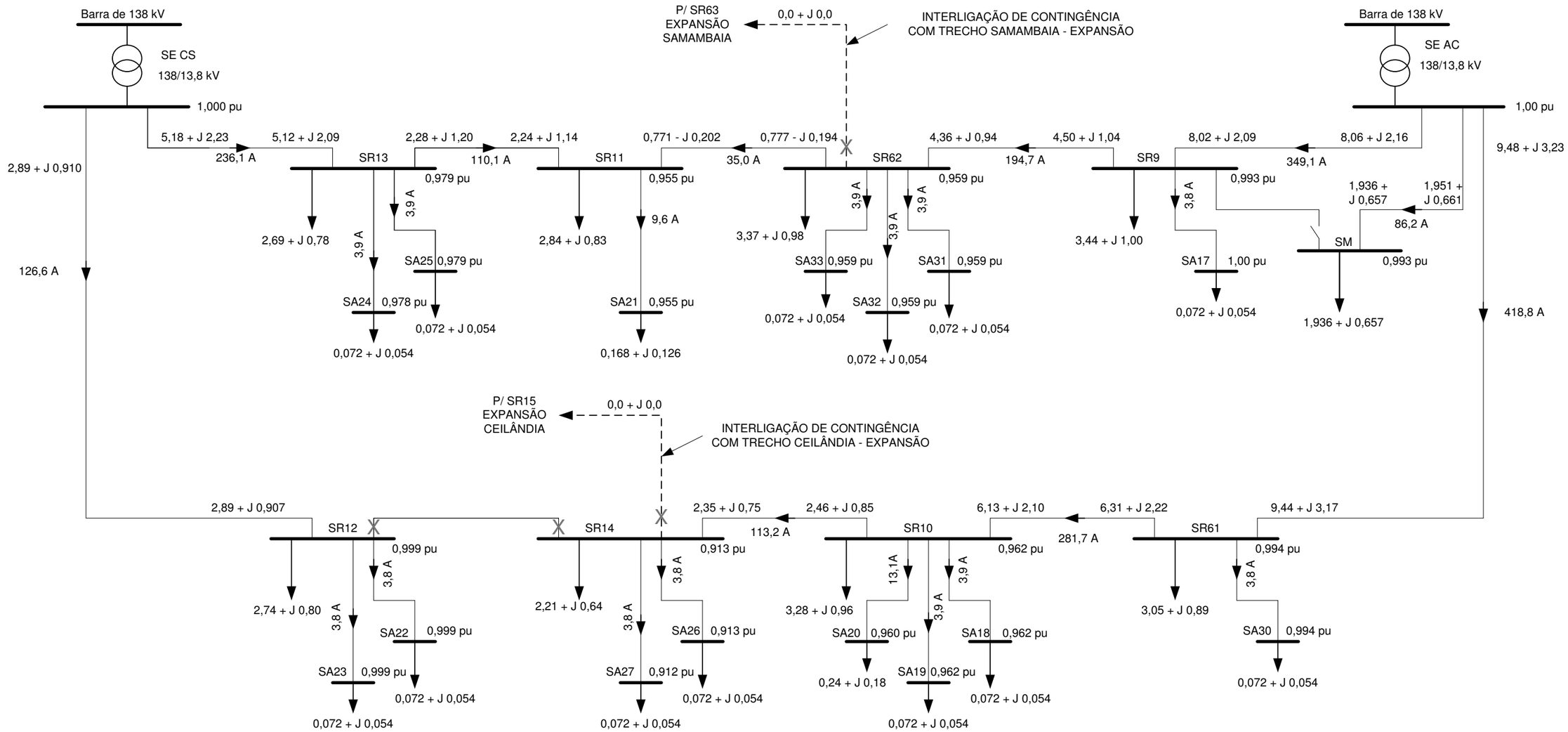


Figura Anexa - 17 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SR12 – SR14 fora

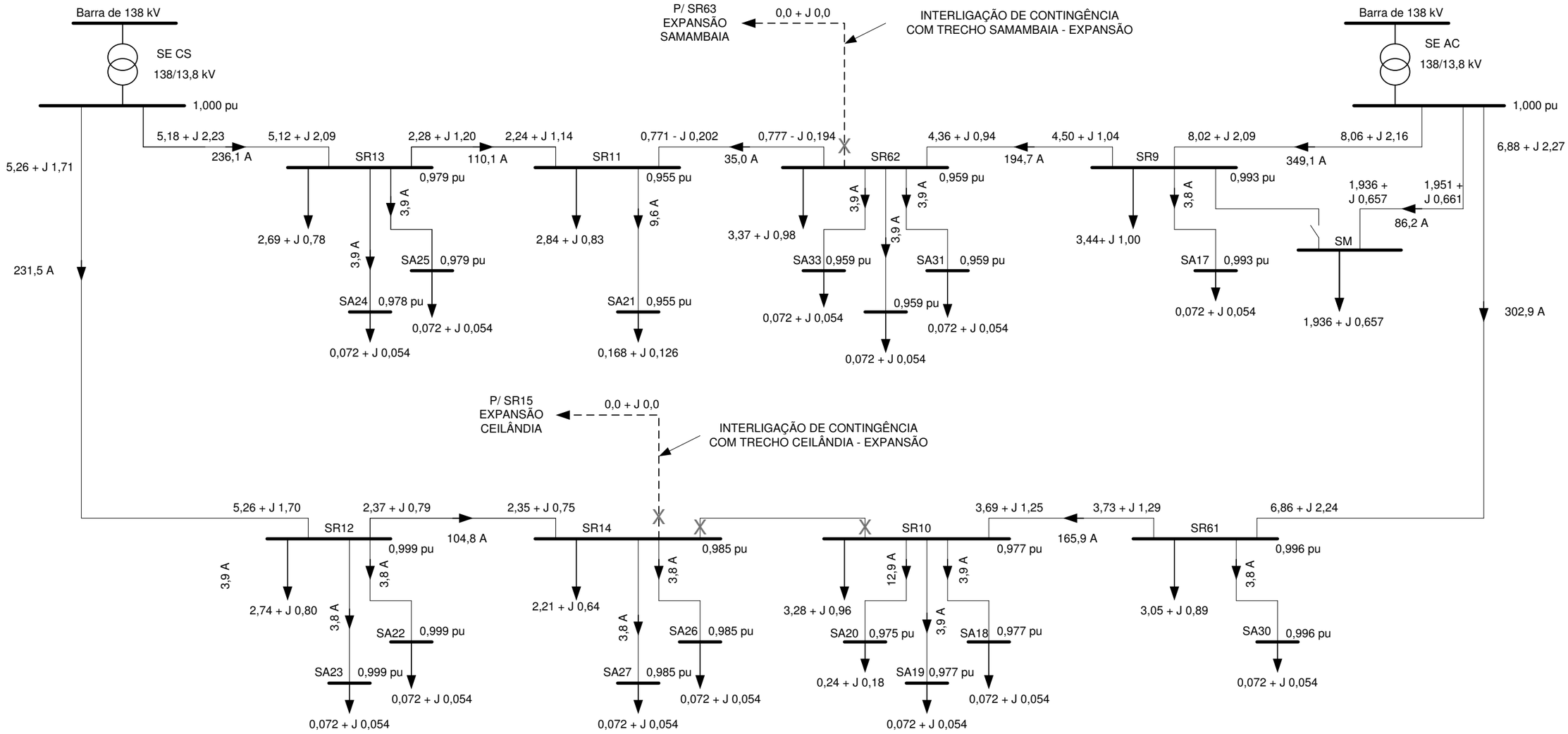


Figura Anexa - 18 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SR14 – SR10 fora

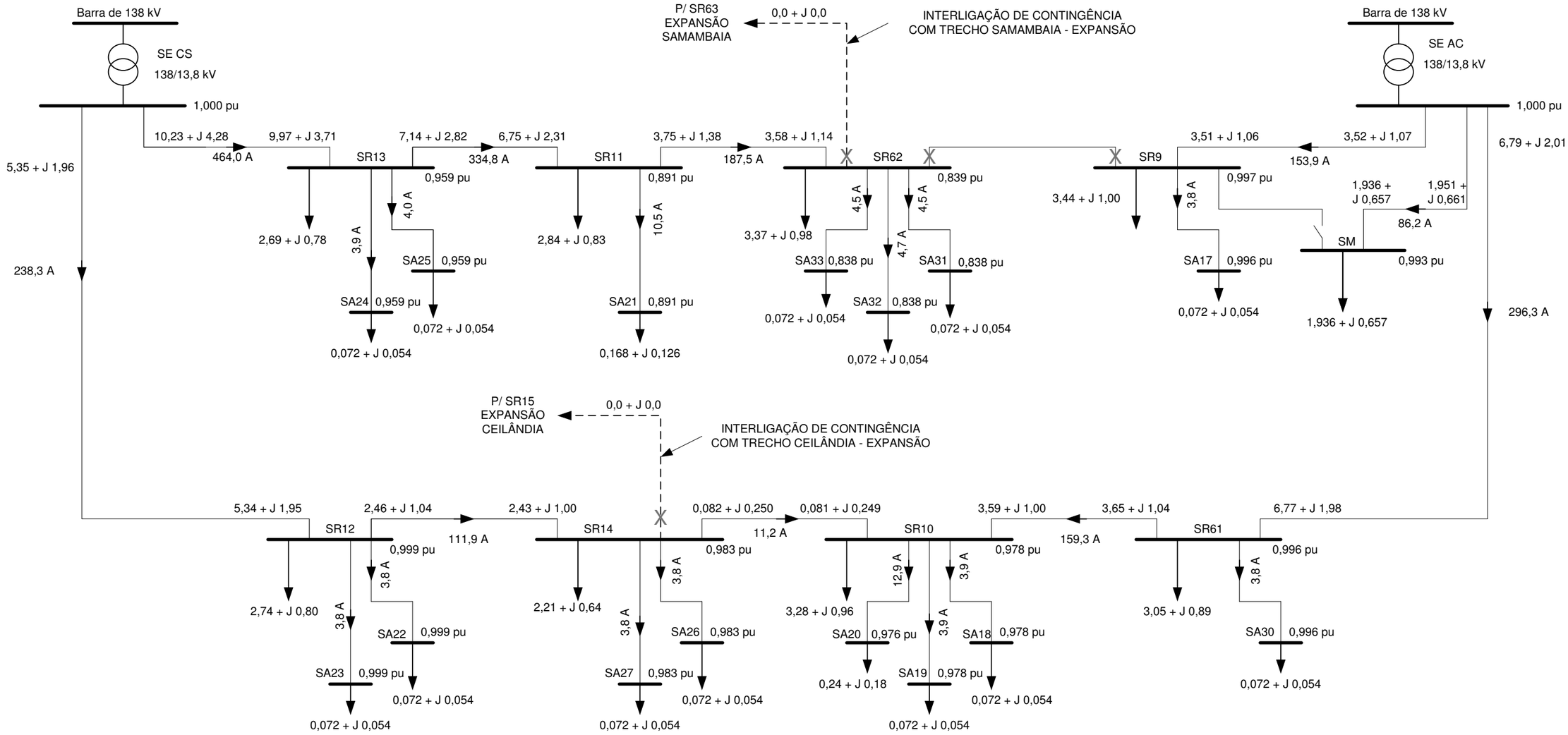


Figura Anexa - 19 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SR62 – SR09 fora

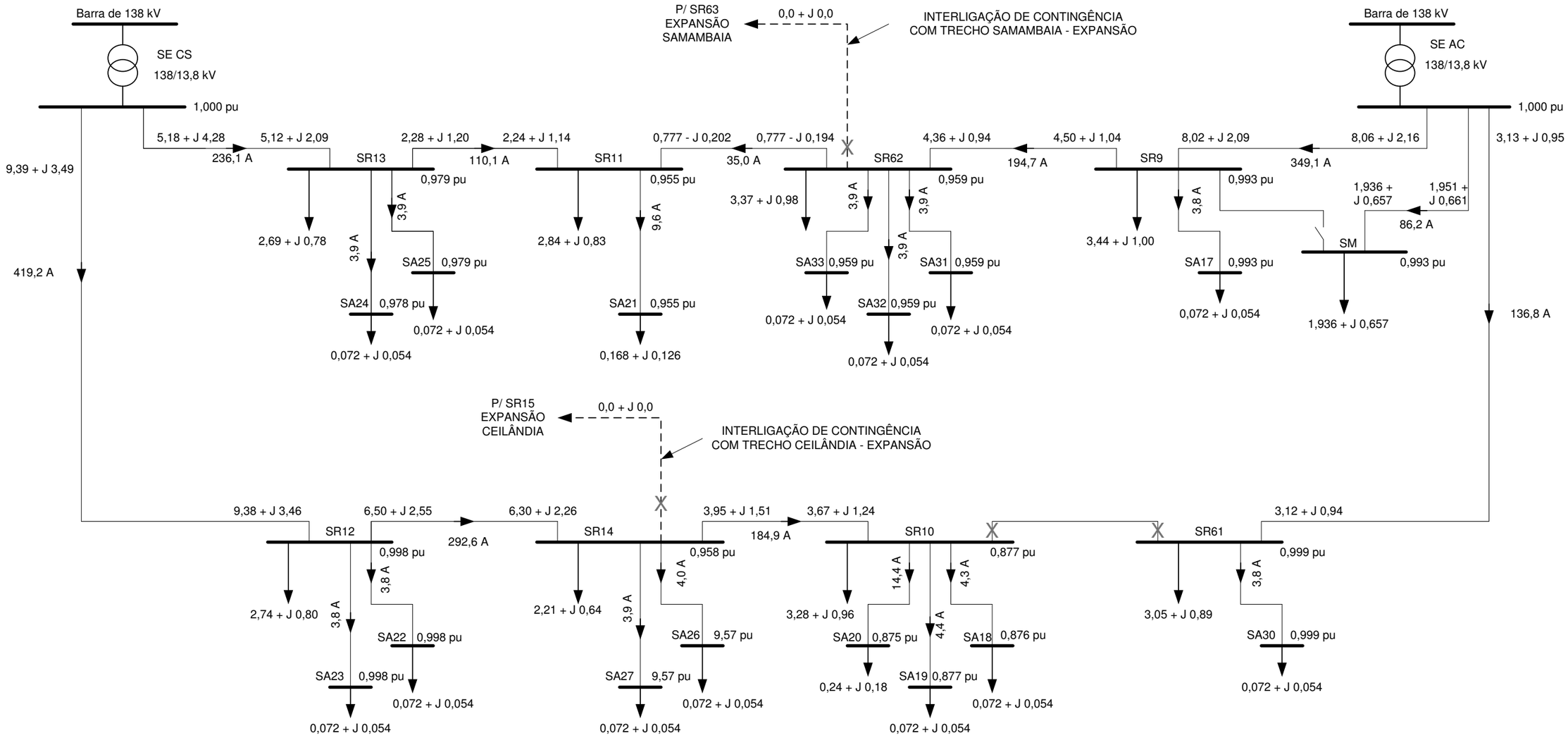


Figura Anexa - 20 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SR10 – SR61 fora

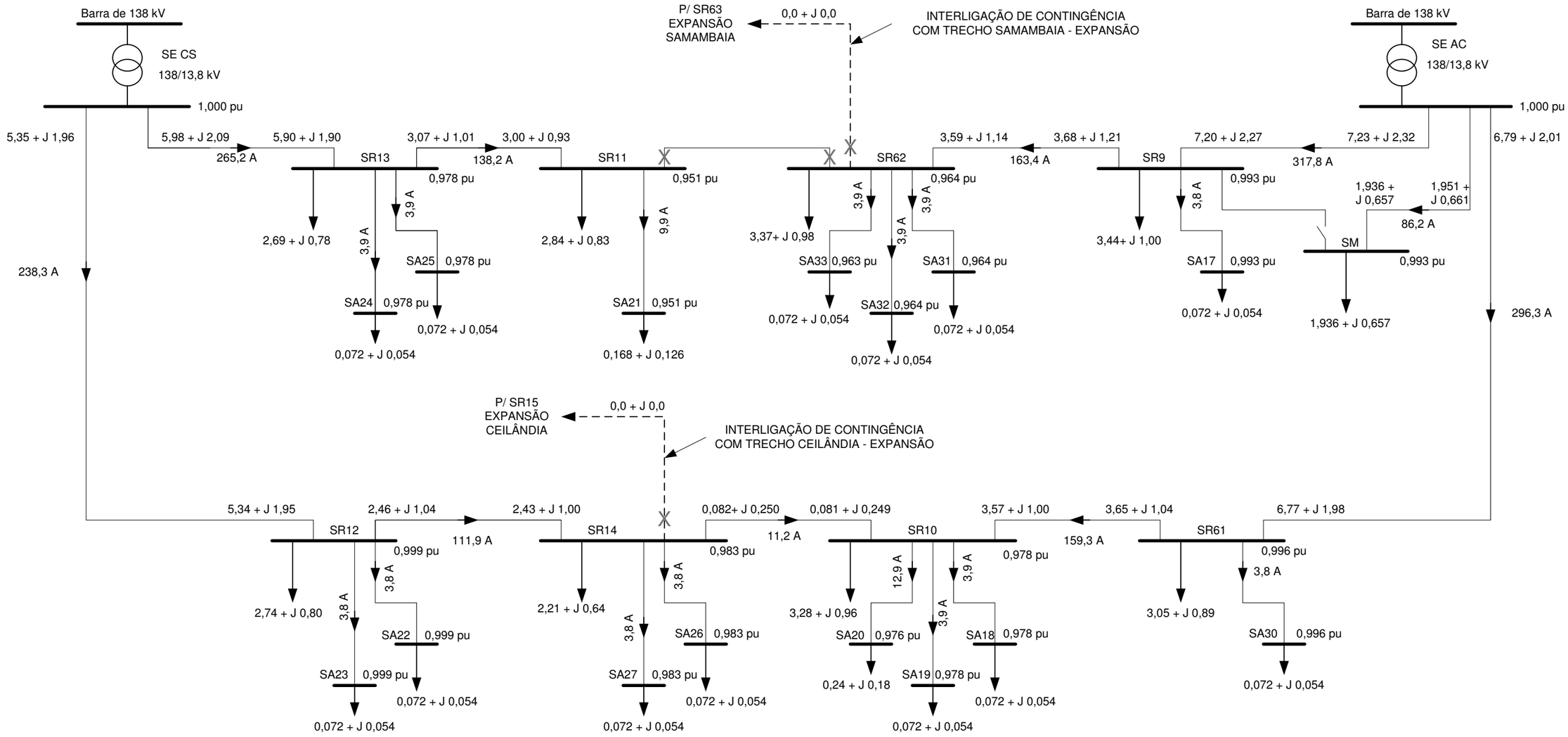


Figura Anexa - 21 – Anel SE CS –SE AC – Circuito SR11 – SR62 fora

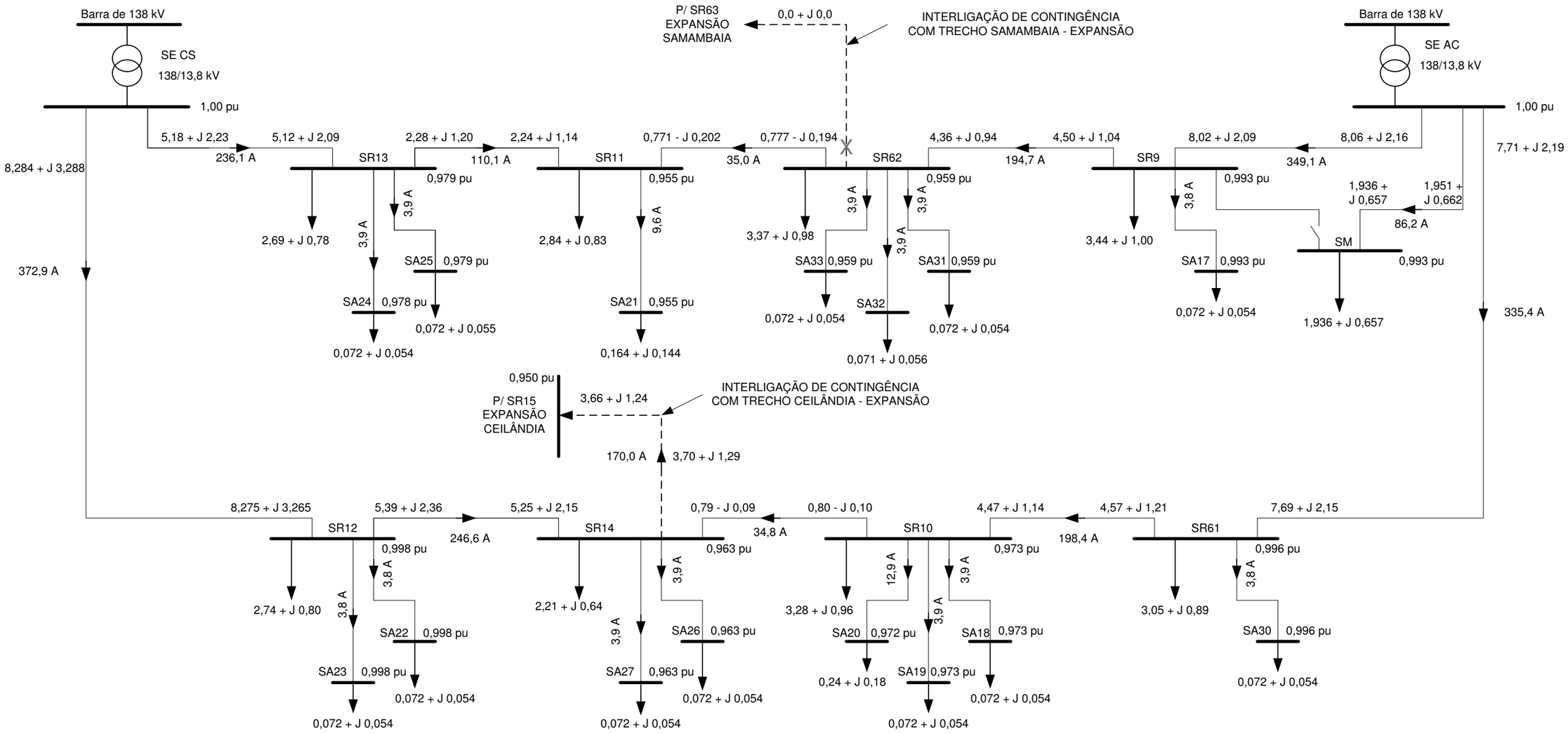


Figura Anexa - 22 – Anel SE CS –SE AC – Interligação de contingência com o trecho em expansão Ceilândia

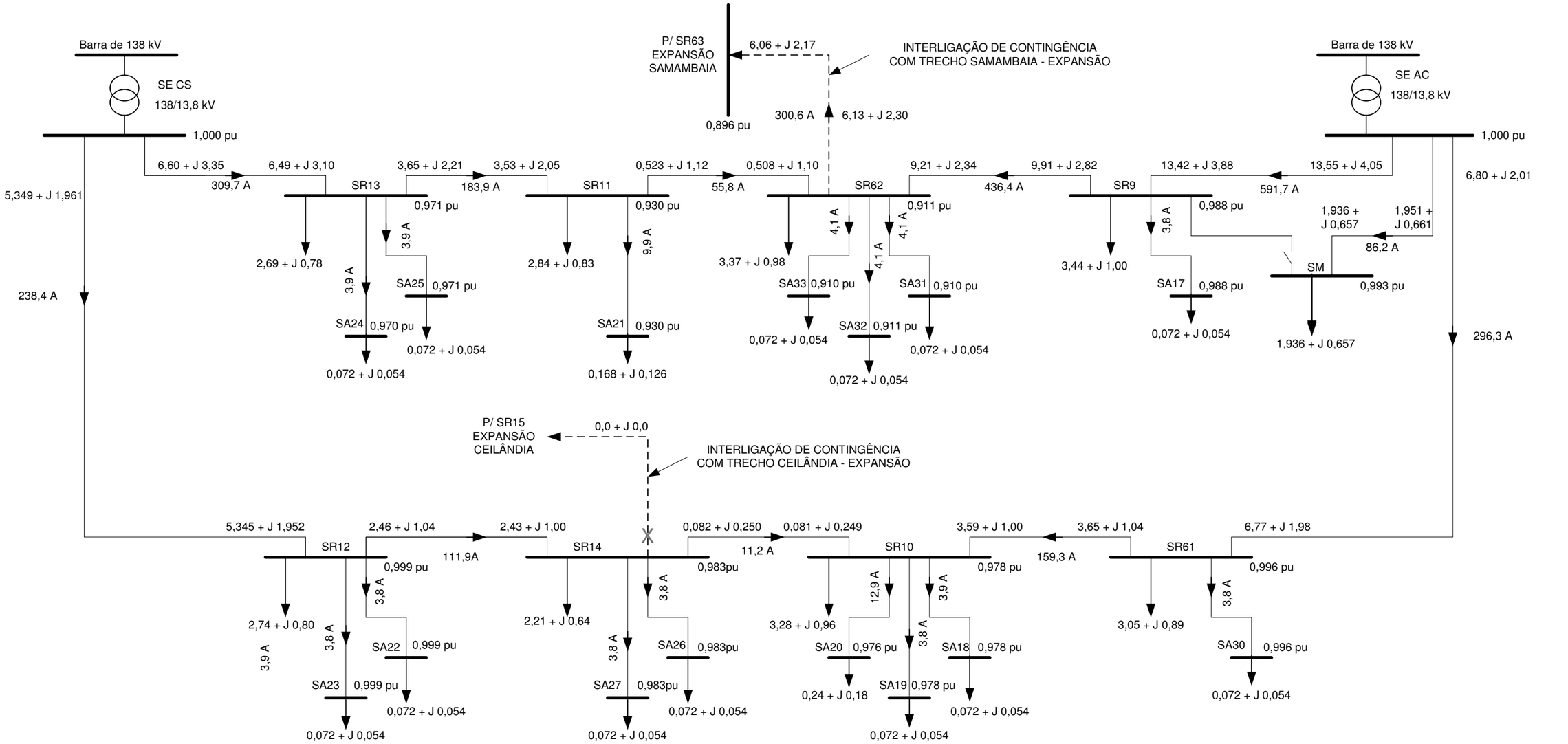
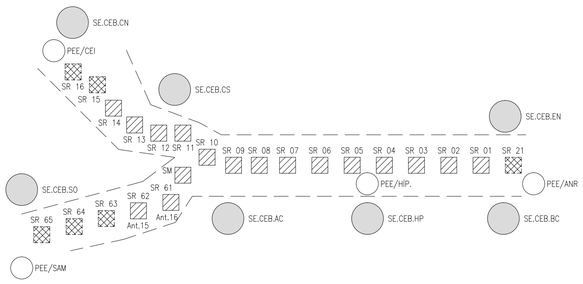
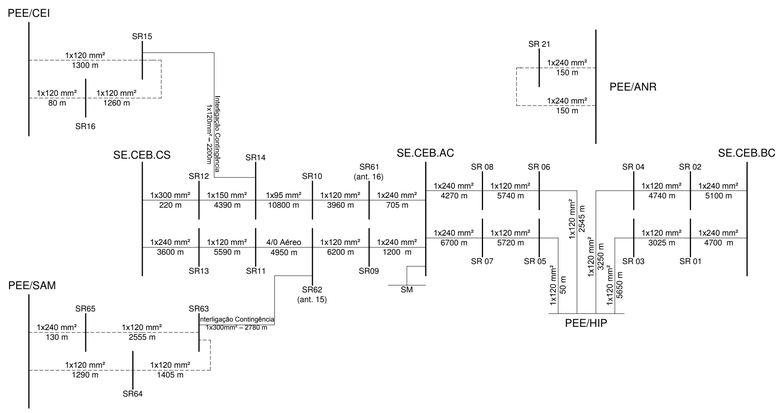


Figura Anexa - 23 – Anel SE CS –SE AC – Interligação de contingência com o trecho em expansão Samambaia

ESBOÇO INTERLIGAÇÃO SUBESTAÇÕES RETIFICADORES E SUBESTAÇÕES CEB





LEGENDAS:

1 – 01DJ – COMANDO E SUPERVISÃO DO DISJUNTOR.
2 – 95 – BLOCO DE TESTE.

SUBESTAÇÃO RETIFICADORA – SR – EXISTENTES

SUBESTAÇÃO RETIFICADORA – SR – EXPANSÃO

SUBESTAÇÃO ELÉTRICA DA CEB

PAINEL DE ENTRADA DE ENERGIA – PEE – MDF

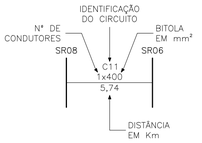
— — FAIXA DE SERVIDÃO – MDF

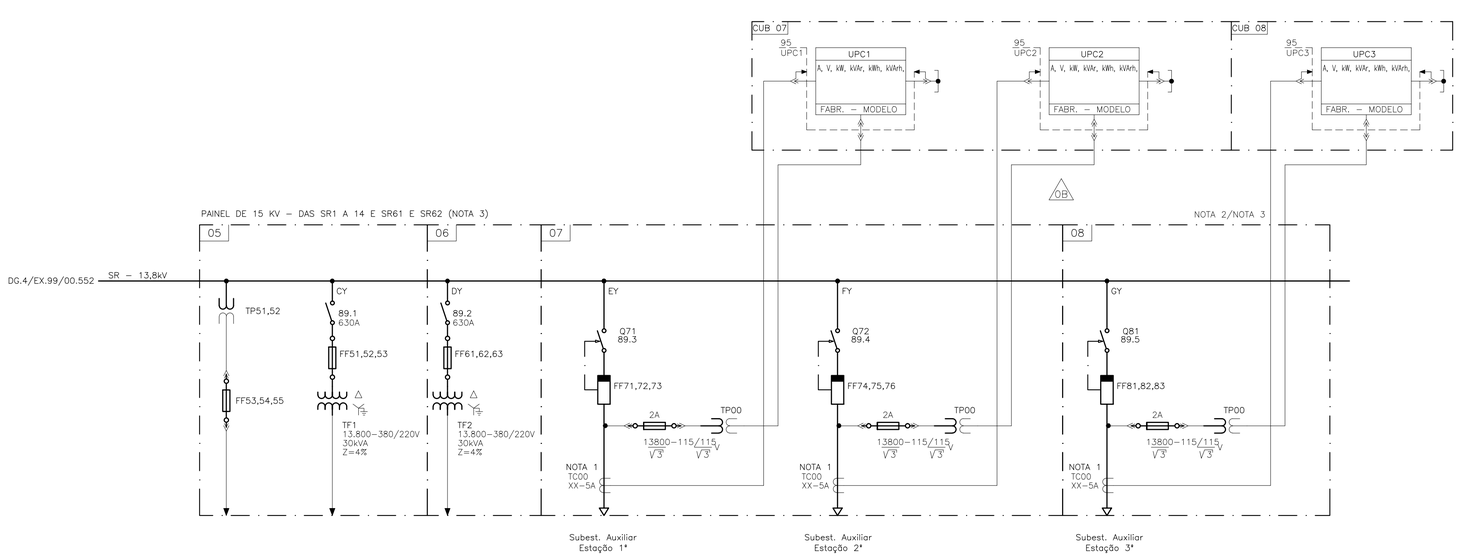
SUBESTAÇÕES DA CEB

SE. CEB. CN – CEILÂNDIA NORTE
SE. CEB. CS – CEILÂNDIA SUL
SE. CEB. SO – SAMANBAIA OESTE
SE. CEB. AC – ÁGUAS CLARAS
SE. CEB. BC – BRASILIA CENTRO
SE. CEB. HP – HÍPICA
SE. CEB. EN – ESTÁDIO NACIONAL

ATUAÇÃO DAS PROTEÇÕES:

1 – UPC1EY, UPC2FY, UPC3GY
1.1 – 50, 50N – INSTANTÂNEO: ACIONA ALARME + DESLIGA 52 + PARTE 50/62BF.
1.2 – 51, 51N – TEMPORIZADO: ACIONA ALARME + DESLIGA 52 + PARTE 50/62BF.
1.3 – 50/62BF – TEMPORIZADO: ACIONA ALARME + DESLIGA 52 + PARTE 50/62BF.





NOTAS

1 – QPC – PAINEL DE CONTROLE E COMUNICAÇÃO A SER INSTALADO NAS SRs EXISTENTES.
2 – PARA MAIORES DETALHES CONSTRUTIVO DO PAINEL DE 15 KV VERIFICAR OS DESENHOS DE.8/EB.XX/01.001.
3 – SR 61 NO PROJETO ANTERIOR ERA A SR16 E A SR 62 A SR 15.

0B

REV.	MODIFICAÇÃO	DATA	ELAB.	VISTO	APROV.	VISTO	APROV.
						METRO–DF	
	REVISÕES						
1	APROVADO CONFORME PARECER 0536/14 – TPSF	15/12/14	ITF	AJCN	ITF	ELJ/RJF	RMP
0A	ATENDENDO AO PARECER 0493/14 – TEN E OS COMENTÁRIOS MDF EM REUNIÃO DE 20/11/14	21/11/14	ECoA	AJCN	ITF	ELJ/RJF	RMP
0	EMISSÃO INICIAL, CONFORME SOLUÇÃO DE ADEQUAÇÃO DO METRÔ–DF	28/08/14	ECoA	AJCN	ITF	ELJ/RJF	RMP

METRÔ DF
Companhia do Metropolitano do Distrito Federal

REGIÃO
CEILÂNDIA / SAMAMBAIA / ASA NORTE

ENDEREÇO

AUTOR

VISTO

R.T. IMPLANTAÇÃO / OBRA

AUTOR
5060007017/SP
Nº ART/RRT

VISTO
CAU / CREA
Nº ART/RRT

R.T.
CAU / CREA
Nº ART/RRT

USO INTERNO

Esta verificação não esgota as ocorrências que venham a ser levantadas à qualquer tempo. Caso aprovado, representa uma aceitação básica da peça técnica e não isenta os autores do cumprimento das exigências contratuais especificadas.

NÃO APROVADO ☐ APROVADO ☐

Parecer nº _____ Parecer nº _____

Data _____ Data _____

Assinatura(s) e Carimbo(s)

USO EXTERNO

ENCAMINHAMENTO

DOCUMENTO DE ORIGEM

DESTINAÇÃO

☐ ARQUIVO
☐ PROCESSO Rub_____
☐ IMPLANTAÇÃO Matr_____

MODAL	METRÔ
LINHA	.
ETAPA	.BÁSICO
ÁREA	.
ESCALA	INDICADA
FOLHA	1/1.
DATA	.05/10/18
REVISÃO	.0

UNIDADE DE CONSTRUÇÃO / SISTEMA E SUBSISTEMA
ENERGIA (MODERNIZAÇÃO)

REGIÃO / TRECHO
SAMAMBAIA - ESTAÇÃO 34 (FUTURA)

ESPECIALIDADE / SUBESPECIALIDADE / COMPONENTE DO SISTEMA
SISTEMA DE COMANDO E PROTEÇÃO ELÉTRICA

TIPO/ESPECIFICAÇÃO DO DOCUMENTO
DIAGRAMA UNIFILAR DE PROTEÇÃO DOS ALIMENTADORES DE SERVIÇOS AUXILIARES DAS SRs E DOS ALIMENTADORES DAS SAs
.

CODIFICAÇÃO
DG.3/EX.99/00.553

METRÔ DF
Companhia do Metropolitano do Distrito Federal

REGIÃO ADM.
GERAL

ENDEREÇO
GERAL

AUTOR(ES):
Onisley Oliveira Pinto

CONFERIDO
Anderson Ataíde das Neves

VISTO
Emmanuel Luís Anselmo Joanitti

AUTOR

16075/D-DF
N° ART/RRT

13650/TD-DF
N° ART/RRT

CONFERIDO

20427/D-DF
N° ART/RRT

VISTO

11619/D-GO
N° ART/RRT

USO INTERNO

Esta verificação não esgota as ocorrências que venham a ser levantadas à qualquer tempo. Caso aprovado, representa uma aceitação básica da peça técnica e não isenta os autores do cumprimento das exigências contratuais especificadas.

NÃO APROVADO ☐ APROVADO ☐

Parecer nº _____ Parecer nº _____

Data _____ Data _____

_____
Assinatura(s) e Carimbo(s)

USO EXTERNO

ENCAMINHAMENTO

DOCUMENTO DE ORIGEM

DESTINAÇÃO

☐ ARQUIVO
☐ PROCESSO
☐ IMPLANTAÇÃO

Rub_____
Matr_____

UNIDADE DE CONSTRUÇÃO / SISTEMA E SUBSISTEMA
Subestações Retificadoras

REGIÃO / TRECHO
Geral

MODO	LINHA
METRÔ	**-**

ESPECIALIDADE / SUBESPECIALIDADE / COMPONENTE DE SISTEMA
SPCS

ETAPA	ÁREA
BÁSICO	**-**

TIPO / ESPECIFICAÇÃO DO DOCUMENTO
Especificação Técnica - Multimedidor

ESCALA	FOLHA
S/ESC.	**1/5**

DATA	REVISÃO
10/06/2021	**0**

CODIFICAÇÃO
ET.3/EX.99/00.001

METRÔ DF
Companhia do Metropolitano do Distrito Federal

Nº	MODIFICAÇÕES	DATA	AUTOR	VISTO
			OOP	
0	EMISSÃO INICIAL	10/06/2021	AAN	ELJ

Obs 1: Os campos deverão ser identificados pela rubrica e iniciais dos seus responsáveis.
Obs 2: Todas as rubricas e iniciais devem ser previamente identificadas junto ao Metrô-DF.

Sumário

1. OBJETIVO 4
2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA 4
3. NORMAS TÉCNICAS DE REFERÊNCIA 4
4. ESCOPO 5
5. ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA 5
6. REFERÊNCIA TÉCNICA 5

1. OBJETIVO

Este documento tem como objetivo apresentar a especificação técnica dos multimedidores que deverá ser implantado nos cubículos 7 e 8 do painel de 15 kV das Subestações Retificadoras do Metrô-DF, como intuito de monitorar o consumo de cada uma das Subestações Auxiliares e dos transformadores rebaixadores do Complexo de Manutenção.

Para tanto, os multimedidores deverão se integrar ao sistema de monitoramento de comunicação do tipo IEC 61850.

2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Segue abaixo a lista de documentos de referência:

- ET.3/EX.99/00.502 – Especificação Técnica Geral para fornecimento de sistemas de Proteção, Controle e Supervisão.

3. NORMAS TÉCNICAS DE REFERÊNCIA

Seguem abaixo a lista de normas técnicas de referência:

- NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão;
- NBR 14039 – Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV;
- NBR IEC 61850 – Rede e sistemas de comunicação para automação de sistemas de potência;
- NBR IEC 61000-4-30 – Compatibilidade eletromagnética Parte 4-30: Técnicas de medição e ensaio – Métodos de medição de qualidade da energia;
- NBR 13570 – Instalações elétricas em locais de afluência de público – requisitos específicos; e
- NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.

4. ESCOPO

O escopo deste documento consiste somente na especificação dos multimedidores que deverão ser instalados na porta frontal dos cubículos 7 e 8 das Subestações Retificadoras do Metrô-DF.

5. ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

Os multimedidores deverão apresentar, no mínimo, as seguintes especificações:

- Medição de Corrente;
- Medição de Tensão;
- Medição de Potência Ativa;
- Medição de Potência Reativa;
- Medição de Consumo de Energia Ativa;
- Medição de Consumo de Energia Reativa;
- Comunicação via protocolo IEC 61850;
- Memória interna maior que 1 Gb;
- Processamento maior que 512 amostras/ciclo;
- Frequência de 60 Hz;
- Alimentação elétrica com opções de 125 Vcc ou 220 Vca;
- Display colorido com tela *touchscreen*;
- Temperatura de operação no intervalo de -25°C a +70°C;
- Entrada de corrente entre 0,01 A à 20 A;
- Porta de acesso para comunicação com o GPS, no protocolo IRIG-B; e
- Garantia maior que 1,5 ano.

6. REFERÊNCIA TÉCNICA

- Modelo: SEL-735 da SEL ou similar.

METRÔ – DF		CODIFICAÇÃO

SETOR	GERAL
ENDEREÇO	FILTRO DE HARMÔNICAS
PROPRIETÁRIO	METRÔ – DF
AUTOR DO PROJETO	ONISLEY OLIVEIRA PINTO
RESPONSÁVEL TÉCNICO	

METRÔ – DF

ONISLEY OLIVEIRA PINTO CREA N° 20427/D-DF

METRÔ – DF

VISTO: OOP	DATA: 26/01/2018	SISTEMA: ENERGIA	
APROVADO: OOP	DATA: 26/01/2018	SUB–SISTEMA: FILTRO DE HARMÔNICAS	
ESCALA: **S/ESC.**	ETAPA DO PROJ.: Básico	LOCAL: GERAL	
N MICROFILME:	FOLHA: 1/7	COMPONENTES /TIPO DE DOCUMENTO: ÍNDICE DE DOCUMENTOS	AREA DE CONST.: –
		CODIFICAÇÃO: **ID.3/EX.99/11.701**	REVISÃO: **1**

0	EMISSÃO INICIAL	26/01/18				OOP	OOP
N°	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROV.	VERIF.	APROV.
		CONTRATADA				**METRÔ – DF**	
R E V I S Ô E S							

METRÔ DF
ID.3/EX.99/11.701

ÍNDICE DE DOCUMENTOS

SISTEMA DE ENERGIA
PROJETO BÁSICO

SUMÁRIO

1 ÍNDICE DE DOCUMENTOS – FILTRO DE HARMÔNICAS 5

1 NOTAS

Os seguintes documentos foram alterados a codificação:

- MD.4/EX.99/11.701 para MD.3/EX.99/11.701.

Obs: O Metrô-DF é responsável somente pelas alterações indicadas em notas.

2 ÍNDICE DE DOCUMENTOS – FILTRO DE HARMÔNICAS

Nº ENGEVIX	Nº METRÔ	TÍTULO
Índice de documentos		
P00160/01–5F–LD–0701	ID.4/EX.99/11.701	Filtro de Harmônicas – Índice de Documentos
Estudo técnico		
P00160/01–5X–RL–0019	RT.4/EX.99/00.019	Sistema de Energia - Relatório técnico consolidado – Estudo de Compensação de Reativos e Filtro de Harmônicas - Expansão
P00160/01–5X–RL–0022	RT.4/EX.99/00.022	Sistema de Energia - Relatório técnico consolidado – Estudo de Compensação de Reativos e Filtro de Harmônicas - Modernização
P00160/01–5F–RL–0701	RT.4/EX.99/11.701	Filtro de Harmônica - Medições de Harmônicos - Relatório Técnico
Memória de Cálculo		
P00160/01–5F–MC–0701	MC.4/EX.99/11.701	Filtro de Harmônica - Medições de Harmônicos – Memória de Cálculo
Desenhos básicos[1]		
P00160/01–5L–DE–0118	DE.4/EE.36/00.103	Rede de alimentação 13,8 kV –Samambaia – Painel de Entrada de Energia – Disposição de Equipamentos
P00160/01–5L–DE–0119	DE.4/EE.36/00.104	Rede de alimentação 13,8 kV – Samambaia – Encaminhamento de Cabos
P00160/01–5L–DE–0120	DE.4/EE.29/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Ceilândia – Painel de Entrada de Energia – Disposição de Equipamentos
P00160/01–5L–DE–0121	DE.4/EE.29/00.102	Rede de alimentação 13,8 kV – Ceilândia – Painel de Entrada de Energia – Encaminhamento de Cabos
P00160/01–5L–DE–0122	DE.4/EE.41/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Asa Norte – Painel de Entrada de Energia – Disposição de Equipamentos

[1] Os desenhos referenciados pertencentes a Rede de Alimentação 13,8 kV apresentam detalhes da instalação dos Filtros de Harmônicas.

Nº ENGEVIX	Nº METRÔ	TÍTULO
P00160/01–5L–DE–0123	DE.4/EE.41/00.102	Rede de alimentação 13,8 kV – Asa Norte – Painel de Entrada de Energia – Encaminhamento de Cabos
P00160/01–5L–DE–0126	DE.4/EE.41/00.103	Rede de alimentação 13,8 kV – Asa Norte – Painel de Entrada de Energia – Sala de Medição CEB – Encaminhamento de Cabos
P00160/01–5L–DE–0124	DE.4/EE.10/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Hípica – Painel de Entrada de Energia – Disposição de Equipamentos
P00160/01–5L–DE–0125	DE.4/EE.10/00.102	Rede de alimentação 13,8 kV – Hípica – Painel de Entrada de Energia – Encaminhamento de Cabos
Diagramas básicos[2]		
P00160/01–5L–DU–0106	DG.4/EE.36/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Samambaia – Painel de Entrada de Energia – Diagrama Unifilar
P00160/01–5L–DU–0107	DG.4/EE.29/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Ceilândia – Painel de Entrada de Energia – Diagrama Unifilar
P00160/01–5L–DU–0108	DG.4/EE.41/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Asa Norte – Painel de Entrada de Energia – Diagrama Unifilar
P00160/01–5L–DU–0109	DG.4/EE.10/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Hípica – Painel de Entrada de Energia – Diagrama Unifilar
Diagramas básicos		
P00160/01–5F–DU–0701	DG.4/EX.36/11.701	Filtro de Harmônicas – Samambaia – Diagrama Unifilar
P00160/01–5F–DU–0702	DG.4/EX.29/11.701	Filtro de Harmônicas – Ceilândia – Diagrama Unifilar
P00160/01–5F–DU–0703	DG.4/EX.41/11.701	Filtro de Harmônicas – Asa Norte – Diagrama Unifilar
P00160/01–5F–DU–0704	DG.4/EX.10/11.701	Filtro de Harmônicas – Hípica – Diagrama Unifilar
P00160/01–5F–DU–0705	DG.4/EX.99/11.701	Filtro de Harmônicas – Brasília Centro - Diagrama Unifilar Geral
P00160/01–5F–DU–0706	DG.4/EX.99/11.702	Filtro de Harmônicas – Águas Claras – Diagrama Unifilar Geral
P00160/01–5F–DU–0707	DG.4/EX.99/11.703	Filtro de Harmônicas – Ceilândia Sul – Diagrama Unifilar Geral
Especificação técnica		
P00160/01–5F–ET–0702	ET.4/EX.99/11.701	Filtro de Harmônicas – Especificação técnica - Expansão
P00160/01–5F–ET–0703	ET.4/EX.99/11.702	Filtro de Harmônicas – Especificação técnica - Modernização

[2] Os diagramas referenciados pertencentes a Rede de Alimentação 13 kV apresentam detalhes dos cubículos que alimentam os Filtros de Harmônicas.

Nº ENGEVIX	Nº METRÔ	TÍTULO
Listas de materiais		
P00160/01–5F–LM–0701	LM.4/EX.36/11.701	Filtro de Harmônicas – Samambaia – Lista de Material
P00160/01–5F–LM–0702	LM.4/EX.29/11.701	Filtro de Harmônicas – Ceilândia – Lista de Material
P00160/01–5F–LM–0703	LM.4/EX.41/11.701	Filtro de Harmônicas – Asa Norte – Lista de Material
P00160/01–5F–LM–0704	LM.4/EX.10/11.701	Filtro de Harmônicas – Hípica – Lista de Material
P00160/01-5F-LM-0705	LM.4/EX.99/11.701	Filtro de Harmônicas – Ceilândia Sul – Lista de Materiais Geral
P00160/01-5F-LM-0706	LM.4/EX.99/11.702	Filtro de Harmônicas – Ceilândia Sul – Lista de Materiais Geral
P00160/01-5F-LM-0707	LM.4/EX.99/11.703	Filtro de Harmônicas – Ceilândia Sul – Lista de Materiais Geral
Memorial Descritivo		
P00160/01–5F–MD–0701	MD.3/EX.99/11.701	Filtro de Harmônicas – Memorial descritivo
Planilha de Serviços e Quantidades		
P00160/00-N0-MC-1100	OR.4/00.1N/Z3.002	Memória de Cálculo
P00160/00-N0-PQ-1100	OR.4/00.1N/Z3.001	Planilha de Serviço e Quantidade - PSQ
P00160/00-N0-RL-1100	OR.4/00.1N/Z2.001	Critério de Medição
P00160/00-N0-MC-1105	OR.4/00.6M/Z3.002	Memória de Cálculo
P00160/00-N0-PQ-1105	OR.4/00.6M/Z3.001	Planilha de Serviço e Quantidade - PSQ
P00160/00-N0-RL-1105	OR.4/00.6M/Z2.001	Critério de Medição
P00160/00-N0-MC-1110	OR.4/00.7G/Z3.002	Memória de Cálculo
P00160/00-N0-PQ-1110	OR.4/00.7G/Z3.001	Planilha de Serviço e Quantidade - PSQ
P00160/00-N0-RL-1110	OR.4/00.7G/Z2.001	Critério de Medição
P00160/00-N0-MC-1186	OR.4/69.0Z/Z3.004	Memória de Cálculo
P00160/00-N0-PQ-1186	OR.4/69.0Z/Z3.003	Planilha de Serviço e Quantidade - PSQ

Nº ENGEVIX	Nº METRÔ	TÍTULO
P00160/00-N0-RL-1186	OR.4/69.0Z/Z2.002	Critério de Medição

METRÔ - DF		

SETOR	GERAL
ENDEREÇO	
PROPRIETÁRIO	METRÔ – DF
AUTOR DO PROJETO	EMMANUEL JOANITTI
RESPONSÁVEL TÉCNICO	

METRÔ - DF

EMMANUEL JOANITTI CREA N° 16075/D

METRÔ - DF

SISTEMA	ENERGIA
SUBSISTEMA	FILTRO DE HARMÔNICAS
LOCAL	GERAL
COMPONENTES /TIPO DE DOCUMENTO	MEMORIAL DESCRITIVO

VISTO	DATA 08/05/2015		
APROVADO OOP	DATA 08/05/2015		
ESCALA **S/ESC.**	ETAPA DO PROJ. **BÁSICO**		
N MICROFILME	FOLHA 1/15	CODIFICAÇÃO **MD.3/EX.99/11.701**	REVISÃO **0**

0	EMISSÃO INICIAL	08/05/15	ELJ	RJF			OOP
N°	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROVO	VERIF.	APROV
						METRÔ - DF	
R E V I S Õ E S							

METRÔ DF
MD.3/EX.99/11.701

MEMORIAL DESCRITIVO

SISTEMA DE ENERGIA
PROJETO BÁSICO

SUMÁRIO

NOTAS: 6
1 INTRODUÇÃO 6
1.1 OBJETIVO 6
2 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA 6
3 REDE DE ALIMENTAÇÃO 13,8 kV 8
4 COMPONENTES HARMÔNICAS EXISTENTES NO METRÔ-DF 8
5 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS QUE COMPÕE O FILTRO DE HARMÔNICAS 9
5.1 CAPACITORES (C) 9
5.2 REATORES DE SINTONIA (LS) 10
5.3 RESISTORES (R) 10
5.4 CHAVE SECCIONADORA DE ATERRAMENTO TETRAPOLAR (CHAT) 11
5.5 CHAVE SECCIONADORA MONOPOLAR OU TRIPOLAR A VÁCUO PARA MANOBRA CAPACITIVA SOB CARGA POR FILTRO (CHV) 11
5.6 CHAVE SECCIONADORA MONOPOLAR OU TRIPOLAR SEM CARGA (CH) 11
5.7 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE DESBALANÇO DE NEUTRO (TCD) E DE LINHA (TCL) 11
5.8 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL (TP) 12
5.9 PARA- RAIOS (PR) 12
5.10 SISTEMA DE COMANDO E CONTROLE REMOTO 12
6 FILTRO DE HARMÔNICAS 12
6.1 DIMENSIONAMENTO DOS FILTROS DE HARMÔNICAS 12
6.2 MONTAGEM DOS FILTROS DE HARMÔNICAS: 13
6.3 SOLUÇÕES DE INSTALAÇÃO DOS FILTROS DE HARMÔNICAS 14
6.3.1 FILTRO DE HARMÔNICAS – ESTAÇÃO 36 15
6.3.2 FILTRO DE HARMÔNICAS – ESTAÇÃO 29 15
6.3.3 FILTRO DE HARMÔNICAS – ESTAÇÃO 41 15
6.3.4 FILTRO DE HARMÔNICAS – SUBESTAÇÃO PEE HÍPICA. 15
6.3.5 FILTRO DE HARMÔNICAS – SE CS 15
6.3.6 FILTRO DE HARMÔNICAS – SE AC 15
6.3.7 FILTRO DE HARMÔNICAS – SE BC 15

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rede de Alimentação 13,8 kV 8

Figura 2 - Filtros de harmônicas 14

NOTAS:

- Alteração: apesar de o presente documento citar para o trecho “Modernização” a substituição dos filtros existentes instalados nas subestações da CEB de Águas Claras, Brasília Centro e Ceilândia Sul, ocorrerá apenas a instalação de um novo filtro do PEE/Hípica, alimentado pela Subestação Hípica da CEB. Entretanto, a CONTRATADA deverá levar em consideração nos cálculos de dimensionamento deste filtro todas as contribuições harmônicas dos outros pontos de alimentação, ou seja, Águas Claras, Ceilândia Sul e Brasília Centro.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo

Esse Memorial Descritivo é um documento integrante do Projeto Executivo do Sistema de Energia do Projeto de Expansão do Metrô-DF.

Tem como objetivo apresentar as informações sobre os filtros de harmônicas instalados nos PEEs. Sua função é fornecer dados para o desenvolvimento do projeto executivo.

2 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para maiores detalhes dos filtros de harmônicas, verificar os documentos a seguir:

Referência	Assunto
RT.4/EX.99/00.019	Relatório técnico consolidado – Estudo de Compensação de Reativos e Filtro de Harmônicas – Expansão
RT.4/EX.99/00.022	Relatório técnico consolidado – Estudo de Compensação de Reativos e Filtro de Harmônicas – Modernização
DE.4/EE.36/00.103	Rede de alimentação 13,8 kV –Samambaia – Painel de Entrada de Energia – Disposição de Equipamentos
DE.4/EE.36/00.104	Rede de alimentação 13,8 kV – Samambaia – Encaminhamento de Cabos
DE.4/EE.29/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Ceilândia – Painel de Entrada de Energia – Disposição de Equipamentos
DE.4/EE.29/00.102	Rede de alimentação 13,8 kV – Ceilândia – Painel de Entrada de Energia – Encaminhamento de Cabos
DE.4/EE.41/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Asa Norte – Painel de Entrada de Energia – Disposição de Equipamentos
DE.4/EE.41/00.102	Rede de alimentação 13,8 kV – Asa Norte – Painel de Entrada de Energia – Encaminhamento de Cabos
DE.4/EE.41/00.103	Rede de alimentação 13,8 kV – Asa Norte – Painel de Entrada de Energia – Sala de Medição CEB – Encaminhamento de Cabos

Referência	Assunto
DE.4/EE.10/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Hípica – Painel de Entrada de Energia – Disposição de Equipamentos
DE.4/EE.10/00.102	Rede de alimentação 13,8 kV – Hípica – Painel de Entrada de Energia – Encaminhamento de Cabos
DG.4/EE.36/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Samambaia – Painel de Entrada de Energia – Diagrama Unifilar
DG.4/EE.29/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Ceilândia – Painel de Entrada de Energia – Diagrama Unifilar
DG.4/EE.41/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Asa Norte – Painel de Entrada de Energia – Diagrama Unifilar
DG.4/EE.10/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Hípica – Painel de Entrada de Energia – Diagrama Unifilar
DG.4/EX.36/11.701	Filtro de Harmônicas – Samambaia – Diagrama Unifilar
DG.4/EX.29/11.701	Filtro de Harmônicas – Ceilândia – Diagrama Unifilar
DG.4/EX.41/11.701	Filtro de Harmônicas – Asa Norte – Diagrama Unifilar
DG.4/EX.10/11.701	Filtro de Harmônicas – Hípica – Diagrama Unifilar
ET.4/EX.99/11.701	Filtro de Harmônicas – Especificação técnica
RT.4/EX.99/11.701	Filtro de Harmônicas – Medições de harmônicas – Relatório técnico
RT.4/EX.99/00.013	Relatório Técnico Consolidado – Estudo de Fluxo de Cargas – Trecho Expansão
RT.4/EX.99/00.014	Relatório Técnico Consolidado – Estudo de Fluxo de Cargas – Trecho Modernização
DG.4/EE.99/00.101	Rede de alimentação 13,8 kV – Geral – Diagrama Unifilar

3 REDE DE ALIMENTAÇÃO 13,8 kV

A rede de alimentação 13,8 kV do Metrô-DF é responsável pelo fornecimento de energia elétrica para as Estações e Subestações Retificadoras componentes do Metrô-DF. Os filtros de harmônicas existentes e os abordados por essa documentação, para a expansão e modernização, estão interligados aos pontos de alimentação da rede e estão dispostos como ilustrado na Figura 1. Para maiores detalhes sobre a rede de alimentação 13,8 kV, verificar o diagrama DG.4/EX.99/00.101.

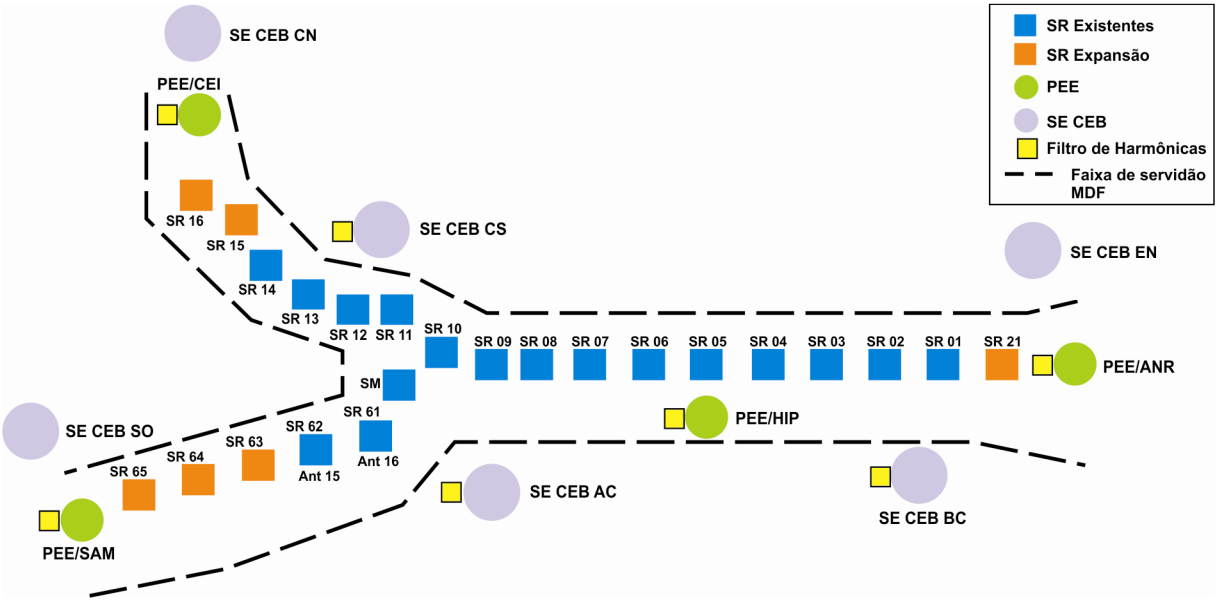


Figura 1 - Rede de Alimentação 13,8 kV

4 COMPONENTES HARMÔNICAS EXISTENTES NO METRÔ-DF

Em virtude das características elétricas do circuito de tração, onde utiliza-se um retificador de 12 pulsos para fornecer a corrente contínua do terceiro trilho, o Metrô-DF é um gerador de harmônicas de 11ª e 13ª ordem. Porém, como pode ser observado nos estudos RT.4/EX.99/00.019, RT.4/EX.99/00.022 e no relatório de medições de harmônicas RT.4/EX.99/11.701, existe também a ocorrência de harmônicas provenientes de outras cargas, residenciais e comercias, conectadas a CEB, como componentes de 5ª, principal harmônica detectada, e 7ª ordem na rede de alimentação do Metrô-DF. Assim, visando aumentar a qualidade de energia da rede de alimentação do Metrô-DF e garantir os níveis de tensão, equilíbrio, DHTv% (distorções harmônicas totais de tensão) e DHTi% (distorções harmônicas totais de corrente) dentro dos limites exigidos pela legislação da ANEEL utiliza-se filtros de harmônicas nos principais pontos de alimentação da rede.

5 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS QUE COMPÕE O FILTRO DE HARMÔNICAS

O Filtro de Harmônica tem como função filtrar as harmônicas provenientes do circuito elétrico ao qual é instalado, proporcionando um caminho de baixa impedância conforme sua frequência de sintonia. Assim, o filtro de harmônica evita problemas decorrentes dessas harmônicas na rede, corrige o fator de potência e evita ressonâncias indesejadas quando projetado corretamente.

A entrada dos filtros dar-se-á na ordem crescente de sintonia, ou seja, da menor ordem para a maior ordem (5ª, 7ª e 11ª ordens) e a saída dos mesmos se dará na ordem decrescente de sintonia, da maior ordem para a menor ordem (11ª, 7ª e 5ª ordens).

5.1 Capacitores (C)

Os capacitores são equipamentos capazes de armazenar energia em forma de campo elétrico. Um elemento capacitivo é basicamente constituído de duas placas condutoras postas frontalmente em paralelo e separadas por um meio isolante, que pode ser o ar, papel, plástico, etc.

Muitos equipamentos como motores elétrico, transformadores entre outros necessitam para sua operação de uma determinada quantidade de potência reativa que pode ser suprida por diversas fontes ligadas ao sistema elétrico.

Os capacitores de potência podem ser associados através de ligações série e/ou paralela com o objetivo de proporcionar maior quantidade de potência reativa. Assim, são denominados de banco de capacitores.

Os bancos de capacitores, em geral, são utilizados como fontes de potência reativa e podem ser instalados em diversos pontos do sistema elétrico de potência com os seguintes objetivos: aliviar os circuitos a montante do ponto de instalação, reduzir perdas, aumentar a tensão e corrigir o fator de potência.

Considerando o aspecto construtivo, para atender o escopo deste documento, o capacitor monofásico para exterior, deve possuir dielétrico em filme de polipropileno e eletrodos de alumínio com borda dobrada, ou corte a laser, impregnado sob vácuo com líquido isolante biodegradável, em caixa de aço inoxidável, provido de fusíveis internos ou externos, com bucha(s) para conexão externa, resistor de descarga interno, alças de fixação e olhais de suspensão. A capacitância dos capacitores será de responsabilidade de cada fornecedor embasada em estudos específicos que compatibilizem a característica do equipamento com a sintonia do filtro para filtragem das harmônicas nas respectivas ordens (5º, 7º e 11º).

Os capacitores deverão possuir caixas de isolamento que deverão ser confeccionadas em aço inoxidável ferrítico estabilizado para evitar a ocorrência de micro trincas na solda da caixa. Os procedimentos de soldagem devem ser compatíveis com o tipo de aço utilizado, não devendo apresentar estrutura martensítica na região da solda.

O Fornecedor deve informar o tipo de material utilizado na confecção da caixa e os processos utilizados para proteção contra corrosão.

5.2 Reatores de Sintonia (Ls)

Os reatores, também conhecido com indutores, são equipamentos capazes de armazenar energia em forma de campo magnético. De forma geral, um reator é basicamente constituído de uma bobina condutora com núcleo de material ferromagnético ou núcleo de ar.

Os reatores estão presentes em vários equipamentos elétricos de potência como máquinas elétricas estáticas e rotativas e necessitam de potência reativa para seu funcionamento. Possuem diversas aplicações no sistema elétrico de potência, como transformadores de potência, transformadores de corrente, transformadores de potencial, motores, geradores, filtros, etc.

Considerando o aspecto construtivo, para atender o escopo deste documento, o reator monofásico deve ser a seco, sem núcleo magnético, para exterior, com montagem sobre isoladores de pedestal inclusos no fornecimento. Os reatores deverão possuir telas para proteção contra entrada de aves em ambas as extremidades. As telas deverão ser resistentes à ação de agentes ambientais.

Da mesma forma que para os capacitores a indutância dos reatores será de responsabilidade de cada fornecedor embasada em estudos específicos que compatibilizem a característica do equipamento com a sintonia do filtro para filtragem das harmônicas nas respectivas ordens (5º, 7º e 11º).

5.3 Resistores (R)

Os resistores de potência são equipamentos elétricos cuja função é transformar energia elétrica em energia térmica, através do efeito Joule, limitar a corrente elétrica, bem como prover um maior amortecimento ao sistema elétricos em termos de transitórios e harmônicos. Os resistores oferece uma resistência à passagem da corrente elétrica. Possui como unidade o Ohm, cujo símbolo é definido pela letra grega ômega (Ω).

O resistor é um componente que possui uma resistência elétrica que é intrínseca dos materiais naturais utilizados para fabricação de equipamentos elétricos, ou seja, todo material possui uma resistividade, que relacionada ao comprimento e área defini-se sua resistência.

Considerando o aspecto construtivo, para atender o escopo deste documento, o resistor monofásico deve ser seco, para exterior, material NiCr ou Aço Inoxidável, com montagem sobre isoladores de pedestal inclusos no fornecimento. Os resistores deverão possuir telas para proteção contra entrada de aves em ambas as extremidades.

As telas deverão ser resistentes à ação de agentes ambientais. Da mesma forma que para os capacitores e reatores, a resistência dos resistores será de responsabilidade de cada fornecedor embasada em estudos específicos que compatibilizem a característica do equipamento com o grau de amortecimento desejado para apenas para o filtro de 11ª harmônica.

5.4 Chave Seccionadora de aterramento tetrapolar (CH_{AT})

A seccionadora de aterramento tetrapolar é utilizada como dispositivo de segurança que aterra o equipamento ao qual está instalada, quando deseja-se realizar manutenção no mesmo. Sua função é garantir o aterramento do equipamento das três fase e neutro, protegendo o trabalhador durante a execução de suas tarefas no equipamento.

A seccionadora de aterramento tetrapolar deve ser instalada em paralelo com o equipamento e possuir lógica de intertravamento com o dispositivo de manobra do mesmo, ou seja, se o dispositivo de manobra estiver fechado (equipamento energizado), a seccionadora deve estar aberta. Caso o dispositivo de manobra esteja aberto (equipamento desenergizado), a seccionadora deve estar fechada.

5.5 Chave Seccionadora monopolar ou tripolar a vácuo para manobra capacitiva sob carga por filtro (CH_V)

Chaves Seccionadoras é um dispositivo mecânico de manobra que na posição aberta assegura uma distância de isolamento, e na posição fechada mantém a continuidade do circuito elétrico nas condições especificadas.

A seccionadora monopolar ou tripolar a vácuo é um dispositivo de manobra que possui a função de conectar ou desconectar o equipamento da rede de energia.

5.6 Chave Seccionadora monopolar ou tripolar sem carga (CH)

Chaves Seccionadoras é um dispositivo mecânico de manobra que na posição aberta assegura uma distância de isolamento, e na posição fechada mantém a continuidade do circuito elétrico nas condições especificadas.

A chave seccionadora sem carga só pode ser manobrada quando o sistema elétrico estiver fora de operação (sem carga). Deve ser configurada com lógica de intertravamento com a seccionadora de aterramento tetrapolar.

5.7 Transformador de Corrente de Desbalanço de Neutro ($TC_{D)}$) e de Linha (TC_L)

Os transformadores de corrente são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possuírem correntes nominais de acordo com a corrente de carga do circuito ao qual estão ligados. Na sua forma mais simples eles possuem um primário, geralmente de poucas espiras, e um secundário, no qual a corrente nominal transformada é, na maioria das vezes, igual a 5A.

Os transformadores de corrente são utilizados para suprir aparelhos que apresentam baixa resistência elétrica, tais como amperímetros, relés, medidores de energia, etc.

O TC de desbalanço de neutro é instalado no condutor neutro do equipamento e tem a função de medir a corrente de neutro. Quando o ocorrer a falha de uma unidade capacitiva, haverá um desbalanço na tensão sobre o banco e consequentemente uma corrente circulando pelo neutro. O TC medirá a circulação de corrente pelo neutro e enviará tal valor para o relé de proteção que poderá enviar um sinal de trip para o dispositivo de manobra do equipamento.

5.8 Transformador de Potencial (TP)

Os transformadores de potencial são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possui tensão de isolamento de acordo com a da rede à qual estão ligados. Na sua forma mais simples eles possuem um enrolamento primário de muitas espiras, e um secundário normalmente padronizado em 115V ou 115/√3.

Os transformadores de potencial são utilizados para suprir aparelhos que apresentam elevada impedância, tais como voltímetros, relés de tensão, bobinas de tensão de medidores de energia, etc.

5.9 Para- Raios (PR)

Para-raios é um equipamento que visa a proteção dos demais equipamentos elétricos conectados a rede de energia, utilizando a propriedades de não-linearidade dos elementos de que são fabricados para conduzir as correntes de descarga associadas às tensões induzidas nas redes.

5.10 Sistema de comando e controle remoto

Os filtros de harmônicos poderão ser comandados localmente através do IED de Proteção e Controle que fará o controle por fator de potência (com sinal de tensão e corrente obtidos de TPs e TCs instalados no secundário dos transformadores 138/13,8 kV dos PEEs) e/ou à distância com a função de liga/desliga.

Os equipamentos de controle e supervisão dos filtros de harmônicos devem atender ao protocolo contido na norma IEC 61850.

6 FILTRO DE HARMÔNICAS

6.1 Dimensionamento dos filtros de harmônicas

A partir dos dados de fluxo de carga para a expansão e modernização apresentados, respectivamente, nos relatórios RT.4/EX.99/00.013 e RT.4/EX.99/00.014, além dos dados fornecidos através das medições atuais, expostos no relatório RT.4/EX.99/11.701, o dimensionamento dos filtros de harmônicas a serem instalados na expansão e modernização do Metrô-DF foi realizado com o auxílio do programa computacional PQF (Power Quality Filtros).

Os filtros deverão ter uma lógica crescente de entrada (5ª, 7ª e 11ª ordens) e decrescente de saída (11ª, 7ª e 5ª ordens) que estarão intertravados para evitar outros modos de operação. Os filtros de maior ordem não podem de forma alguma operar sem os filtros de menor ordem, ou seja, o filtro de 11ª ordem não pode operar sem os filtros de 5ª e 7ª ordem e o filtro de 7ª ordem não pode operar sem o filtro de 5ª ordem, para evitar problemas sérios de anti-ressonâncias.

Para a suportabilidade de cada filtro de harmônicos, os mesmos devem suportar os níveis de tensão da barra somados ao conteúdo harmônico de tensão obtido pela a filtragem das harmônicas previstas nos estudos. O projeto deve considerar a soma linear das tensões harmônicas e 60 Hz, de forma que os mesmos não venham sofrer stress dielétrico acima do projetado, garantindo a isolação mínima e a vida útil dentro de cada componente do filtro.

$$V_{RMS} = \sum_{V_h=1}^{h \to 51} V_h$$

Os filtros de harmônicos também devem suportar os níveis de corrente tendo em vista o conteúdo harmônico de corrente a ser drenado por cada um deles. O projeto deve considerar a soma quadrática das correntes harmônicas, pois as mesmas são responsáveis pelo efeito térmico na isolação dos componentes (aquecimento).

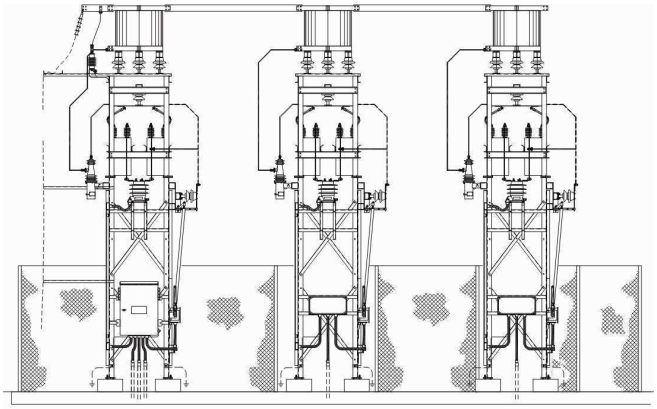
$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{V_h=1}^{h \to 51} I_h^2}$$

6.2 Montagem dos filtros de harmônicas:

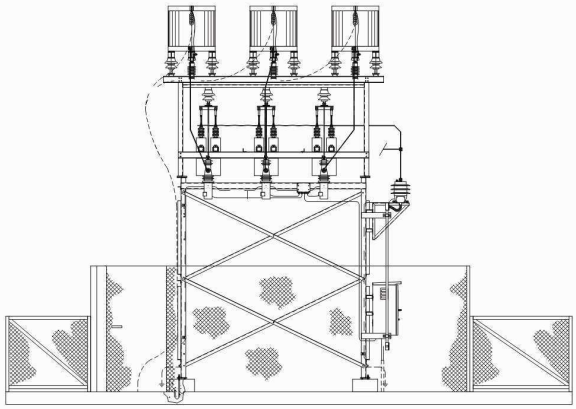
Os filtros de harmônicas que serão utilizados no Metrô-DF, apresentados na Figura 2, são basicamente compostos pelos seguintes itens:

- Reatores monofásicos;
- Resistores monofásicos (para filtros amortecidos apenas)
- Capacitores de potência monofásicos;
- Chave Seccionadora de aterramento tetrapolar;
- Chaves monopolares ou tripolares a vácuo para manobra de banco de capacitores;
- Chave seccionadora sem carga
- Transformadores de corrente de linha e de desbalanço;
- Relé multifunção para proteção contra sobrecorrentes e sobretensões, e para o controle do fator de potência na barra;
- Relé de sobrecorrente para detecção de desbalanço;
- Relé multimedidor de grandezas elétricas para limitação do conteúdo harmônico máximo a ser drenado;
- Para-raios;
- Disjuntor Geral de proteção;

- Componentes diversos, como caixa painel, elos fusíveis, molas, isoladores, conectores, barramentos, dentre outros;
- Conjunto de montagem, instalação e estrutura como rack de capacitores, estrutura de elevação, chumbadores, vergalhões e eletrodutos.



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

Figura 2 - Filtros de harmônicas

Para maiores informações em relação às características técnicas e componentes dos filtros de harmônicas para cada trecho e modernização, consultar a especificação técnica ET.4/EX.99/11.701.

6.3 Soluções de instalação dos filtros de harmônicas

Para cada ponto de instalação dos filtros de harmônicas foi proposta uma solução de instalação diferente.

6.3.1 Filtro de harmônicas – Estação 36

Na Estação 36, o filtro de harmônicas interligado ao PEE/SAM será instalado em uma área isolada no final da plataforma de embarque. Sua instalação será ao tempo. Essa solução de instalação encontra-se detalhada nos desenhos DE.4/EE.36/00.103 e DE.4/EE.36/00.104.

6.3.2 Filtro de harmônicas – Estação 29

Na Estação 29, o filtro de harmônicas interligado ao PEE/CEI também será instalado em uma área isolada no final da plataforma de embarque. Sua instalação será ao tempo. Essa solução de instalação encontra-se detalhada nos desenhos DE.4/EE.29/00.101 e DE.4/EE.29/00.102.

6.3.3 Filtro de harmônicas – Estação 41

Na Estação 41, o filtro de harmônicas interligado ao PEE/ANR será instalado em uma área isolada da sala de medição, onde também fica o PEE. Nesse caso, a base do filtro será mais baixa para se adaptar ao pé direito da sala. Assim, sua área de instalação será isolada por grade. Essa solução de instalação encontra-se detalhada nos desenhos DE.4/EE.41/00.101, DE.4/EE.41/00.102 e DE.4/EE.41/00.103.

6.3.4 Filtro de harmônicas – Subestação PEE Hípica.

Na Subestação Retificadora 5, o filtro de harmônicas interligado ao PEE/HIP será instalado em uma área isolada próxima ao PEE. Sua instalação será ao tempo. Essa solução de instalação encontra-se detalhada nos desenhos DE.4/EE.10/00.101 e DE.4/EE.10/00.102.

6.3.5 Filtro de harmônicas – SE CS

O filtro de harmônicas interligado na SE Ceilândia Sul será instalado em uma área especifica da subestação. Sua instalação será ao tempo. Essa solução de instalação deverá ser adequada junto à CEB.

6.3.6 Filtro de harmônicas – SE AC

O filtro de harmônicas interligado na SE Águas Claras será instalado em uma área especifica da subestação. Sua instalação será ao tempo. Essa solução de instalação deverá ser adequada junto à CEB.

6.3.7 Filtro de harmônicas – SE BC

O filtro de harmônicas interligado na SE Brasília Centro será instalado em uma área especifica da subestação. Sua instalação será ao tempo. Essa solução de instalação deverá ser adequada junto à CEB.

LEGENDA:

- K – INTERTRAVAMENTO KIRK
- PR – PÁRA-RAIOS.
- DJ – DISJUNTOR GERAL.
- CH – CHAVE SECCIONADORAS SEM CARGA.
- Ls – REATOR DE SINTÔNIA NA FREQUÊNCIA DESEJADA.
- CHv – CHAVE SECCIONADORA COM CARGA A VÁCUO.
- CHAT – CHAVE DE ATERRAMENTO TETRAPOLAR.
- TCD – TRANFORMADOR DE CORRENTE DE DESBALANÇO.
- RD – RELÉ DE DESBALANÇO (FUNÇÃO 51).
- C – CAPACITORES.
- RM – RELÉ MULTIFUNÇÃO PARA CONTROLE DO FATOR DE POTÊNCIA E PROTEÇÃO CONTRA CURTO-CIRCUITO, SOBRETENSÃO, SUBTENSÃO.
- M – RELÉ MULTIMEDIDOR DE GRANDEZAS ELÉTRICAS E LIMITADOR DO CONTEÚDO HARMÔNICO MÁXIMO PERMITIDO POR FILTRO
- R – RESISTOR DE AMORTECIMENTO
- TCL – TRANFORMADOR DE CORRENTE DE LINHA

REFERÊNCIAS:

1- ET.4/EX.99/11.702 – SISTEMA DE ENERGIA – FILTRO DE HARMÔNICA – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA;

2- RT.4/EX.99/00.022 – SISTEMA DE ENERGIA – ESTUDO DE COMPENSAÇÃO DE REATIVOS E FILTRO DE HARMÔNICAS – MODERNIZAÇÃO – RELATÓRIO TÉCNICO;

3- DG.4/EE.10/00.101 – SISTEMA DE ENERGIA – REDE DE ALIMENTAÇÃO – HÍPICA – PAINEL DE ENTRADA DE ENERGIA – DIAGRAMA UNIFILAR;

4- MC.4/EE.99/00.101 – SISTEMA DE ENERGIA – REDE DE ALIMENTAÇÃO – GERAL – ESTUDO DOS TCs E TPs PARA PROTEÇÃO.

NOTAS:

1- OS FILTROS DE HARMÔNICAS SERÃO CONTROLADOS POR FATOR DE POTÊNCIA E/OU TEMPO, ATRAVÉS DA UNIDADE DE PROTEÇÃO E CONTROLE DIGITAL DO FILTRO (RELÉ MULTIFUNÇÃO – RM). O RELÉ MULTIFUNÇÃO (RM) TEM A FUNÇÃO DE CONTROLAR O FATOR DE POTÊNCIA ATRAVÉS DA ENTRADA E SAÍDA DOS FILTROS CONFORME DESCRITO NA NOTA 2 ABAIXO, PROTEGER O SISTEMA CONTRA CURTO-CIRCUITOS, SOBRETENSÕES E SUBTENSÕES DO SISTEMA ALIMENTADOR DESLIGANDO O DISJUNTOR GERAL, FORNECIDO COM O PAINEL DE CUBÍCULOS DO PEE.

2- OS FILTROS DEVERÃO TER UMA LÓGICA CRESCENTE DE ENTRADA (5ª, 7ª E 11ª ORDENS) E DECRESCENTE DE SAÍDA (11ª, 7ª E 5ª ORDEM) QUE ESTARÃO INTERTRAVADOS PARA EVITAR OUTROS MODOS DE OPERAÇÃO; O FILTRO DE 11ª ORDEM NÃO PODE OPERAR SEM A PRESENÇA DOS FILTROS DE 5ª E 7ª ORDEM E O DE 7ª ORDEM NÃO PODE OPERAR SEM O FILTRO DE 5ª HARMÔNICA. A SOLUÇÃO DEVE PREVER ESTE INTERTRAVAMENTO NA OPERAÇÃO DOS FILTROS.

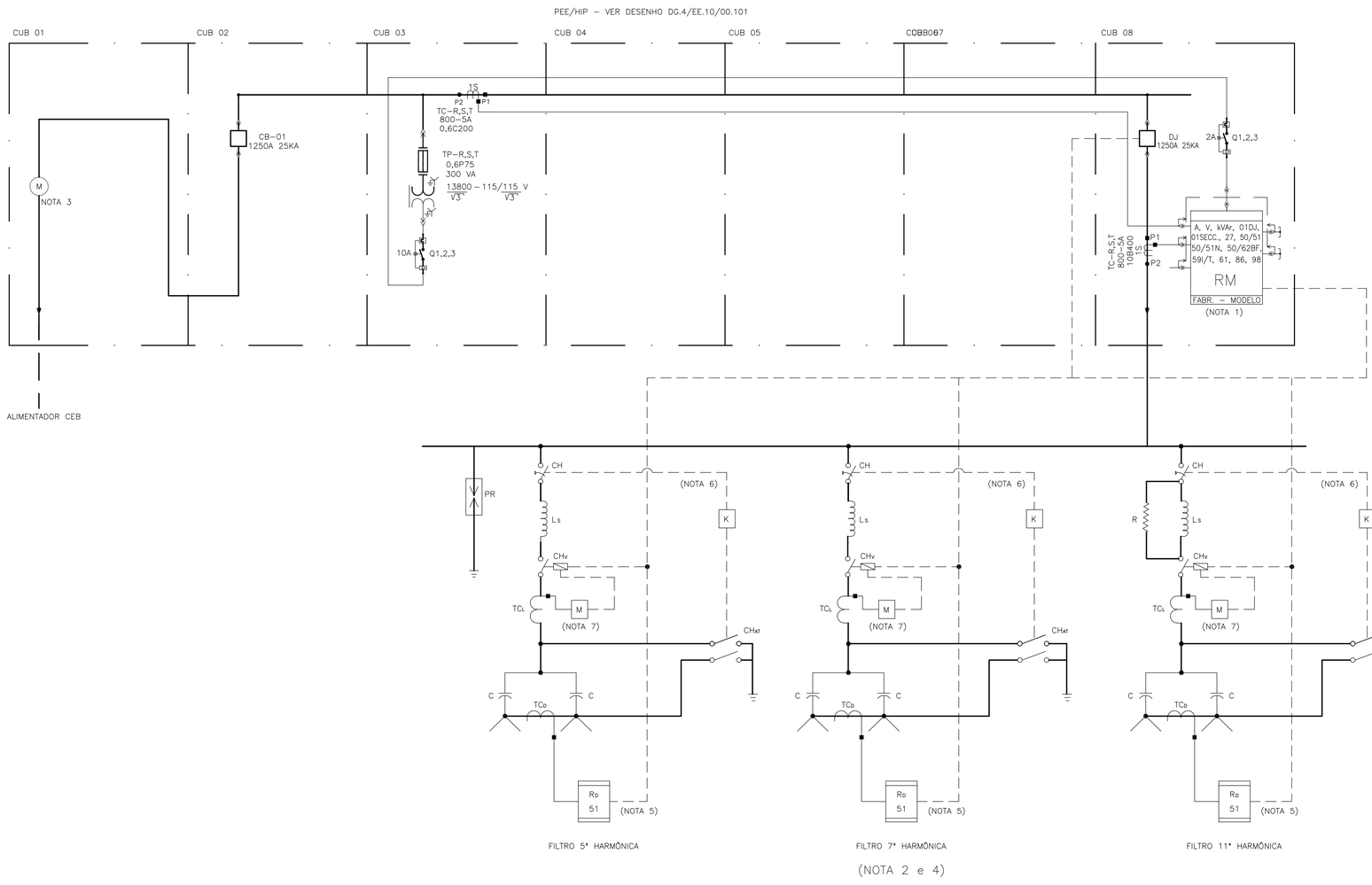
3- OS FORNECIMENTOS DO ALIMENTADOR E DO SISTEMA DE MEDIÇÃO (TP, TC E MEDIDOR) SÃO DE RESPONSABILIDADE DA CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA CEB.

4- PARA CARACTERÍSTICAS DOS FILTROS DE HARMÔNICAS E RESPECTIVOS EQUIPAMENTOS, CONSULTAR AS REFERÊNCIAS 1 E 2.

5- O RELÉ DE DESBALANÇO (R_D) TEM A FUNÇÃO DE DETECTAR DESEQUILIBRIOS QUE VENHAM A OCORRER EM CADA FILTRO DE HARMÔNICO E PROVER ALARME OU TRIP DO EQUIPAMENTO, INCLUSO NO FORNECIMENTO DO FILTRO.

6- A CHAVE SECCIONADORA SEM CARGA (CH) E A CHAVE DE ATERRAMENTO (CH_{AT}) SÃO INTERTRAVADAS MECANICAMENTE (BLOQUEIO KIRK) DE TAL FORMA QUE OS FILTROS NÃO POSSAM SER ATERRADOS SEM QUE A CHAVE SECCIONADORA SEM CARGA ESTEJA ABERTA.

7- O RELÉ MULTIMEDIDOR DE GRANDEZAS ELÉTRICAS TEM A FUNÇÃO DE MONITORAR E LIMITAR O CONTEÚDO HARMÔNICO MÁXIMO DE CORRENTE QUE CIRCULARÁ PELOS FILTROS SINTONIZADOS E AMORTECIDOS, INCLUSO NO FORNECIMENTO DO FILTRO.



REV.	MODIFICAÇÃO	DATA	ELAB.	VISTO	APROV.	VISTO	APROV.
1	APROVADO CONFORME O PARECER Nº 0513/14 TEN	07/11/14	MSAS	ECoA	ITF	ELJ/RJF	RMP
0A	REVISADO CONFORME O PARECER Nº 0497/14 TEN	17/10/14	WdNGa	ECoA	ITF	ELJ/RJF	RMP
0	EMISSÃO INICIAL	25/08/14	WdNGa	ECoA	ITF	ELJ/RJF	RMP

CONTRATADA: METRO-DF

R E V I S Õ E S

METRÔ-DF | ENGEVIX | Nº ENGEVIX P00160/01-5F-DU-0704-0

SETOR	HÍPICA
ENDEREÇO	PAINEL DE ENTRADA DE ENERGIA HÍPICA
PROPRIETARIO	METRÔ-DF
AUTOR DO PROJETO	IDYLIO THOMAZINI FILHO
RESPONSÁVEL TÉCNICO	

METRÔ-DF

IDYLIO THOMAZINI FILHO Nº CREA 5060007017

METRO-DF		SISTEMA: ENERGIA	
		SUB-SISTEMA: FILTRO DE HARMÔNICAS	
VISTO: ELJ/RJF	DATA: 25/08/14	LOCAL: PAINEL DE ENTRADA DE ENERGIA HÍPICA	
APROV.: RMP	DATA: 07/11/14	COMPONENTES/TIPO DE DOCUMENTO: DIAGRAMA UNIFILAR	
ESCALA: SEM/ESCALA	ETAPA DE PROJ.: BÁSICO		
Nº MÍDIA:	FOLHA: 1/1	CODIFICAÇÃO: DG.4/EX.10/11.701	REVISÃO: 1

SEI.00097.00011681/2020.71 / pg. 1099
Projeto Básico - Diagrama Unifilar DG.4/EX.10/11.701 (55923772)

Metrô - DF	ENGEVIX	CODIFICAÇÃO ENGEVIX P00160/01-5F-ET-0703

SETOR	FILTRO DE HARMÔNICA
ENDEREÇO	GERAL
PROPRIETÁRIO	Metrô – DF
AUTOR DO PROJETO	IDYLIO THOMAZINNI FILHO / FLÁVIO RESENDE GARCIA
RESPONSÁVEL TÉCNICO	

Metrô - DF

IDYLIO THOMAZINNI FILHO CREA N° 5060007017

Metrô - DF

		SISTEMA **ENERGIA**	
		SUBSISTEMA **FILTRO DE HARMÔNICA**	
VISTO ELJ/ RJF	DATA 22/10/2014	LOCAL **GERAL**	
APROVADO RMP	DATA 09/12/2014	COMPONENTES /TIPO DE DOCUMENTO **FILTRO DE HARMONICA** **ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA** **MODERNIZAÇÃO**	AREA DE CONST. -
ESCALA **S/ESC.**	ETAPA DO PROJ. **BÁSICO**		
N MICROFILME	FOLHA 1/48	CODIFICAÇÃO **ET.4/EX.99/11.702**	REVISÃO **1**

1	APROVADO CONFORME PARECER Nº 0534/14-TEN	09/12/2014	FRG	MS	ITF	ELJ/RJF	RMP
0A	ATENDENDO PARECER TÉCNICO 0515/14-TEN	10/11/2014	FRG	MS	ITF	ELJ/RJF	RMP
0	EMISSÃO INICIAL	22/10/2014	FRG	ECoA	ITF	ELJ/RJF	RMP
N°	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROV.	VERIF.	APROV
		CONTRATADA				**Metrô - DF**	
R E V I S Õ E S							

Metrô DF
ET.4/EX.99/11.702

FILTRO DE HARMÔNICAS 13,8 kV

SISTEMA DE ENERGIA
PROJETO BÁSICO

SUMÁRIO

1 OBJETIVO 8
2 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA 8
3 REQUISITOS GERAIS 9
3.1 CONDIÇÕES DO LOCAL DE INSTALAÇÃO 9
3.2 NORMAS TÉCNICAS 9
3.3 DOCUMENTOS TÉCNICOS 10
3.4 PERMUTABILIDADE 11
3.5 CARACTERÍSTICAS DOS SERVIÇOS AUXILIARES 11
4 EXTENSÃO DO FORNECIMENTO 11
5 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E OPERATIVAS DO FILTRO DE HARMÔNICOS 11
5.1 CAPACITORES 12
5.2 REATORES 13
5.3 RESISTORES 13
5.4 CHAVE SECCIONADORA DE ATERRAMENTO TETRAPOLAR (CHAT) 13
5.5 CHAVE SECCIONADORA MONOPOLAR OU TRIPOLAR A VÁCUO PARA MANOBRA CAPACITIVA SOB CARGA POR FILTRO (CHV) 14
5.6 CHAVE SECCIONADORA MONOPOLAR OU TRIPOLAR SEM CARGA (CH) 14
5.7 TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE DESBALANÇO DE NEUTRO (TCD) E DE LINHA (TCL) 14
5.8 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL (TP) 14
5.9 PARA- RAIOS (PR) 15
5.10 DADOS TÉCNICOS DOS FILTROS HARMÔNICOS DEFINIDOS POR INSTALAÇÃO 15
5.11 SISTEMA DE COMANDO E CONTROLE REMOTO 16
6 REQUISITOS CONSTRUTIVOS 17
6.1 ESTRUTURA SUPORTE 18
6.2 INVÓLUCRO E SUPORTES ISOLANTES 18

6.3 ARRANJO FÍSICO 18
6.4 COMPONENTES PADRONIZADOS 19
6.5 ACESSÓRIOS 19
6.6 FIAÇÃO E BLOCOS TERMINAIS 19
7 PLACA DE IDENTIFICAÇÃO 20
8 PINTURA E ZINCAGEM 20
8.1 GENERALIDADES 20
8.2 SUPERFÍCIES EXTERNAS 20
8.3 PINTURA DAS SUPERFÍCIES INTERNAS DO EQUIPAMENTO 20
8.4 VERIFICAÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA 20
8.5 ZINCAGEM POR IMERSÃO A QUENTE 21
8.6 RETOQUES 21
9 PROVISÕES TÉCNICAS PARA EMBALAGEM, TRANSPORTE E ARMAZENAGEM 21
10 INSPEÇÕES E ENSAIOS 21
10.1 GENERALIDADES 21
10.2 ENSAIOS DE ROTINA 22
10.3 ENSAIOS FINAIS DE RECEBIMENTO 22
10.4 FALHAS EM ENSAIOS 23
11 PENALIDADES POR DESEMPENHO INFERIOR AO GARANTIDO 23
11.1 PERDAS 23
12 INFORMAÇÕES TÉCNICAS APRESENTADAS COM A PROPOSTA 23
13 ANEXO I - FOLHA DE DADOS - FILTROS HARMÔNICOS POR SE/PEE 24
13.1 ANEXO I.1 – SUBESTAÇÃO BRASÍLIA CENTRO 24
13.2 ANEXO I.2 – SUBESTAÇÃO ÁGUAS CLARAS 29
13.3 ANEXO I.3 – SUBESTAÇÃO CEILÂNDIA SUL 35
13.4 ANEXO I.4 – PEE/HIP - HÍPICA 42

14 ANEXO II - LISTA DE DESVIOS E EXCEÇÕES À ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA 48

INDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Condições Climáticas 9

Tabela 2 - Características dos Serviços Auxiliares 11

1 OBJETIVO

A presente Especificação Técnica tem como objetivo definir as características principais e demais requisitos básicos para o fornecimento do Filtro de Harmônica do projeto de modernização do Metrô - DF.

Os dados técnicos apresentados são preliminares e serão confirmados após os estudos finais de verificação das Interferências das Componentes Harmônicas na Rede de Alimentação do Metrô - DF.

2 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Número	Descrição do Documento
RT.4/EX.99/00.014	Relatório Técnico– Estudo de Fluxo de Carga – Trecho Existente Modernizado
RT.4/EX.99/00.019	Relatório Técnico– Estudo de Compensação de Reativo e Filtro de Harmônicos - Trecho Expansão
RT.4/EX.99/00.022	Relatório Técnico– Estudo de Compensação de Reativo e Filtro de Harmônicos - Trecho Existente Modernizado
RT.4/EX.99/11.701	Relatório de Medições de Energia e Harmônicos – Metrô DF
DG.4/EX.99/11.701	Filtro de Harmônicas – Brasília Centro - Diagrama Unifilar Geral
DG.4/EX.99/11.702	Filtro de Harmônicas – Águas Claras – Diagrama Unifilar Geral
DG.4/EX.99/11.703	Filtro de Harmônicas – Ceilândia Sul – Diagrama Unifilar Geral
DG.4/EX.10/11.701	Filtro de Harmônicas – Hípica – Diagrama Unifilar Geral
MC.4/EX.99/11.701	Memorial de Cálculo – Filtro de Harmônicas

3 REQUISITOS GERAIS

3.1 Condições do Local de Instalação

Os equipamentos, objeto dessa especificação, serão instalados ao tempo nas subestações SE BC (Brasília Centro), SE AC (Águas Claras), SE CS (Ceilândia Sul) e PEE HIP (Hípica) em locais sujeito às seguintes condições climáticas (fonte: INMET).

Tabela 1 - Condições Climáticas

Condições Ambientais da região	
Altitude acima do nível do mar	1172 m
Clima	Tropical de Altitude
Temperatura máxima anual	40ºC
Temperatura mínima anual	10ºC
Temperatura média diária	20ºC
Umidade relativa, média anual	70%

3.2 Normas Técnicas

Para o projeto, construção e ensaios do equipamento e seus acessórios, bem como toda a terminologia e simbologia adotada deverá ser seguida da prescrição das seguintes normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, em sua última versão, menos do estabelecido de outro modo nesta Especificação Técnica, e nos documentos anexos à mesma:

IEEE 519	Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems
IEC 60099-4	Part. 4 - Metal oxide surge arresters without gaps for AC system
IEC 60282	High-voltage fuses
IEC 61243-1	Live working – Voltage detectors – Part 1: Capacitive type to be used for voltages exceeding 1 kV a.c.
IEC 61243-5	Live working – Voltage detectors – Part 1: Voltage detecting systems (VDS)
NBR 10253	Preparo de superfície de aço - carbono zincado para aplicação de sistema de pintura;
NBR 10443	Tintas e vernizes – Determinação da espessura de película seca;
NBR 11003	Ensaios de aderência em tinta e revestimentos similares - Método de ensaio;

NBR 11297	Pintura para estruturas e equipamentos de aço – carbono zincado - Especificação
NBR 11388	Sistemas de pintura para equipamentos e instalações de subestações elétricas – Especificação
NBR 14039	Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV
NBR 6323	Aço ou ferro fundido – Revestimento de zinco por imersão a quente
NBR 6855	Transformador de potencial – Especificação;
NBR 6856	Transformador de corrente – Especificação;
NBR/IEC 60694	Especificações comuns para normas de equipamentos de manobra de alta tensão e mecanismos de comando.
NR 10	Instalações e Serviços em Eletricidade
NR 15	Atividades e Operações Insalubres
NR 17	Ergonomia

3.3 Documentos Técnicos

A CONTRATADA deverá apresentar para aprovação no formato ABNT, 03 (três) cópias em papel sulfite e uma cópia em formato digital dos documentos técnicos do projeto relacionados abaixo, para análise:

- Folha de dados técnicos e características garantidas e informativas;
- Manual de instruções para montagem, operação e manutenção;
- Memorial de Cálculo do Dimensionamento dos Componentes;
- Memorial de Cálculo do Dimensionamento dos Barramentos
- Catálogo de acessórios;
- Desenho dimensional e placas de identificação;
- Detalhes da base, posição dos furos, esforços sobre a fundação, dimensões e recomendações para fixação;
- Lista de bornes e plaquetas, diagrama de fiação mostrando as ligações entre os diversos componentes entre si e as réguas terminais;
- Lista de sobressalentes;
- Cronograma de fabricação;
- Plano de inspeção e testes;
- Lista de Documentos.

3.4 Permutabilidade

Equipamentos do mesmo tipo e tensão nominal de um mesmo fornecimento devem ser permutáveis tanto física quanto eletricamente.

Peças e dispositivos com funções similares devem ser de projeto e construção idênticos, de modo que possam ser mutuamente permutáveis.

3.5 Características dos Serviços Auxiliares

No local de instalação terá disponibilidade fontes para alimentação dos serviços auxiliares nas seguintes tensões:

Tabela 2 - Características dos Serviços Auxiliares

Tensão	Frequência	Nº fases	∆V
380/220 Vca	60 Hz	3F+N	±10%
125 Vcc	-	-	+10 -20%

4 EXTENSÃO DO FORNECIMENTO

Os seguintes itens estão incluídos no fornecimento coberto por esta Especificação Técnica:

- Projeto de Fabricação;
- Equipamento completo com todos os componentes e acessórios necessários à sua perfeita instalação e operação, incluindo as ferragens, conectores e miscelâneas;
- Ensaios de rotina;
- Provisões para embalagem, transporte e armazenagem;
- Supervisão e Montagem;
- Data-Book.

5 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E OPERATIVAS DO FILTRO DE HARMÔNICOS

O Filtro de Harmônica tem como função filtrar as harmônicas provenientes do circuito de tração do Metrô-DF para a rede de corrente alternada da CEB, a fim de evitar problemas decorrentes dessas harmônicas na rede, bem como evitar ressonâncias indesejadas.

Em função de estudos preliminares o projeto dos Filtros de Harmônicas para expansão do Metrô-DF no trecho Anel Ceilândia Sul/Águas Claras e Anel Brasília Centro/Hípica devem filtrar três harmônicas diferentes, 5ª, 7ª e 11ª harmônicas, sendo denominado filtro de tripla sintonia que visam amortizar também os efeitos das harmônicas geradas pelas cargas não lineares existentes na CEB.

Apesar da presença dos Retificadores de 12 pulsos, os resultados obtidos em campo em várias destas aplicações têm mostrado que a resultante harmônica de 13° ordem, quando da instalação filtros de 11° ordem de forma amortecida, não ofende os limites prescritos na IEEE 519 (norma mais rígida referente ao controle das interferências harmônicas). Contudo, essa solução deverá ser confirmada pelo fornecedor dos

equipamentos de filtragem harmônica considerando a avaliação/medição de toda rede de alimentação das SE/PEEs do Metrô-DF em 13,8 kV, as impedâncias dos cabos da rede e as respectivas cargas aplicadas através da realização de novas simulações computacionais.

Cada um dos filtros de harmônicos acima será composto por um banco de capacitores em série com reatores sintonizados na frequência desejada. Apenas o filtro de harmônicos de 11ª ordem é que será amortecido com um resistor instalado em paralelo com o reator.

A operação dos sistemas sem um equipamento de filtragem de harmônicos pode comprometer o funcionamento do Metrô-DF, em virtude dos altos índices de distorção nos PEEs que estão acima dos limites recomendados pela norma IEEE 519/2014 (DHTv < 5%).

Recomenda-se a aplicação de filtros sintonizados na 5ª, 7ª e 11ª ordem, que reduz os níveis de distorção harmônica total de tensão dentro dos limites recomendados pela norma em 13,8 kV (IEEE 519/2014).

Os filtros de harmônicos serão controlados por FP e/ou tempo, através de um relé digital que receberá um sinal de TP e TC instalado nas barras das SEs/PEE.

Os filtros de harmônicos deverão possuir dispositivos (como TCs e multimedidores por fase) que limitem a distorção harmônica total de corrente (DHTi%) a ser drenada por fase devido às fortes influências das harmônicas advindas do sistema elétrico da CEB e que tendem a crescer com o aumento da demanda ao longo dos anos.

Os filtros deverão ter uma lógica crescente de entrada (5ª, 7ª e 11ª ordens) e decrescente de saída (11ª, 7ª e 5ª ordens) que estarão intertravados para evitar outros modos de operação. Os filtros de maior ordem não podem de forma alguma operar sem os filtros de menor ordem, ou seja, o filtro de 11ª ordem não pode operar sem os filtros de 5ª e 7ª ordem e o filtro de 7ª ordem não pode operar sem o filtro de 5ª ordem, para evitar problemas sérios de anti-ressonâncias.

5.1 Capacitores

Capacitor monofásico para exterior, com dielétrico em filme de polipropileno e eletrodos de alumínio com borda dobrada, ou corte a laser, impregnado sob vácuo com líquido isolante biodegradável, em caixa de aço inoxidável, provido de fusíveis internos ou externos, com bucha(s) para conexão externa, resistor de descarga interno, alças de fixação e olhais de suspensão. A capacitância dos capacitores será de responsabilidade de cada fornecedor embasada em estudos específicos que compatibilizem a característica do equipamento com a sintonia do filtro para filtragem das harmônicas nas respectivas ordens (5º, 7º e 11º)

Os capacitores deverão possuir caixas de isolamento que deverão ser confeccionadas em aço inoxidável ferrítico estabilizado para evitar a ocorrência de micro trincas na solda da caixa. Os procedimentos de soldagem devem ser compatíveis com o tipo de aço utilizado, não devendo apresentar estrutura martensítica na região da solda.

O Fornecedor deve informar o tipo de material utilizado na confecção da caixa e os processos utilizados para proteção contra corrosão.

Observação: Vide especificação técnica no Anexo I.

5.2 Reatores

Reator monofásico, seco, sem núcleo magnético, para exterior, com montagem sobre isoladores de pedestal inclusos no fornecimento. Os reatores deverão possuir telas para proteção contra entrada de aves em ambas as extremidades. As telas deverão ser resistentes à ação de agentes ambientais.

Da mesma forma que para os capacitores a indutância dos reatores será de responsabilidade de cada fornecedor embasada em estudos específicos que compatibilizem a característica do equipamento com a sintonia do filtro para filtragem das harmônicas nas respectivas ordens (5º, 7º e 11º).

Observação: Vide especificação técnica no Anexo I.

5.3 Resistores

Resistor monofásico, seco, para exterior, material NiCr ou Aço Inoxidável, com montagem sobre isoladores de pedestal inclusos no fornecimento. Os resistores deverão possuir telas para proteção contra entrada de aves em ambas as extremidades.

As telas deverão ser resistentes à ação de agentes ambientais. Da mesma forma que para os capacitores e reatores, a resistência dos resistores será de responsabilidade de cada fornecedor embasada em estudos específicos que compatibilizem a característica do equipamento com o grau de amortecimento desejado para apenas para o filtro de 11ª harmônica.

Observação: Vide especificação técnica no Anexo I.

5.4 Chave Seccionadora de aterramento tetrapolar (CH$_{AT}$)

A seccionadora de aterramento tetrapolar é utilizada como dispositivo de segurança que aterra o equipamento ao qual está instalada, quando deseja-se realizar manutenção no mesmo. Sua função é garantir o aterramento do equipamento das três fase e neutro, protegendo o trabalhador durante a execução de suas tarefas no equipamento.

A seccionadora de aterramento tetrapolar deve ser instalada em paralelo com o equipamento e possuir lógica de intertravamento com o dispositivo de manobra do mesmo, ou seja, se o dispositivo de manobra estiver fechado (equipamento energizado), a seccionadora deve estar aberta. Caso o dispositivo de manobra esteja aberto (equipamento desenergizado), a seccionadora deve estar fechada.

5.5 Chave Seccionadora monopolar ou tripolar a vácuo para manobra capacitiva sob carga por filtro (CHv)

Chaves Seccionadoras é um dispositivo mecânico de manobra que na posição aberta assegura uma distância de isolamento, e na posição fechada mantém a continuidade do circuito elétrico nas condições especificadas.

A seccionadora monopolar ou tripolar a vácuo é um dispositivo de manobra que possui a função de conectar ou desconectar o equipamento da rede de energia.

Observação: Vide especificação técnica no Anexo I

5.6 Chave Seccionadora monopolar ou tripolar sem carga (CH)

Chaves Seccionadoras é um dispositivo mecânico de manobra que na posição aberta assegura uma distância de isolamento, e na posição fechada mantém a continuidade do circuito elétrico nas condições especificadas.

A chave seccionadora sem carga só pode ser manobrada quando o sistema elétrico estiver fora de operação (sem carga). Deve ser configurada com lógica de intertravamento com a seccionadora de aterramento tetrapolar.

Observação: Vide especificação técnica no Anexo I

5.7 Transformador de Corrente de Desbalanço de Neutro (TCD) e de Linha (TCL)

Os transformadores de corrente são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possuírem correntes nominais de acordo com a corrente de carga do circuito ao qual estão ligados. Na sua forma mais simples eles possuem um primário, geralmente de poucas espiras, e um secundário, no qual a corrente nominal transformada é, na maioria das vezes, igual a 5A.

Os transformadores de corrente são utilizados para suprir aparelhos que apresentam baixa resistência elétrica, tais como amperímetros, relés, medidores de energia, etc.

O TC de desbalanço de neutro é instalado no condutor neutro do equipamento e tem a função de medir a corrente de neutro. Quando o ocorrer a falha de uma unidade capacitiva, haverá um desbalanço na tensão sobre o banco e consequentemente uma corrente circulando pelo neutro. O TC medirá a circulação de corrente pelo neutro e enviará tal valor para o relé de proteção que poderá enviar um sinal de trip para o dispositivo de manobra do equipamento.

Observação: Vide especificação técnica no Anexo I

5.8 Transformador de Potencial (TP)

Os transformadores de potencial são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possui tensão de isolamento de acordo com a da rede à qual estão ligados. Na sua forma mais simples

eles possuem um enrolamento primário de muitas espiras, e um secundário normalmente padronizado em 115V ou 115/√3.

Os transformadores de potencial são utilizados para suprir aparelhos que apresentam elevada impedância, tais como voltímetros, relés de tensão, bobinas de tensão de medidores de energia, etc.

Observação: Vide especificação técnica no Anexo I

5.9 Para- Raios (PR)

Para-raios é um equipamento que visa a proteção dos demais equipamentos elétricos conectados a rede de energia, utilizando a propriedades de não-linearidade dos elementos de que são fabricados para conduzir as correntes de descarga associadas às tensões induzidas nas redes.Dados Técnicos dos Filtros Harmônicos definidos por Instalação

Relacionam-se a seguir as soluções de filtragem harmônica definidas nos estudos computacionais de fluxo harmônico realizados para as diversas condições operativas previstas pelos estudos de fluxo de carga.

Observação: Vide especificação técnica no Anexo I

5.10 Dados Técnicos dos Filtros Harmônicos definidos por Instalação

Relacionam-se a seguir as soluções de filtragem harmônica definidas nos estudos computacionais de fluxo harmônico realizados para as diversas condições operativas previstas pelos estudos de fluxo de carga.

5.10.1 Subestação Brasília Centro:

✓ 01 Filtro de Tripla Sintonia Automático com controle por FP e/ou tempo composto de:

- 1º Estágio: Filtro Harmônico Sintonizado em 4,4H (264 Hz) – 900 kVAr / 13,8 kV
- 2º Estágio: Filtro Harmônico Sintonizado em 6,5H (390 Hz) – 900 kVAr / 13,8 kV
- 3º Estágio: Filtro Harmônico Sintonizado em 10,8H (264 Hz) – 900 kVAr / 13,8 kV

Observação: Ver especificação técnica dos filtros no Anexo I. 1

5.10.2 - Subestação Águas Claras:

✓ 01 Filtro de Tripla Sintonia Automático com controle por FP e/ou tempo composto de:

- 1º Estágio: Filtro Harmônico Sintonizado em 4,4H (264 Hz) – 900 kVAr / 13,8 kV
- 2º Estágio: Filtro Harmônico Sintonizado em 6,5H (390 Hz) – 900 kVAr / 13,8 kV
- 3º Estágio: Filtro Harmônico Sintonizado em 10,8H (648 Hz)– 900 kVAr / 13,8 kV

Observação: Ver especificação técnica dos filtros no Anexo I. 2.

5.10.3 - Subestação Ceilândia Sul:

✓ 01 Filtro de Tripla Sintonia Automático com controle por FP e/ou tempo composto de:

- 1º Estágio: Filtro Harmônico Sintonizado em 4,4H (264 Hz) – 900 kVAr / 13,8 kV
- 2º Estágio: Filtro Harmônico Sintonizado em 6,5H (390 Hz) – 900 kVAr / 13,8 kV
- 3º Estágio: Filtro Harmônico Sintonizado em 10,8H (648 Hz)– 900 kVAr / 13,8 kV

Observação: Ver especificação técnica dos filtros no Anexo I. 3

5.10.4 – PEE/HIP - Hípica:

✓ 01 Filtro de Tripla Sintonia Automático com controle por FP e/ou tempo composto de:

- 1º Estágio: Filtro Harmônico Sintonizado em 4,4H (264 Hz) – 900 kVAr / 13,8 kV
- 2º Estágio: Filtro Harmônico Sintonizado em 6,5H (390 Hz) – 900 kVAr / 13,8 kV
- 3º Estágio: Filtro Harmônico Sintonizado em 10,8H (648 Hz)– 900 kVAr / 13,8 kV

Observação: Ver especificação técnica dos filtros no Anexo I. 4

Notas Técnicas para todas as Subestações:

a) Os filtros de harmônicos serão controlados por FP e/ou tempo, através de um relé digital que receberá um sinal de TP e TC instalados nas barras dos Painéis de Entrada de Energia.

b) Os filtros deverão ter uma lógica crescente de entrada (5ª, 7ª e 11ª ordens) e decrescente de saída (11ª, 7ª e 5ª ordens) que estarão inter-travados para evitar outros modos de operação.

c) Cada filtro deverá dispor de sistema limitador de distorção harmônica total de corrente que circulará pelo mesmo tendo em vista que grande parte das harmônicas são injetadas pelas cargas residenciais, comerciais e industriais instaladas no sistema elétrico da CEB.

5.11 Sistema de comando e controle remoto

Os filtros de harmônicos poderão ser comandados localmente através do IED de Proteção e Controle que fará o controle por fator de potência (com sinal de tensão e corrente obtidos de TPs e TCs instalados no secundário dos transformadores 138/13,8 kV dos PEEs) e/ou à distância com a função de liga/desliga.

Os equipamentos de controle e supervisão dos filtros de harmônicos devem atender ao protocolo contido na norma IEC 61850.

A entrada dos filtros dar-se-á na ordem crescente de sintonia, ou seja, da menor ordem para a maior ordem (5ª, 7ª e 11ª ordens) e a saída dos mesmos se dará na ordem decrescente de sintonia, da maior ordem para a menor ordem (11ª, 7ª e 5ª ordens).

O projeto de comando e controle deverá prever o intertravamento conforme operação dos filtros supracitada, evitando assim outros modos de operação.

Os filtros de harmônicos deverão ser controlados por FP e/ou tempo, através de relé digital que receberá um sinal de TP e TC instalado na barra de alimentação das SEs.

Os filtros de harmônicos deverão possuir dispositivos (com TCs e multimedidores por fase) que limitem a distorção harmônica total de corrente (DHTi%) por fase devido às fortes influências das harmônicas advindas do sistema elétrico da CEB e que tendem a crescer com o aumento da demanda ao longo dos anos.

Os filtros deverão ter uma lógica crescente de entrada (5ª, 7ª e 11ª ordens) e decrescente de saída (11ª, 7ª e 5ª ordens) que estarão intertravados para evitar outros modos de operação.

6 REQUISITOS CONSTRUTIVOS

As dimensões máximas da área para instalação dos filtros de harmônicas ao tempo é 6500x10000x6000 mm (altura x largura x profundidade) As dimensões do conjunto deverão respeitar as dimensões mínimas de locomoção ao redor do mesmo no local da instalação. Essas dimensões máximas poderão ser modificadas de acordo com as limitações dos locais de instalação em acordo com as normas vigentes.

Para filtros que serão modernizados nas subestações SE BC (Brasília Centro), SE AC (Águas Claras), SE CS (Ceilândia Sul), deverá ser consultada a CEB sobre a área disponível de instalação. Para o filtro de harmônica da PEE HIP (Hípica) não há necessidade desta consulta, pois será instalado dentro das instalações do Metrô-DF.

Os desenhos de Disposição de Equipamentos disponibilizados no projeto básico apresentam as dimensões e arranjo orientativos para os quatros pontos de instalação.

Deverão ser previstas facilidades para içamento do equipamento, adequadamente projetadas, podendo ser do tipo olhal ou cantoneiras removíveis.

Para evitar problemas nas montagens do conjunto a CONTRATADA deverá escolher o melhor método de nivelamento do piso para a perfeita montagem dos cubículos.

Qualquer equipamento deverá ser facilmente identificado através de uma identificação adequada e indelével que permitirá, inclusive, determinar sem dificuldades as suas características elétricas.

Deverão ser gravadas pela CONTRATADA em língua portuguesa, após a apresentação dos arranjos físicos das instalações e a aprovação das listas de gravações.

Deverá ser providenciada pela CONTRATADA a devida sinalização de segurança para atender a norma NR 10.

Todos os componentes necessários para um perfeito desempenho e operação do Filtro deverão estar incluídos no fornecimento.

6.1 Estrutura suporte

Estrutura metálica auto-portante para instalação ao tempo, construída com perfilados de aço galvanizados ou alumínio, em forma de prateleiras ajustadas para acomodar as unidades capacitivas e isoladas entre si por meio de isoladores pedestal, se necessários.

O fornecimento deverá incluir todos os parafusos, porcas, arruelas e chumbadores necessários à montagem da estrutura, acrescidos de cinco por cento.

O banco de capacitores deverá ser projetado para suportar barramento tubular passante, cobre de diâmetro 1" IPS (suporte e conexão incluídos neste fornecimento), que fará interconexão com os componentes do filtro.

6.2 Invólucro e suportes isolantes

O invólucro dos transformadores de corrente, buchas dos capacitores e isoladores suporte, quando de porcelana, deverá ser homogêneo, livre de laminações, cavidades e escorrimentos, bem vitrificado e impenetrável à umidade. A vitrificação deverá ser isenta de imperfeições tais como bolhas ou queimaduras.

Todas as porções de um invólucro ou suporte de porcelana, que possam de algum modo ser expostas à atmosfera, com exceção das juntas ou gaxetas, deverão ser compostas de material não higroscópico, tal como metal ou porcelana vitrificada.

São também aceitáveis buchas ou suportes executados em epóxi cicloalifático adequados ao uso externo ou em borracha EPM.

As peças deverão ser projetadas de maneira a não produzirem esforços indevidos causados pela variação da temperatura e serem adequados para absorver as expansões ou deflexões dos condutores ou partes do circuito principal, resultantes de sobrecargas ou condições transitórias.

A CONTRATADA deverá considerar o nível de poluição na escolha dos invólucros e da distância de escoamento.

6.3 Arranjo Físico

O arranjo físico do conjunto reatores e bancos de capacitores deverá permitir facilidades, durante a intervenção da manutenção, para retirada e colocação de capacitores em qualquer fase. Caso o arranjo do banco tenha racks superpostos ou sem acesso direto do solo, o fornecimento deverá incluir um dispositivo de içamento para retirada e colocação de capacitores da estrutura com roldana e deslocamento longitudinal.

Durante curtos-circuitos os barramentos rígidos com suportes isolantes transmitem esforços aos isoladores com ocorrência de frequentes trincas nos isoladores, principalmente nas extremidades. O Fornecedor deverá dimensionar isoladores que resistam aos esforços ou adotar, por exemplo, conexões passantes nos isoladores ou barramentos seccionados com interligação através de cordoalhas flexíveis com soldas exotérmicas para evitar a ocorrência de pontos quentes nessas conexões.

6.4 Componentes Padronizados

Para padronizar pequenos componentes acessórios e reduzir o número de partes disponíveis de reserva a ser mantido em estoque, o Fornecimento deverá considerar que:

- As lâmpadas deverão usar base com rosca Edson E-27, exceto no caso de lâmpadas especiais de sinalização;
- Os mini disjuntores utilizados nos circuitos de aquecimento e comando, supervisão e controle deverão ter frame único e capacidade compatível com a proteção dos cabos de controle.
- Devem ser utilizado trilhos padrão DIN para fixação dos disjuntores e mini disjuntores.

6.5 Acessórios

Além dos acessórios mencionados anteriormente, o equipamento deverá ser fornecido, no mínimo, com os listados a seguir:

- Provisões para içamento;
- Terminais e conectores para cabos;
- Anilhas para identificação de cabos;
- Bornes terminais;
- Calhas para cabos.

6.6 Fiação e Blocos Terminais

Os bornes terminais deverão ser do tipo moldado com barreiras entre terminais adjacentes, isolamento 750 V, capacidade de condução mínima 30 A e:

- Seção nominal até 16 mm² para circuitos de alimentação de força para motores de acionamento e aquecimento e iluminação;
- Seção nominal até 4 mm² para circuitos de comando e controle e supervisão;
- Para condutores com seções superiores a 16 mm², as conexões deverão ser realizadas através de terminais em barra.

Deverão ser incluídos 10% de bornes terminais reservas de cada tipo utilizado, porém não menos que 5 (cinco) reservas em cada régua. Os bornes terminais deverão ser montados e sequenciados de modo que facilite a entrada, a instalação e a identificação dos cabos. Os circuitos deverão ser projetados de modo que não existam mais de dois condutores em qualquer borne terminal.

Os bornes terminais destinados aos diversos circuitos deverão ser agrupados e separados de outras funções deverão ser do tipo prensa fio para acomodar terminais tipo agulha

Todos os condutores da fiação deverão ser do tipo flexíveis, formados por fios de cobre eletrolítico tempera mole, revestidos , isolamento 750 V, antichamas, livre de halogênio, encordoamento classe 4, temperatura 70 ºC.

A fiação deverá correr sempre em calhas apropriadas com tampas removíveis, instaladas no interior do equipamento. As calhas e tampas deverão ser de material não propagador de chama. A fiação fora das calhas deverá ser mínima e, quando utilizada, deverá ser em grupos de cabos amarrados (chicotes), dispostos horizontal e verticalmente e fixados à estrutura. O dobramento do grupo de cabos deverá ter raio de curvatura adequado. A fiação deverá ser contínua, sem emendas ou junções, e ser perfeitamente identificada em ambas as extremidades, por meio de anilhas plásticas, com o mesmo código alfanumérico utilizado na confecção dos desenhos de controle. A anilha de cada condutor deverá identificar o componente e o terminal no qual o condutor estiver ligado.

6.6.1 Padrão de Cores

O padrão de cores para fiação interna e externa deverá seguir o padrão existente atualmente no Metrô - DF.

7 PLACA DE IDENTIFICAÇÃO

A placa de identificação deverá ser de aço inoxidável e fixada por meio de parafusos nas estruturas e fixada por adesivo nos equipamentos, em posição perfeitamente visível, com dizeres em português, gravados em baixo relevo e marcados com tinta indelével.

8 PINTURA E ZINCAGEM

8.1 Generalidades

- Todas as partes metálicas ferrosas deverão ser pintadas ou zincadas conforme esquema abaixo;
- Partes metálicas não ferrosas ou zincadas não serão pintadas.

8.2 Superfícies Externas

8.2.1 Pintura das superfícies ferrosas não zincadas

- A pintura das superfícies ferrosas deverá ser executada em sistema epóxi/poliuretano, conforme NBR-11388.

8.2.2 Cor de acabamento

- Todas as partes metálicas pintadas deverão ter cor de acabamento cinza claro referência Munsell N 6,5.

8.3 Pintura das Superfícies Internas do Equipamento

- A pintura das superfícies internas do equipamento deverá ser executada conforme NBR-11388;
- Não deverá ser utilizado esmalte poliuretano modificado;

8.4 Verificação do Processo de Pintura

- A espessura total da película seca das superfícies pintadas será medida de acordo com as prescrições da NBR 10443;

- A aderência da camada de tinta das superfícies pintadas será verificada de acordo com as prescrições da NBR 11003;
- A aderência requerida para a pintura das superfícies ferrosas será grade zero (GR "0") e para as superfícies não ferrosas ou zincadas deverá ser grade um (GR "1").

8.5 Zincagem por Imersão a Quente

- Toda a zincagem e respectivos ensaios sobre as estruturas metálicas, as chapas, partes roscadas, cantos vivos, parafusos, porcas, arruelas, contra-porcas e ferragens similares deverão ser executados de acordo com a NBR-6323.

8.6 Retoques

- Os veículos, tanto das tintas de fundo como das tintas de acabamento, deverão ser do tipo cuja polimerização para eventuais retoques no campo, não necessite do uso de aparelhagem e materiais especiais tais como aquecedores, preparados químicos, etc.;
- Deverá ser fornecida tinta do mesmo tipo da usada na fábrica, para eventual reparo e manutenção no campo, no mínimo 01 litro por unidade.

9 PROVISÕES TÉCNICAS PARA EMBALAGEM, TRANSPORTE E ARMAZENAGEM

Aplicam-se as disposições NBR IEC 60694.

A embalagem deve ser adequada para transporte que envolva embarques, desembarques e transporte por rodovias não pavimentadas e/ou por via marítima/fluvial. Todas as peças devem ser embaladas em invólucro impermeável, selado, contendo em seu interior meios de absorção de umidade e acondicionadas em caixas totalmente fechadas.

Na embalagem dos quadros e caixas elétricas, componentes e sobressalentes, para evitar problemas de oxidação, deverão ser indicados, quando aplicável:

- Tipo de armazenagem (ao tempo ou abrigado);
- Ligar resistência de aquecimento;
- Potência requerida.

10 INSPEÇÕES E ENSAIOS

10.1 Generalidades

Os componentes deste fornecimento serão submetidos a inspeções e ensaios na fábrica, de acordo com esta especificação e conforme contrato, na presença do inspetor do Metrô - DF

Caso o laboratório de ensaios do Fornecedor não seja suficientemente equipado para execução dos ensaios solicitados, o Fornecedor deverá providenciar a execução em instalações de terceiros.

Certificados dos ensaios de tipo para equipamento de características iguais ou similares às especificadas, deverão ser apresentados com a proposta. Quando a similaridade não for evidente, o Fornecedor deverá apresentar o relatório de similaridade, ficando a critério do Metrô - DF sua aceitação.

Serão aceitos os relatórios que atenderem os seguintes itens:

- Resultados satisfatórios;
- Equipamento igual ou similar ao especificado;
- Datas, dados e características legíveis;
- Ensaios realizados conforme normas específicas.

Todos os ensaios executados após a data da adjudicação do contrato serão testemunhados pelo Metrô - DF.

A execução de ensaios sem a presença do Metrô - DF deverá feita somente com autorização por escrito.

10.2 Ensaios de Rotina

10.2.1 Capacitores

- Ensaio de estanqueidade, conforme NBR5282, item 6.3.1;
- Tensão aplicada entre terminais;
- Tensão aplicada entre terminais e caixa;
- Medição da capacitância;
- Medição do fator de perdas;
- Medição da resistência ôhmica do dispositivo interno de descarga;
- Pintura: espessura, conforme NBR 10443;
- Aderência, conforme anexo D, NBR 12479.

10.2.2 Reatores

- Resistência elétrica do enrolamento;
- Perdas;
- Corrente;
- Impedância.

10.3 Ensaios Finais de Recebimento

- O equipamento deverá ser submetido aos ensaios de aceitação do equipamento em campo;
- Caso os valores atingidos não correspondam aos obtidos na fábrica, o custo desse reparo ficará por conta da CONTRATADA.

10.4 Falhas em Ensaios

- No caso de repetição da falha, o Inspetor do Metrô - DF deverá ter acesso às instalações da CONTRATADA, desenhos, cálculos, resultados de ensaios em protótipos e qualquer outra informação que a Metrô - DF possa utilizar para orientação;
- Em caso de falha do dielétrico durante um ensaio, todos os ensaios dielétricos serão repetidos, tão logo a falha seja localizada e superada;
- Todos os procedimentos e materiais necessários ao reparo do equipamento decorrentes de falhas nos ensaios não acarretarão quaisquer ônus para a Metrô-DF.

11 PENALIDADES POR DESEMPENHO INFERIOR AO GARANTIDO

11.1 Perdas

No caso os valores garantidos não serem atendidos, o Metrô - DF se reserva o direito de rejeitar ou não o equipamento.

12 INFORMAÇÕES TÉCNICAS APRESENTADAS COM A PROPOSTA

O PROPONENTE deverá anexar a todas as vias de sua proposta, os documentos relacionados a seguir e de outros que julgar necessários para melhor caracterizar o equipamento ofertado:

- Desenho preliminar do equipamento, indicando as dimensões principais, massa e localização dos componentes e acessórios;
- Se possível, apresentar catálogos e descrições preliminares de todos os componentes, acessórios e dispositivos do equipamento, de modo a possibilitar a verificação do atendimento aos requisitos especificados;
- Lista de desvios e exceções à Especificação Técnica (anexo II);
- Tabela de Características Garantidas e Informativas Anexas a presente Especificação Técnica, devidamente preenchida;
- Lista contendo as quantidades adquiridas por outros clientes, seus nomes, datas da compra do equipamento, contendo tipo ou modelo e características principais dos mesmos

13 ANEXO I - FOLHA DE DADOS - FILTROS HARMÔNICOS POR SE/PEE

13.1 ANEXO I.1 – SUBESTAÇÃO BRASÍLIA CENTRO

ANEXO I.1 - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE FILTROS DE HARMÔNICOS PARA O METRO - DF								
Subestação: Brasília Centro			**Quantidade => 01 Conjunto de tripla sintonia**					
Item	**Descrição**	**Un.**	**Filtro Harmônico Especificado**			**Filtro Harmônico Propostos**		
	CONDIÇÕES AMBIENTAIS	-	**Sintonia 01**	**Sintonia 02**	**Sintonia 03**	**Sintonia 01**	**Sintonia 02**	**Sintonia 03**
1	Temperatura máxima do ambiente	°C	40	40	40			
2	Altitude	m	<1200	<1200	<1200			
3	Umidade relativa	%	70	70	70			
4	Proximidade do mar	-	não	não	não			
5	Atmosfera corrosiva (sim /não)	-	não	não	não			
	SISTEMA ELÉTRICO	-						
6	Tensão nominal para alimentação do filtro	kV	13,8	13,8	13,8			
7	Sobretensão máxima de operação prevista	%	10	10	10			
8	Tensão de controle	Vcc	125	125	125			
9	Tensão auxiliar	Vca	220	220	220			
10	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
11	Neutro do sistema solidamente aterrado (sim /não)	-	sim	sim	sim			
	Nível de curto-circuito no barramento do cubículo de alimentação	-						
12	Assimétrico de pico (1/2 ciclo)	kA	62,5	62,5	62,5			
13	Simétrico (4 ciclos)	kA	25	25	25			
	FILTRO DE HARMÔNICOS	**-**	**(ver Nota 8)**	**(ver Nota 8)**	**(ver Nota 8)**			
14	Quantidade	-	01	01	01			
15	Potência Efetiva em 13,8 kV	kVAr	915,7	889,46	875,92			
16	Corrente de trabalho a 60 Hz	A	38,19	37,21	36,65			
17	Conteúdo harmônico máximo previsto	%	120	120	120			
18	Ordem Harmônica de sintonia	Hz	264 (4,4H)	390 (6,5H)	648 (10,8H)			
19	Tensão máxima de Operação contínua	kV	15,18	15,18	15,18			
	BANCO DE CAPACITORES							
20	Quantidade	-	1	1	1			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1123

21	Tipo de ligação	-	Estrela Isolada	Estrela Isolada	Estrela Isolada			
22	Potência trifásica nominal	kVAr	2850	2850	2850			
23	Tensão de linha nominal	kV	25,0	25,0	25,0			
24	Corrente nominal	A	65,8	65,8	65,8			
25	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
	Capacitância	-						
26	Valor nominal por fase	µF	12,06	12,06	12,06			
27	Tolerância de cada unidade individual	%	-5,0% a +10,0%	-5,0% a +10,0%	-5,0% a +10,0%			
28	Tolerância por fase do banco	%	0 a +5,0%	0 a +5,0%	0 a +5,0%			
29	Tolerância de capacitância entre fases	%	0 a +5,0%	0 a +5,0%	0 a +5,0%			
30	Perdas a 20 °C (inferiores a)	W/kVAr	0,3	0,3	0,3			
	Nível de isolação contra terra	-						
31	TSI (1,2 x 50 µs)	kV	110	110	110			
32	À freqüência industrial (1 minuto)	kV	34	34	34			
	REATOR							
33	Quantidade	-	03	03	03			
34	Tensão nominal do sistema	kV	13,8	13,8	13,8			
35	Ventilação (ar natural /ar forçado)	-	Ar natural	Ar natural	Ar natural			
	Indutância	-						
36	Valor nominal	mH	30,05	13,77	4,99			
37	Tolerância por fase	%	+ou- 2	+ou- 2	+ou- 2			
38	Tolerância entre fases	%	+ou- 2	+ou- 2	+ou- 2			
39	Corrente nominal (incluindo harmônicos)	A	90,0	90,0	90,0			
40	Fator de qualidade do reator na freqüência de sintonia	-	>50	>50	>50			
41	*Taps* (quantidade /%)	%	-3,0%,0% e +3,0%	-3,0%,0% e +3,0%	-3,0%,0% e +3,0%			
	Corrente de curto-circuito	-						
42	Térmica (1 s)	kA	25,0	25,0	25,0			
43	Dinâmica (pico assimétrico)	kA pico	62,5	62,5	62,5			
44	Perdas ativas por fase (inferior a)	W	Informar	Informar	Informar			
	Temperatura máxima	-						
45	Ambiente	°C	40	40	40			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1124

46	Sobrelevação Máxima	°C	50	50	50			
	Nível de isolação contra terra	- D16sim						
47	TSI	kV	110	110	110			
48	À freqüência industrial	kV	34	34	34			
	RESISTOR							
49	Quantidade	-	-	-	03 unidade / filtro			
50	Tensão nominal do sistema	kV	-	-	13,8			
51	Ventilação (ar natural /ar forçado)	-	-	-	Ar natural			
52	Tipo de material utilizado		-	-	NiCr ou Aço Inoxidável			
53	**Resistência**	-	-	-				
54	Valor nominal	Ω	-	-	93,2			
55	Tolerância por fase	%	-	-	+ou- 5%			
56	Tolerância entre fases	%	-	-	+ou- 5%			
57	Corrente nominal	A	-	-	10,0			
58	**Corrente de curto-circuito**	-	-	-				
59	Térmica (1 s)	kA	-	-	25			
60	Dinâmica (pico assimétrico)	kA pico	-	-	62,5			
	Temperatura máxima	-	-	-				
61	Ambiente	°C	-	-	40			
62	Sobrelevação	°C	-	-	Favor informar			
	Nível de isolação contra terra	-	-	-				
63	TSI	kV	-	-	110			
64	À freqüência industrial	kV	-	-	34			
	CHAVE SECCIONADORA TRIPOLAR SEM CARGA							
65	Quantidade	-	01	01	01			
66	Classe de tensão	kV	15	15	15			
67	Corrente nominal (mínimo)	A	>=200	>=200	>=200			
68	Corrente suportável de curta duração (1 s)	kA	20	20	20			
69	Corrente suportável dinâmica (crista)	kA pico	50	50	50			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1125

70	TSI (1,2 x 50 µs)	kV	110	110	110			
71	Tensão suportável à freqüência nominal a seco (1 minuto)	kV	34	34	34			
72	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
73	Classe de isolação	kV	15	15	15			
74	Número de pólos	-	3	3	3			
75	Contatos auxiliares (NA + NF)	-	2NA + 2NF	2NA + 2NF	2NA + 2NF			
	CHAVE DE ATERRAMENTO TETRAPOLAR							
76	Quantidade	-	01	01	01			
77	Tensão máxima para o equipamento	kV	15	15	15			
78	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
79	Tensão suportável à freqüência nominal a seco (1 minuto)	kV	34	34	34			
80	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	25	25	25			
81	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	62,5	62,5	62,5			
82	Contatos auxiliares (NA + NF)	-	4NA + 4NF	4NA + 4NF	4NA + 4NF			
83	**CHAVE DE MANOBRA A VÁCUO**							
84	Quantidade	-	03	03	03			
85	Tensão máxima para o equipamento	kV	15	15	15			
86	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
87	Tensão suportável à freqüência nominal a seco (1 minuto)	kV	34	34	34			
88	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	>9 (9)	>9 (9)	>9 (9)			
89	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	>22,5	>22,5	>22,5			
	TC DE DESEQUILIBRIO DE NEUTRO							
90	Quantidade	-	01	01	01			
91	Fator térmico	-	1,2	1,2	1,2			
92	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
93	Tensão suportável à freqüência industrial (1 minuto)	kV	34	34	34			
94	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1126

95	Classe de isolação	kV	15	15	15			
96	Corrente primária nominal	A	15	15	15			
97	Corrente secundária nominal	A	5	5	5			
98	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	1,2(9)	1,2(9)	1,2(9)			
99	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	3	3	3			
100	Classe de exatidão	-	10B100	10B100	10B100			
	PARÁ-RAIOS							
101	Quantidade	-	03					
102	Tipo	-	ZnO					
103	Instalação		Externa					
104	Tensão nominal	kV	15					
105	Máxima tensão contínua de operação (MCOV)	kV	12					
106	Energia para um impulso com duração de 4ms	kJ/kV	4,1					
107	Corrente nominal de descarga (onda 8/20 µs)	kA	10					
108	Classificação descarga de linha (1 a 5)	-	2					
	TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE LINHA							
109	Quantidade	-	01	01	01			
110	Fator térmico	-	1,2	1,2	1,2			
111	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
112	Tensão suportável à freqüência industrial (1 minuto)	kV	34	34	34			
113	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
114	Classe de isolação	kV	15	15	15			
115	Corrente primária nominal	A	80	80	80			
116	Corrente secundária nominal	A	5	5	5			
117	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	6,4(9)	6,4(9)	6,4(9)			
118	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	16	16	16			
119	Classe de exatidão	-	10B100	10B100	10B100			
	SISTEMA DE CONTROLE DE REATIVOS							
120	Tipo	-	Tempo / FP					
121	Quantidade	-	1 (ver Nota 7)					

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1127

	SISTEMA DE LIMITAÇÃO DE HARMÔNICOS							
122	Quantidade	-	01 / fase	01 / fase	01 / fase			
123	Grandezas que devem ser limitadas	-	DHTi(%)	DHTi(%)	DHTi(%)			
124	Outras grandezas que devem ser monitoradas no filtro	-	A, V, kvar	A, V, kvar	A, V, kvar			
125	Limite máximo de distorção de corrente previsto	%	120 (Nota 6)	120 (Nota 6)	120 (Nota 6)			
	Inspeção e Testes							
126	Ensaios de Rotina	-	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 4)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 4)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 4)			
127	Ensaios de Tipo	-	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 5)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 5)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 5)			
128	NBR-5289-ABNT Capacitores de Potência - Método de Ensaio.		SIM	SIM	SIM			
129	NBR-7569 Reatores para Sistemas de Potência - Método de Ensaio		SIM	SIM	SIM			
130	NBR-6821-ABNT Transformadores de Corrente - Ensaios;		SIM	SIM	SIM			
131	NBR-6936-ABNT Técnicas de Ensaios Elétricos de Alta Tensão - Padronização.		SIM	SIM	SIM			

Notas Explicativas

(1) O PROPONENTE deverá indicar / informar na espaço "PROPOSTO" todas as características do equipamento.

(2) É indispensável a apresentação, pelo PROPONENTE, da relação dos desvios da especificação relativos ao equipamento proposto.

(3) Fornecer preço em separado para os ensaios de tipo.

(4) Os ensaios de rotina são destinados a detectarem falhas em materiais e na fabricação. Eles devem ser executados de acordo com as prescrições das normas técnicas de cada equipamento, indicadas neste documento, e devem ser feitos em todas as unidades.

(5) O Fornecedor deve fornecer um certificado de ensaios de tipo realizados em equipamentos de mesmas características dos utilizados no fornecimento.

(6) O multimedidor de grandezas elétricas tem a função de monitorar as tensões e correntes circulantes no filtro de harmônicos e retirar de operação os filtros caso a distorção harmônica máxima exceda aos limites previstos de projeto.

(7) O sistema de controle de reativos será por fator de potência e/ou tempo e receberá os sinais de corrente e tensão de TCs e TPs instalados na barra de alimentação do Metrô-DF visando evitar o pagamento de multas por baixo FP, indutivo (<0,92ind) ou capacitivo (<0,92cap).

(8) O fornecedor deverá realizar medições e estudos comprobatórios nas SEs onde deverão instalados os filtros de harmônicos visando garantir as condições de contornos propostas nesta especificação técnica. O Metrô - DF deverá disponibilizar um cubículo com disjuntor para manobra e proteção para o filtro de tripla sintonia de no mínimo 630 A - 15,0 kV - 25 kA.

(9) Os níveis de curto circuito dos equipamentos instalados abaixo do reator são limitados pela presença do mesmo.

13.2 ANEXO I.2 – SUBESTAÇÃO ÁGUAS CLARAS

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1128

ANEXO I.2 - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE FILTROS DE HARMÔNICOS PARA O METRO - DF								
Subestação: Águas Claras		**Quantidade => 01 Conjunto de tripla sintonia**						
Item	**Descrição**	**Un.**	**Filtro Harmônico Especificado**			**Filtro Harmônico Propostos**		
	CONDIÇÕES AMBIENTAIS	-	**Sintonia 01**	**Sintonia 02**	**Sintonia 03**	**Sintonia 01**	**Sintonia 02**	**Sintonia 03**
1	Temperatura máxima do ambiente	°C	40	40	40			
2	Altitude	m	<1200	<1200	<1200			
3	Umidade relativa	%	70	70	70			
4	Proximidade do mar	-	não	não	não			
5	Atmosfera corrosiva (sim /não)	-	não	não	não			
	SISTEMA ELÉTRICO	-						
6	Tensão nominal para alimentação do filtro	kV	13,8	13,8	13,8			
7	Sobretensão máxima de operação prevista	%	10	10	10			
8	Tensão de controle	Vcc	125	125	125			
9	Tensão auxiliar	Vca	220	220	220			
10	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
11	Neutro do sistema solidamente aterrado (sim /não)	-	sim	sim	sim			
	Nível de curto-circuito no barramento do cubículo de alimentação	-						
12	Assimétrico de pico (1/2 ciclo)	kA	62,5	62,5	62,5			
13	Simétrico (4 ciclos)	kA	25	25	25			
	FILTRO DE HARMÔNICOS	**-**	**(ver Nota 8)**	**(ver Nota 8)**	**(ver Nota 8)**			
14	Quantidade	-	01	01	01			
15	Potência Efetiva em 13,8 kV	kVAr	915,7	889,46	875,92			
16	Corrente de trabalho a 60 Hz	A	38,19	37,21	36,65			
17	Conteúdo harmônico máximo previsto	%	120	120	120			
18	Ordem Harmônica de sintonia	Hz	264 (4,4H)	390 (6,5H)	648 (10,8H)			
19	Tensão máxima de Operação contínua	kV	15,18	15,18	15,18			
	BANCO DE CAPACITORES							
20	Quantidade	-	1	1	1			
21	Tipo de ligação	-	Estrela Isolada	Estrela Isolada	Estrela Isolada			
22	Potência trifásica nominal	kVAr	2850	2850	2850			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1129

23	Tensão de linha nominal	kV	25,0	25,0	25,0			
24	Corrente nominal	A	65,8	65,8	65,8			
25	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
	Capacitância	-						
26	Valor nominal por fase	µF	12,06	12,06	12,06			
27	Tolerância de cada unidade individual	%	-5,0% a +10,0%	-5,0% a +10,0%	-5,0% a +10,0%			
28	Tolerância por fase do banco	%	0 a +5,0%	0 a +5,0%	0 a +5,0%			
29	Tolerância de capacitância entre fases	%	0 a +5,0%	0 a +5,0%	0 a +5,0%			
30	Perdas a 20 °C (inferiores a)	W/kVAr	0,3	0,3	0,3			
	Nível de isolação contra terra	-						
31	TSI (1,2 x 50 µs)	kV	110	110	110			
32	À freqüência industrial (1 minuto)	kV	34	34	34			
	REATOR							
33	Quantidade	-	03	03	03			
34	Tensão nominal do sistema	kV	13,8	13,8	13,8			
35	Ventilação (ar natural /ar forçado)	-	Ar natural	Ar natural	Ar natural			
	Indutância	-						
36	Valor nominal	mH	30,05	13,77	4,99			
37	Tolerância por fase	%	+ou- 2	+ou- 2	+ou- 2			
38	Tolerância entre fases	%	+ou- 2	+ou- 2	+ou- 2			
39	Corrente nominal (incluindo harmônicos)	A	90,0	90,0	90,0			
40	Fator de qualidade do reator na freqüência de sintonia	-	>50	>50	>50			
41	*Taps* (quantidade /%)	%	-3,0%,0% e +3,0%	-3,0%,0% e +3,0%	-3,0%,0% e +3,0%			
	Corrente de curto-circuito	-						
42	Térmica (1 s)	kA	25,0	25,0	25,0			
43	Dinâmica (pico assimétrico)	kA pico	62,5	62,5	62,5			
44	Perdas ativas por fase (inferior a)	W	Informar	Informar	Informar			
	Temperatura máxima	-						
45	Ambiente	°C	40	40	40			
46	Sobrelevação Máxima	°C	50	50	50			
	Nível de isolação contra terra	-						

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1130

		D16sim						
47	TSI	kV	110	110	110			
48	À freqüência industrial	kV	34	34	34			
	RESISTOR							
49	Quantidade	-	-	-	03 unidade / filtro			
50	Tensão nominal do sistema	kV	-	-	13,8			
51	Ventilação (ar natural /ar forçado)	-	-	-	Ar natural			
52	Tipo de material utilizado		-	-	NiCr ou Aço Inoxidável			
53	**Resistência**	-	-	-				
54	Valor nominal	Ω	-	-	93,2			
55	Tolerância por fase	%	-	-	+ou- 5%			
56	Tolerância entre fases	%	-	-	+ou- 5%			
57	Corrente nominal	A	-	-	10,0			
58	**Corrente de curto-circuito**	-	-	-				
59	Térmica (1 s)	kA	-	-	25			
60	Dinâmica (pico assimétrico)	kA pico	-	-	62,5			
	Temperatura máxima	-	-	-				
61	Ambiente	°C	-	-	40			
62	Sobrelevação	°C	-	-	Favor informar			
	Nível de isolação contra terra	-	-	-				
63	TSI	kV	-	-	110			
64	À freqüência industrial	kV	-	-	34			
	CHAVE SECCIONADORA TRIPOLAR SEM CARGA							
65	Quantidade	-	01	01	01			
66	Classe de tensão	kV	15	15	15			
67	Corrente nominal (mínimo)	A	>=200	>=200	>=200			
68	Corrente suportável de curta duração (1 s)	kA	20	20	20			
69	Corrente suportável dinâmica (crista)	kA pico	50	50	50			
70	TSI (1,2 x 50 µs)	kV	110	110	110			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1131

71	Tensão suportável à freqüência nominal a seco (1 minuto)	kV	34	34	34			
72	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
73	Classe de isolação	kV	15	15	15			
74	Número de pólos	-	3	3	3			
75	Contatos auxiliares (NA + NF)	-	2NA + 2NF	2NA + 2NF	2NA + 2NF			
	CHAVE DE ATERRAMENTO TETRAPOLAR							
76	Quantidade	-	01	01	01			
77	Tensão máxima para o equipamento	kV	15	15	15			
78	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
79	Tensão suportável à freqüência nominal a seco (1 minuto)	kV	34	34	34			
80	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	25	25	25			
81	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	62,5	62,5	62,5			
82	Contatos auxiliares (NA + NF)	-	4NA + 4NF	4NA + 4NF	4NA + 4NF			
83	**CHAVE DE MANOBRA A VÁCUO**							
84	Quantidade	-	03	03	03			
85	Tensão máxima para o equipamento	kV	15	15	15			
86	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
87	Tensão suportável à freqüência nominal a seco (1 minuto)	kV	34	34	34			
88	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	>9 (9)	>9 (9)	>9 (9)			
89	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	>22,5	>22,5	>22,5			
	TRANSFORMADOR DESEQUILIBRIO DE NEUTRO							
90	Quantidade	-	01	01	01			
91	Fator térmico	-	1,2	1,2	1,2			
92	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
93	Tensão suportável à freqüência industrial (1 minuto)	kV	34	34	34			
94	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
95	Classe de isolação	kV	15	15	15			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1132

96	Corrente primária nominal	A	15	15	15			
97	Corrente secundária nominal	A	5	5	5			
98	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	1,2(9)	1,2(9)	1,2(9)			
99	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	3	3	3			
100	Classe de exatidão	-	10B100	10B100	10B100			
	PARÁ-RAIOS							
101	Quantidade	-	03					
102	Tipo	-	ZnO					
103	Instalação		Externa					
104	Tensão nominal	kV	15					
105	Máxima tensão contínua de operação (MCOV)	kV	12					
106	Energia para um impulso com duração de 4ms	kJ/kV	4,1					
107	Corrente nominal de descarga (onda 8/20 µs)	kA	10					
108	Classificação descarga de linha (1 a 5)	-	2					
	TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE LINHA							
109	Quantidade	-	01	01	01			
110	Fator térmico	-	1,2	1,2	1,2			
111	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
112	Tensão suportável à freqüência industrial (1 minuto)	kV	34	34	34			
113	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
114	Classe de isolação	kV	15	15	15			
115	Corrente primária nominal	A	80	80	80			
116	Corrente secundária nominal	A	5	5	5			
117	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	6,4(9)	6,4(9)	6,4(9)			
118	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	16	16	16			
119	Classe de exatidão	-	10B100	10B100	10B100			
	SISTEMA DE CONTROLE DE REATIVOS							
120	Tipo	-	Tempo / FP					
121	Quantidade	-	1 (ver Nota 7)					
	SISTEMA DE LIMITAÇÃO DE HARMÔNICOS							

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1133

122	Quantidade	-	01 / fase	01 / fase	01 / fase			
123	Grandezas que devem ser limitadas	-	DHTi(%)	DHTi(%)	DHTi(%)			
124	Outras grandezas que devem ser monitoradas no filtro	-	A, V, kvar	A, V, kvar	A, V, kvar			
125	Limite máximo de distorção de corrente previsto	%	120 (Nota 6)	120 (Nota 6)	120 (Nota 6)			
	Inspeção e Testes							
126	Ensaios de Rotina	-	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 4)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 4)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 4)			
127	Ensaios de Tipo	-	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 5)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 5)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 5)			
128	NBR-5289-ABNT Capacitores de Potência - Método de Ensaio.		SIM	SIM	SIM			
129	NBR-7569 Reatores para Sistemas de Potência - Método de Ensaio		SIM	SIM	SIM			
130	NBR-6821-ABNT Transformadores de Corrente - Ensaios;		SIM	SIM	SIM			
131	NBR-6936-ABNT Técnicas de Ensaios Elétricos de Alta Tensão - Padronização.		SIM	SIM	SIM			

Notas Explicativas

(1) O PROPONENTE deverá indicar / informar na espaço "PROPOSTO" todas as características do equipamento.

(2) É indispensável a apresentação, pelo PROPONENTE, da relação dos desvios da especificação relativos ao equipamento proposto.

(3) Fornecer preço em separado para os ensaios de tipo.

(4) Os ensaios de rotina são destinados a detectarem falhas em materiais e na fabricação. Eles devem ser executados de acordo com as prescrições das normas técnicas de cada equipamento, indicadas neste documento, e devem ser feitos em todas as unidades.

(5) O Fornecedor deve fornecer um certificado de ensaios de tipo realizados em equipamentos de mesmas características dos utilizados no fornecimento.

(6) O multimedidor de grandezas elétricas tem a função de monitorar as tensões e correntes circulantes no filtro de harmônicos e retirar de operação os filtros caso a distorção harmônica máxima exceda aos limites previstos de projeto.

(7) O sistema de controle de reativos será por fator de potência e/ou tempo e receberá os sinais de corrente e tensão de TCs e TPs instalados na barra de alimentação do Metrô-DF visando evitar o pagamento de multas por baixo FP, indutivo (<0,92ind) ou capacitivo (<0,92cap).

(8) O fornecedor deverá realizar medições e estudos comprobatórios nas SEs onde deverão instalados os filtros de harmônicos visando garantir as condições de contornos propostas nesta especificação técnica. O Metrô - DF deverá disponibilizar um cubículo com disjuntor para manobra e proteção para o filtro de tripla sintonia de no mínimo 630 A - 15,0 kV - 25 kA.

(9) Os níveis de curto circuito dos equipamentos instalados abaixo do reator são limitados pela presença do mesmo.

13.3 ANEXO I.3 – SUBESTAÇÃO CEILÂNDIA SUL

ANEXO I.3 - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE FILTROS DE HARMÔNICOS PARA O METRO - DF

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1134

Subestação: Ceilândia Sul		Quantidade => 01 Conjunto de tripla sintonia					
Item	Descrição	Un.	Filtro Harmônico Especificado			Filtro Harmônico Propostos		
	CONDIÇÕES AMBIENTAIS	-	**Sintonia 01**	**Sintonia 02**	**Sintonia 03**	**Sintonia 01**	**Sintonia 02**	**Sintonia 03**
1	Temperatura máxima do ambiente	°C	40	40	40			
2	Altitude	m	<1200	<1200	<1200			
3	Umidade relativa	%	70	70	70			
4	Proximidade do mar	-	não	não	não			
5	Atmosfera corrosiva (sim /não)	-	não	não	não			
	SISTEMA ELÉTRICO	-						
6	Tensão nominal para alimentação do filtro	kV	13,8	13,8	13,8			
7	Sobretensão máxima de operação prevista	%	10	10	10			
8	Tensão de controle	Vcc	125	125	125			
9	Tensão auxiliar	Vca	220	220	220			
10	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
11	Neutro do sistema solidamente aterrado (sim /não)	-	sim	sim	sim			
	Nível de curto-circuito no barramento do cubículo de alimentação	-						
12	Assimétrico de pico (1/2 ciclo)	kA	62,5	62,5	62,5			
13	Simétrico (4 ciclos)	kA	25	25	25			
	FILTRO DE HARMÔNICOS	**-**	**(ver Nota 8)**	**(ver Nota 8)**	**(ver Nota 8)**			
14	Quantidade	-	01	01	01			
15	Potência Efetiva em 13,8 kV	kVAr	915,7	889,46	875,92			
16	Corrente de trabalho a 60 Hz	A	38,19	37,21	36,65			
17	Conteúdo harmônico máximo previsto	%	120	120	120			
18	Ordem Harmônica de sintonia	Hz	264 (4,4H)	390 (6,5H)	648 (10,8H)			
19	Tensão máxima de Operação contínua	kV	15,18	15,18	15,18			
	BANCO DE CAPACITORES							
20	Quantidade	-	1	1	1			
21	Tipo de ligação	-	Estrela Isolada	Estrela Isolada	Estrela Isolada			
22	Potência trifásica nominal	kVAr	2850	2850	2850			
23	Tensão de linha nominal	kV	25,0	25,0	25,0			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1135

24	Corrente nominal	A	65,8	65,8	65,8			
25	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
	Capacitância	-						
26	Valor nominal por fase	µF	12,06	12,06	12,06			
27	Tolerância de cada unidade individual	%	-5,0% a +10,0%	-5,0% a +10,0%	-5,0% a +10,0%			
28	Tolerância por fase do banco	%	0 a +5,0%	0 a +5,0%	0 a +5,0%			
29	Tolerância de capacitância entre fases	%	0 a +5,0%	0 a +5,0%	0 a +5,0%			
30	Perdas a 20 °C (inferiores a)	W/kVAr	0,3	0,3	0,3			
	Nível de isolação contra terra	-						
31	TSI (1,2 x 50 µs)	kV	110	110	110			
32	À freqüência industrial (1 minuto)	kV	34	34	34			
	REATOR							
33	Quantidade	-	03	03	03			
34	Tensão nominal do sistema	kV	13,8	13,8	13,8			
35	Ventilação (ar natural /ar forçado)	-	Ar natural	Ar natural	Ar natural			
	Indutância	-						
36	Valor nominal	mH	30,05	13,77	4,99			
37	Tolerância por fase	%	+ou- 2	+ou- 2	+ou- 2			
38	Tolerância entre fases	%	+ou- 2	+ou- 2	+ou- 2			
39	Corrente nominal (incluindo harmônicos)	A	90,0	90,0	90,0			
40	Fator de qualidade do reator na freqüência de sintonia	-	>50	>50	>50			
41	*Taps* (quantidade /%)	%	-3,0%,0% e +3,0%	-3,0%,0% e +3,0%	-3,0%,0% e +3,0%			
	Corrente de curto-circuito	-						
42	Térmica (1 s)	kA	25,0	25,0	25,0			
43	Dinâmica (pico assimétrico)	kA pico	62,5	62,5	62,5			
44	Perdas ativas por fase (inferior a)	W	Informar	Informar	Informar			
	Temperatura máxima	-						
45	Ambiente	°C	40	40	40			
46	Sobrelevação Máxima	°C	50	50	50			
	Nível de isolação contra terra	- D16sim						

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1136

47	TSI	kV	110	110	110			
48	À freqüência industrial	kV	34	34	34			
	RESISTOR							
49	Quantidade	-	-	-	03 unidade / filtro			
50	Tensão nominal do sistema	kV	-	-	13,8			
51	Ventilação (ar natural /ar forçado)	-	-	-	Ar natural			
52	Tipo de material utilizado		-	-	NiCr ou Aço Inoxidável			
53	**Resistência**	-	-	-				
54	Valor nominal	Ω	-	-	93,2			
55	Tolerância por fase	%	-	-	+ou- 5%			
56	Tolerância entre fases	%	-	-	+ou- 5%			
57	Corrente nominal	A	-	-	10,0			
58	**Corrente de curto-circuito**	-	-	-				
59	Térmica (1 s)	kA	-	-	25			
60	Dinâmica (pico assimétrico)	kA pico	-	-	62,5			
	Temperatura máxima	-	-	-				
61	Ambiente	°C	-	-	40			
62	Sobrelevação	°C	-	-	Favor informar			
	Nível de isolação contra terra	-	-	-				
63	TSI	kV	-	-	110			
64	À freqüência industrial	kV	-	-	34			
	CHAVE SECCIONADORA TRIPOLAR SEM CARGA							
65	Quantidade	-	01	01	01			
66	Classe de tensão	kV	15	15	15			
67	Corrente nominal (mínimo)	A	>=200	>=200	>=200			
68	Corrente suportável de curta duração (1 s)	kA	20	20	20			
69	Corrente suportável dinâmica (crista)	kA pico	50	50	50			
70	TSI (1,2 x 50 µs)	kV	110	110	110			
71	Tensão suportável à freqüência nominal a seco (1 minuto)	kV	34	34	34			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1137

72	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
73	Classe de isolação	kV	15	15	15			
74	Número de pólos	-	3	3	3			
75	Contatos auxiliares (NA + NF)	-	2NA + 2NF	2NA + 2NF	2NA + 2NF			
	CHAVE DE ATERRAMENTO TETRAPOLAR							
76	Quantidade	-	01	01	01			
77	Tensão máxima para o equipamento	kV	15	15	15			
78	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
79	Tensão suportável à freqüência nominal a seco (1 minuto)	kV	34	34	34			
80	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	25	25	25			
81	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	62,5	62,5	62,5			
82	Contatos auxiliares (NA + NF)	-	4NA + 4NF	4NA + 4NF	4NA + 4NF			
83	**CHAVE DE MANOBRA A VÁCUO**							
84	Quantidade	-	03	03	03			
85	Tensão máxima para o equipamento	kV	15	15	15			
86	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
87	Tensão suportável à freqüência nominal a seco (1 minuto)	kV	34	34	34			
88	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	>9 (9)	>9 (9)	>9 (9)			
89	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	>22,5	>22,5	>22,5			
	TRANSFORMADOR DESEQUILIBRIO DE NEUTRO							
90	Quantidade	-	01	01	01			
91	Fator térmico	-	1,2	1,2	1,2			
92	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
93	Tensão suportável à freqüência industrial (1 minuto)	kV	34	34	34			
94	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
95	Classe de isolação	kV	15	15	15			
96	Corrente primária nominal	A	15	15	15			
97	Corrente secundária nominal	A	5	5	5			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1138

98	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	1,2(9)	1,2(9)	1,2(9)			
99	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	3	3	3			
100	Classe de exatidão	-	10B100	10B100	10B100			
	PARÁ-RAIOS							
101	Quantidade	-	03					
102	Tipo	-	ZnO					
103	Instalação		Externa					
104	Tensão nominal	kV	15					
105	Máxima tensão contínua de operação (MCOV)	kV	12					
106	Energia para um impulso com duração de 4ms	kJ/kV	4,1					
107	Corrente nominal de descarga (onda 8/20 µs)	kA	10					
108	Classificação descarga de linha (1 a 5)	-	2					
	TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE LINHA							
109	Quantidade	-	01	01	01			
110	Fator térmico	-	1,2	1,2	1,2			
111	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
112	Tensão suportável à freqüência industrial (1 minuto)	kV	34	34	34			
113	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
114	Classe de isolação	kV	15	15	15			
115	Corrente primária nominal	A	80	80	80			
116	Corrente secundária nominal	A	5	5	5			
117	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	6,4(9)	6,4(9)	6,4(9)			
118	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	16	16	16			
119	Classe de exatidão	-	10B100	10B100	10B100			
	SISTEMA DE CONTROLE DE REATIVOS							
120	Tipo	-	Tempo / FP					
121	Quantidade	-	1 (ver Nota 7)					
	SISTEMA DE LIMITAÇÃO DE HARMÔNICOS							
122	Quantidade	-	01 / fase	01 / fase	01 / fase			
123	Grandezas que devem ser limitadas	-	DHTi(%)	DHTi(%)	DHTi(%)			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1139

124	Outras grandezas que devem ser monitoradas no filtro	-	A, V, kvar	A, V, kvar	A, V, kvar			
125	Limite máximo de distorção de corrente previsto	%	120 (Nota 6)	120 (Nota 6)	120 (Nota 6)			
	Inspeção e Testes							
126	Ensaios de Rotina	-	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 4)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 4)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 4)			
127	Ensaios de Tipo	-	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 5)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 5)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 5)			
128	NBR-5289-ABNT Capacitores de Potência - Método de Ensaio.		SIM	SIM	SIM			
129	NBR-7569 Reatores para Sistemas de Potência - Método de Ensaio		SIM	SIM	SIM			
130	NBR-6821-ABNT Transformadores de Corrente - Ensaios;		SIM	SIM	SIM			
131	NBR-6936-ABNT Técnicas de Ensaios Elétricos de Alta Tensão - Padronização.		SIM	SIM	SIM			

Notas Explicativas

(1) O PROPONENTE deverá indicar / informar na espaço "PROPOSTO" todas as características do equipamento.

(2) É indispensável a apresentação, pelo PROPONENTE, da relação dos desvios da especificação relativos ao equipamento proposto.

(3) Fornecer preço em separado para os ensaios de tipo.

(4) Os ensaios de rotina são destinados a detectarem falhas em materiais e na fabricação. Eles devem ser executados de acordo com as prescrições das normas técnicas de cada equipamento, indicadas neste documento, e devem ser feitos em todas as unidades.

(5) O Fornecedor deve fornecer um certificado de ensaios de tipo realizados em equipamentos de mesmas características dos utilizados no fornecimento.

(6) O multimedidor de grandezas elétricas tem a função de monitorar as tensões e correntes circulantes no filtro de harmônicos e retirar de operação os filtros caso a distorção harmônica máxima exceda aos limites previstos de projeto.

(7) O sistema de controle de reativos será por fator de potência e/ou tempo e receberá os sinais de corrente e tensão de TCs e TPs instalados na barra de alimentação do Metrô-DF visando evitar o pagamento de multas por baixo FP, indutivo (<0,92ind) ou capacitivo (<0,92cap).

(8) O fornecedor deverá realizar medições e estudos comprobatórios nas SEs onde deverão instalados os filtros de harmônicos visando garantir as condições de contornos propostas nesta especificação técnica. O Metrô - DF deverá disponibilizar um cubículo com disjuntor para manobra e proteção para o filtro de tripla sintonia de no mínimo 630 A - 15,0 kV - 25 kA.

(9) Os níveis de curto circuito dos equipamentos instalados abaixo do reator são limitados pela presença do mesmo.

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1140

13.4 ANEXO I.4 – PEE/HIP - HÍPICA

ANEXO I.4 - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE FILTROS DE HARMÔNICOS PARA O Metrô - DF								
Subestação: Hípica		Quantidade => 01 Conjunto de tripla sintonia						
Item	Descrição	Un.	Filtro Harmônico Especificado			Filtro Harmônico Propostos		
	CONDIÇÕES AMBIENTAIS	-	**Sintonia 01**	**Sintonia 02**	**Sintonia 03**	**Sintonia 01**	**Sintonia 02**	**Sintonia 03**
1	Temperatura máxima do ambiente	°C	40	40	40			
2	Altitude	m	<1200	<1200	<1200			
3	Umidade relativa	%	70	70	70			
4	Proximidade do mar	-	não	não	não			
5	Atmosfera corrosiva (sim /não)	-	não	não	não			
	SISTEMA ELÉTRICO	-						
6	Tensão nominal para alimentação do filtro	kV	13,8	13,8	13,8			
7	Sobretensão máxima de operação prevista	%	10	10	10			
8	Tensão de controle	Vcc	125	125	125			
9	Tensão auxiliar	Vca	220	220	220			
10	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
11	Neutro do sistema solidamente aterrado (sim /não)	-	sim	sim	sim			
	Nível de curto-circuito no barramento do cubículo de alimentação	-						
12	Assimétrico de pico (1/2 ciclo)	kA	62,5	62,5	62,5			
13	Simétrico (4 ciclos)	kA	25	25	25			
	FILTRO DE HARMÔNICOS	**-**	**(ver Nota 8)**	**(ver Nota 8)**	**(ver Nota 8)**			
14	Quantidade	-	01	01	01			
15	Potência Efetiva em 13,8 kV	kVAr	915,7	889,46	875,92			
16	Corrente de trabalho a 60 Hz	A	38,19	37,21	36,65			
17	Conteúdo harmônico máximo previsto	%	120	120	120			
18	Ordem Harmônica de sintonia	Hz	264 (4,4H)	390 (6,5H)	648 (10,8H)			
19	Tensão máxima de Operação contínua	kV	15,18	15,18	15,18			
	BANCO DE CAPACITORES							
20	Quantidade	-	1	1	1			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1141

21	Tipo de ligação	-	Estrela Isolada	Estrela Isolada	Estrela Isolada			
22	Potência trifásica nominal	kVAr	2850	2850	2850			
23	Tensão de linha nominal	kV	25,0	25,0	25,0			
24	Corrente nominal	A	65,8	65,8	65,8			
25	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
	Capacitância	-						
26	Valor nominal por fase	µF	12,06	12,06	12,06			
27	Tolerância de cada unidade individual	%	-5,0% a +10,0%	-5,0% a +10,0%	-5,0% a +10,0%			
28	Tolerância por fase do banco	%	0 a +5,0%	0 a +5,0%	0 a +5,0%			
29	Tolerância de capacitância entre fases	%	0 a +5,0%	0 a +5,0%	0 a +5,0%			
30	Perdas a 20 °C (inferiores a)	W/kVAr	0,3	0,3	0,3			
	Nível de isolação contra terra	-						
31	TSI (1,2 x 50 µs)	kV	110	110	110			
32	À freqüência industrial (1 minuto)	kV	34	34	34			
	REATOR							
33	Quantidade	-	03	03	03			
34	Tensão nominal do sistema	kV	13,8	13,8	13,8			
35	Ventilação (ar natural /ar forçado)	-	Ar natural	Ar natural	Ar natural			
	Indutância	-						
36	Valor nominal	mH	30,05	13,77	4,99			
37	Tolerância por fase	%	+ou- 2	+ou- 2	+ou- 2			
38	Tolerância entre fases	%	+ou- 2	+ou- 2	+ou- 2			
39	Corrente nominal (incluindo harmônicos)	A	90,0	90,0	90,0			
40	Fator de qualidade do reator na freqüência de sintonia	-	>50	>50	>50			
41	*Taps* (quantidade /%)	%	-3,0%,0% e +3,0%	-3,0%,0% e +3,0%	-3,0%,0% e +3,0%			
	Corrente de curto-circuito	-						
42	Térmica (1 s)	kA	25,0	25,0	25,0			
43	Dinâmica (pico assimétrico)	kA pico	62,5	62,5	62,5			
44	Perdas ativas por fase (inferior a)	W	Informar	Informar	Informar			
	Temperatura máxima	-						
45	Ambiente	°C	40	40	40			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1142

46	Sobrelevação Máxima	°C	50	50	50			
	Nível de isolação contra terra	- D16sim						
47	TSI	kV	110	110	110			
48	À freqüência industrial	kV	34	34	34			
	RESISTOR							
49	Quantidade	-	-	-	03 unidade / filtro			
50	Tensão nominal do sistema	kV	-	-	13,8			
51	Ventilação (ar natural /ar forçado)	-	-	-	Ar natural			
52	Tipo de material utilizado		-	-	NiCr ou Aço Inoxidável			
53	**Resistência**	-	-	-				
54	Valor nominal	Ω	-	-	93,2			
55	Tolerância por fase	%	-	-	+ou- 5%			
56	Tolerância entre fases	%	-	-	+ou- 5%			
57	Corrente nominal	A	-	-	10,0			
58	**Corrente de curto-circuito**	-	-	-				
59	Térmica (1 s)	kA	-	-	25			
60	Dinâmica (pico assimétrico)	kA pico	-	-	62,5			
	Temperatura máxima	-	-	-				
61	Ambiente	°C	-	-	40			
62	Sobrelevação	°C	-	-	Favor informar			
	Nível de isolação contra terra	-	-	-				
63	TSI	kV	-	-	110			
64	À freqüência industrial	kV	-	-	34			
	CHAVE SECCIONADORA TRIPOLAR SEM CARGA							
65	Quantidade	-	01	01	01			
66	Classe de tensão	kV	15	15	15			
67	Corrente nominal (mínimo)	A	>=200	>=200	>=200			
68	Corrente suportável de curta duração (1 s)	kA	20	20	20			
69	Corrente suportável dinâmica (crista)	kA pico	50	50	50			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1143

70	TSI (1,2 x 50 µs)	kV	110	110	110			
71	Tensão suportável à freqüência nominal a seco (1 minuto)	kV	34	34	34			
72	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
73	Classe de isolação	kV	15	15	15			
74	Número de pólos	-	3	3	3			
75	Contatos auxiliares (NA + NF)	-	2NA + 2NF	2NA + 2NF	2NA + 2NF			
	CHAVE DE ATERRAMENTO TETRAPOLAR							
76	Quantidade	-	01	01	01			
77	Tensão máxima para o equipamento	kV	15	15	15			
78	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
79	Tensão suportável à freqüência nominal a seco (1 minuto)	kV	34	34	34			
80	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	25	25	25			
81	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	62,5	62,5	62,5			
82	Contatos auxiliares (NA + NF)	-	4NA + 4NF	4NA + 4NF	4NA + 4NF			
83	**CHAVE DE MANOBRA A VÁCUO**							
84	Quantidade	-	03	03	03			
85	Tensão máxima para o equipamento	kV	15	15	15			
86	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
87	Tensão suportável à freqüência nominal a seco (1 minuto)	kV	34	34	34			
88	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	>9 (9)	>9 (9)	>9 (9)			
89	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	>22,5	>22,5	>22,5			
	TRANSFORMADOR DESEQUILIBRIO DE NEUTRO							
90	Quantidade	-	01	01	01			
91	Fator térmico	-	1,2	1,2	1,2			
92	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
93	Tensão suportável à freqüência industrial (1 minuto)	kV	34	34	34			
94	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1144

95	Classe de isolação	kV	15	15	15			
96	Corrente primária nominal	A	15	15	15			
97	Corrente secundária nominal	A	5	5	5			
98	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	1,2(9)	1,2(9)	1,2(9)			
99	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	3	3	3			
100	Classe de exatidão	-	10B100	10B100	10B100			
	PARÁ-RAIOS							
101	Quantidade	-	03					
102	Tipo	-	ZnO					
103	Instalação		Externa					
104	Tensão nominal	kV	15					
105	Máxima tensão contínua de operação (MCOV)	kV	12					
106	Energia para um impulso com duração de 4ms	kJ/kV	4,1					
107	Corrente nominal de descarga (onda 8/20 µs)	kA	10					
108	Classificação descarga de linha (1 a 5)	-	2					
	TRANSFORMADOR DE CORRENTE DE LINHA							
109	Quantidade	-	01	01	01			
110	Fator térmico	-	1,2	1,2	1,2			
111	Tensão suportável de impulso atmosférico (1,2 x 50 microssegundos)	kV	110	110	110			
112	Tensão suportável à freqüência industrial (1 minuto)	kV	34	34	34			
113	Freqüência nominal	Hz	60	60	60			
114	Classe de isolação	kV	15	15	15			
115	Corrente primária nominal	A	80	80	80			
116	Corrente secundária nominal	A	5	5	5			
117	Corrente térmica de curta duração (1 s)	kA	6,4(9)	6,4(9)	6,4(9)			
118	Corrente dinâmica (crista)	kA pico	16	16	16			
119	Classe de exatidão	-	10B100	10B100	10B100			
	SISTEMA DE CONTROLE DE REATIVOS							
120	Tipo	-	Tempo / FP					
121	Quantidade	-	1 (ver Nota 7)					

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1145

	SISTEMA DE LIMITAÇÃO DE HARMÔNICOS							
122	Quantidade	-	01 / fase	01 / fase	01 / fase			
123	Grandezas que devem ser limitadas	-	DHTi(%)	DHTi(%)	DHTi(%)			
124	Outras grandezas que devem ser monitoradas no filtro	-	A, V, kvar	A, V, kvar	A, V, kvar			
125	Limite máximo de distorção de corrente previsto	%	120 (Nota 6)	120 (Nota 6)	120 (Nota 6)			
	Inspeção e Testes							
126	Ensaios de Rotina	-	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 4)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 4)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 4)			
127	Ensaios de Tipo	-	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 5)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 5)	Conforme Normas Abaixo (Ver nota 5)			
128	NBR-5289-ABNT Capacitores de Potência - Método de Ensaio.		SIM	SIM	SIM			
129	NBR-7569 Reatores para Sistemas de Potência - Método de Ensaio		SIM	SIM	SIM			
130	NBR-6821-ABNT Transformadores de Corrente - Ensaios;		SIM	SIM	SIM			
131	NBR-6936-ABNT Técnicas de Ensaios Elétricos de Alta Tensão - Padronização.		SIM	SIM	SIM			

Notas Explicativas

(1) O PROPONENTE deverá indicar / informar na espaço "PROPOSTO" todas as características do equipamento.

(2) É indispensável a apresentação, pelo PROPONENTE, da relação dos desvios da especificação relativos ao equipamento proposto.

(3) Fornecer preço em separado para os ensaios de tipo.

(4) Os ensaios de rotina são destinados a detectarem falhas em materiais e na fabricação. Eles devem ser executados de acordo com as prescrições das normas técnicas de cada equipamento, indicadas neste documento, e devem ser feitos em todas as unidades.

(5) O Fornecedor deve fornecer um certificado de ensaios de tipo realizados em equipamentos de mesmas características dos utilizados no fornecimento.

(6) O multimedidor de grandezas elétricas tem a função de monitorar as tensões e correntes circulantes no filtro de harmônicos e retirar de operação os filtros caso a distorção harmônica máxima exceda aos limites previstos de projeto.

(7) O sistema de controle de reativos será por fator de potência e/ou tempo e receberá os sinais de corrente e tensão de TCs e TPs instalados na barra de alimentação do Metrô-DF visando evitar o pagamento de multas por baixo FP, indutivo (<0,92ind) ou capacitivo (<0,92cap).

(8) O fornecedor deverá realizar medições e estudos comprobatórios nas SEs onde deverão instalados os filtros de harmônicos visando garantir as condições de contornos propostas nesta especificação técnica. O Metrô - DF deverá disponibilizar um cubículo com disjuntor para manobra e proteção para o filtro de tripla sintonia de no mínimo 630 A - 15,0 kV - 25 kA.

(9) Os níveis de curto circuito dos equipamentos instalados abaixo do reator são limitados pela presença do mesmo.

Projeto Básico - Filtro De Harmonicaes (ET.4/EX.99/11.702) (55933752) SEI 00097-00011681/2020-71 / pg. 1146

14 ANEXO II - LISTA DE DESVIOS E EXCEÇÕES À ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

Quaisquer características ou exigências que diferirem da Especificação Técnica deverão ser indicadas clara e detalhadamente abaixo. A não indicação implicará no reconhecimento por parte do PROPONENTE de que todos os requisitos especificados serão atendidos. A constatação durante a fabricação ou inspeção de desvios ou exceções não indicados na proposta, implicará na rejeição automática do material sem quaisquer ônus ou obrigações por parte do Metrô-DF.

O Metrô-DF se reserva o direito de aceitar ou não os desvios e exceções apresentadas.

ITEM	DESVIOS E EXCEÇÕES

METRÔ - DF	ENGEVIX	CODIFICAÇÃO ENGEVIX P00160_01-5F-LM-0704-0

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

METRÔ - DF

IDYLIO THOMAZINI FILHO CREA N° 5060007017

METRÔ - DF

		SISTEMA ENERGIA	
		SUBSISTEMA FILTRO DE HARMÔNICAS	
VISTO ELJ/RJF	DATA 26/08/14	LOCAL HÍPICA	
APROVADO RMP	DATA 07/11/14	COMPONENTES /TIPO DE DOCUMENTO LISTA DE MATERIAIS	AREA DE CONST. -
ESCALA **S/ESC.**	ETAPA DO PROJ. Básico		
N MICROFILME	FOLHA 1/6	CODIFICAÇÃO **LM.4/EX.10/11.701**	REVISÃO **1**

1	APROVADO CONFORME O PARECER N° 0513/14 - TEN	07/11/14	ITF	ECoA	ITF	ELJ/RJF	RMP
0A	REVISADO CONFORME O PARECER N° 0497/14 - TEN	22/10/14	ITF	ECoA	ITF	ELJ/RJF	RMP
0	EMISSÃO INICIAL	26/08/14	ITF	ECoA	ITF	ELJ/RJF	RMP
N°	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROVO	VERIF.	APROV
		CONTRATADA				**METRÔ - DF**	

R E V I S Õ E S

METRÔ DF
LM.4/EX.10/11.701

FILTRO DE HARMÔNICAS
LISTA DE MATERIAIS

SISTEMA DE ENERGIA
PROJETO BÁSICO

SUMÁRIO

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 5

2 NOTAS 5

3 REFERÊNCIAS 5

4 LISTA DE MATERIAIS – FILTRO DE HARMÔNICAS - MODERNIZAÇÃO 6

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A lista de material a seguir faz referência ao Sistema de compensação de reativos e filtros de harmônicas para o trecho em modernização do Projeto Básico de Expansão do Metrô-DF.

2 NOTAS

1. Essa lista de material discrimina e quantifica os materiais/equipamentos necessários para o Sistema de compensação de reativos e filtros de harmônicas para a modernização de acordo com o Projeto Básico de Expansão;

2. Para características dos filtros de harmônicas, consultar os documentos ET.4/EX.99/11.702 e RT.4/EX.99/00.022.

3 REFERÊNCIAS

- RT.4/EX.99/00.022 – Sistema de Energia – Relatório técnico consolidado – Estudo de Compensação de Reativos e Filtro de Harmônicas – Modernização;

- DE.4/EE.10/00.101 – Sistema de Energia – Rede de alimentação 13,8 kV –Hípica – Painel de Entrada de Energia – Disposição de Equipamentos;

- DE.4/EE.10/00.102 – Sistema de Energia – Rede de alimentação 13,8 kV – Hípica – Encaminhamento de Cabos;

- DG.4/EE.10/00.101 – Sistema de Energia – Rede de alimentação 13,8 kV – Hípica – Painel de Entrada de Energia – Diagrama Unifilar;

- ET.4/EX.99/11.702 – Sistema de Energia – Filtro de Harmônicas – Especificação técnica – Modernização;

- MD.4/EX.99/11.701 – Sistema de Energia – Filtro de Harmônicas – Memorial descritivo;

- MC.4/EX.99/11.701 – Sistema de Energia – Filtro de Harmônicas – Memória de cálculo.

4 LISTA DE MATERIAIS – FILTRO DE HARMÔNICAS – MODERNIZAÇÃO

Item	Descrição	Unidade	Quantidade
1	Conjunto de filtros de harmônicas sintonizados nas frequências 5ª, 7ª e 11ª ordem, de acordo com a especificação técnica ET.4/EX.99/11.702. Composto por: - Reatores monofásicos; - Capacitores de potência monofásicos tipo MH; - Seccionador tetrapolar de aterramento de 15 kV, com comando basculante; - Chave monopolar a vácuo para manobra de banco de capacitores, com caixa de junção; - Chave seccionadora sem carga; - Relé de desbalanço; - Transfomador de corrente de desbalanço; - Transfomador de corrente de linha; - Para-raios; - Resistor de amortecimento; - Relé multimedidor de grandezas elétricas e limitador do conteúdo harmônico máximo permitido por filtro; - Caixas de interligação; - Componentes diversos, como elos fusíveis, molas, isoladores, conectores, barramentos, dentre outros; - Conjunto de montagem, instalação e estrutura como rack de capacitores, estrutura de elevação, chumbadores, vergalhões e eletrodutos.	Conjunto	1
2	Cabo elétrico isolado, singelo, potência em média tensão, 8,7/15 kV, cobre, tempera mole, redondo compactado, seção nominal 120 mm² temperatura de 90°C, classe de encordoamento 2, isolamento HEPR, blindagem isolação metálica em cobre; capa externa em poliolefínico, antichama, livre de halogênio e gases corrosivos. Conforme documento MC.4/EX.99/11.701. O comprimento do Circuito Alimentador do Filtro de Harmônicas foi aproximado com folga, considerando a condição de Projeto Básico. A referência para o levantamento desse comprimento foi o desenho DE.4/EE.10/00.102 – Rede de Alimentação de 13,8 kV – Hípica – Painel de Entrada de Energia – Encaminhamento de Cabos.	Metros	50

METRÔ - DF	ENGEVIX	CODIFICAÇÃO ENGEVIX P00160_01-5F-MC-701-0A

SETOR	GERAL
ENDEREÇO	FILTRO DE HARMÔNICAS
PROPRIETÁRIO	METRÔ – DF
AUTOR DO PROJETO	IDYLIO THOMAZINNI FILHO / FLÁVIO RESENDE GARCIA
RESPONSÁVEL TÉCNICO	

METRÔ - DF

IDYLIO THOMAZINNI FILHO CREA N° 5060007017

METRÔ - DF

		SISTEMA ENERGIA	
		SUBSISTEMA FILTRO DE HARMÔNICAS	
VISTO ELJ/ RJF	DATA 22/10/2014	LOCAL GERAL	
APROVADO RMP	DATA 10/11/2014	COMPONENTES /TIPO DE DOCUMENTO MEMÓRIA DE CÁLCULO	AREA DE CONST. -
ESCALA S/ESC.	ETAPA DO PROJ. BÁSICO		
N MICROFILME	FOLHA 1/31	CODIFICAÇÃO **MC.4/EX.99/11.701**	REVISÃO **1**

1	**APROVADO CONFORME PARECER 0515/14-TEN**	**10/11/14**	**FRG**	**ECoA**	**ITF**	**ELJ/RJF**	**RMP**
0	EMISSÃO INICIAL	22/10/14	FRG	ECoA	ITF	ELJ/RJF	RMP
N°	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROV.	VERIF.	APROV
		CONTRATADA				**METRÔ - DF**	
R E V I S Õ E S							

METRÔ DF
MC.4/EX.99/11.701

FILTRO DE HARMÔNICAS

SISTEMA DE ENERGIA
PROJETO BÁSICO

Sumário

1 INTRODUÇÃO 6

2 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS FILTROS DE HARMÔNICOS 6

2.1 FILTROS PASSIVOS SINTONIZADOS 7

2.2 FILTROS PASSIVOS AMORTECIDOS 12

3 PROCEDIMENTO BÁSICO DE CÁLCULO DE FILTROS HARMÔNICOS 19

3.1 PEE/SAM: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica 21

3.2 PEE/CEI: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica 22

3.3 PEE/ANR: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica 23

3.4 SE Brasília Centro: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica 24

3.5 Águas Claras: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica 25

3.6 SE Ceilândia Sul: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica 26

3.7 PEE Hípica: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica 28

4 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS DO DISJUNTOR GERAL ATÉ O BARRAMENTO DE ENTRADA DO FILTRO DE TRIPLA SINTONIA: PEE/SAM, PEE/CEI E PEE/ANR 29

5 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS DO DISJUNTOR GERAL ATÉ O BARRAMENTO DE ENTRADA DO FILTRO DE TRIPLA SINTONIA: SE SO, SE AC, SE BC E PEE/HIP 30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de um circuito RLC série (filtro)..... 7

Figura 2 – Impedância de um circuito RLC série versus frequência..... 9

Figura 3 – Ângulo em função da frequência. 9

Figura 4 – Filtros amortecidos: (a) 1ª Ordem (b) 2ª Ordem (c) 3ª Ordem (d) Tipo "C". 12

Figura 5 – Magnitudes da impedância do filtro amortecido de 2ª ordem versus frequência, para diferentes valores de "d”..... 15

Figura 6 – Magnitudes da impedância do filtro amortecido de 3ª ordem versus frequência, para diferentes valores de "d". 16

Figura 7 – Correntes máximas de curto-circuito no condutor. 30

Figura 8 – Correntes máximas de curto-circuito no condutor. 31

1 INTRODUÇÃO

Diante do crescente emprego das cargas elétricas especiais (também denominadas de fontes harmônicas), e dos efeitos prejudiciais dos harmônicos para as instalações elétricas em geral, impõe-se a necessidade de adotar medidas de controle e redução dos níveis de "poluição" harmônica nessas instalações. Dentre as medidas possíveis, uma das mais eficazes e importantes consiste da instalação de filtros harmônicos em derivação nos circuitos de potência.

O objetivo fundamental de um filtro harmônico consiste em reduzir a amplitude de uma ou mais correntes ou tensões harmônicas, em uma determinada parte do sistema. Todavia, já que as instalações que apresentam problemas de perturbações harmônicas normalmente também necessitam de compensação reativa, os filtros, conectados em paralelo com o sistema e próximos às fontes harmônicas, poderão também servir à tarefa adicional de prover potência reativa a frequência fundamental. Isto significa que dois aspectos se entrelaçam na determinação de filtros harmônicos: o desempenho de filtragem e a compensação reativa.

Quanto à filtragem, as correntes oriundas das cargas especiais fluirão para o interior dos filtros e também penetrarão o sistema CA, em magnitudes que dependerão da relação entre suas respectivas admitâncias, para as frequências consideradas. O padrão desejado da admitância do circuito de filtragem pode ser obtido através da apropriada combinação de elementos capacitivos, indutivos e resistivos, formando, por exemplo, braços de filtros sintonizados ou amortecidos, em combinações variadas.

2 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS FILTROS DE HARMÔNICOS

Filtros são circuitos capazes de separar sinais elétricos (correntes e tensões), alterando as características de amplitude e fase desses sinais. Este processo de separação dos sinais elétricos ou, simplesmente, filtragem, ocorre graças às diversas características das curvas de impedância dos diferentes filtros com relação ao espectro de frequências.

Desse modo, de acordo com o tipo de filtro, a finalidade de filtragem e a característica de frequência do filtro empregado, rejeitam-se sinais de frequências indesejáveis ou, contrariamente, deixam-nos passar.

Os filtros são primordialmente classificados conforme suas características de impedância com a frequência. Assim, estes filtros podem ser agrupados em duas categorias, a saber:

I) Filtros sintonizados.

II) Filtros amortecidos.

Os filtros sintonizados são circuitos ressonantes formados por elementos R, L e C em série ou combinações série-paralela destes elementos de circuito. Nestes filtros, os elementos capacitivos e indutivos são escolhidos de modo que os circuitos apresentem uma, duas ou três frequências de ressonância.

Os filtros amortecidos são circuitos formados por capacitores, indutores e resistores em diversas combinações. São circuitos capacitivos à frequência fundamental, como os filtros

sintonizados, e apresentam baixa impedância predominantemente resistiva, para frequência, denominada frequência de sintonia.

2.1 FILTROS PASSIVOS SINTONIZADOS

Os filtros sintonizados são circuitos ressonantes série que, na frequência de sintonia ou de ressonância, apresentam baixa impedância resistiva. Para frequências menores que a frequência de sintonia são capacitivos, e para as frequências superiores àquela frequência são indutivos. Portanto, para a frequência fundamental, estes filtros podem funcionar como compensadores de reativo.

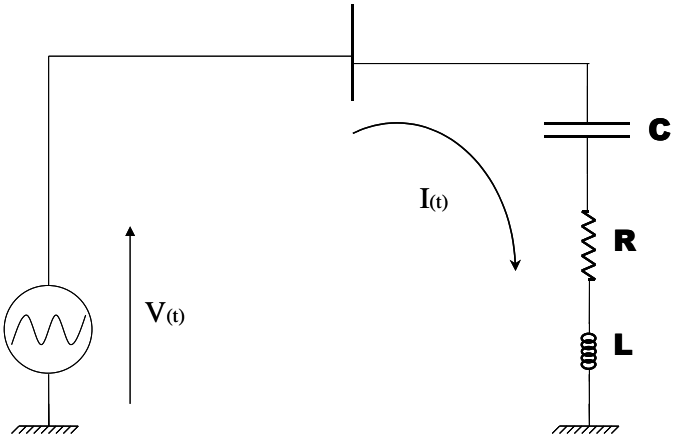


Figura 1 – Diagrama de um circuito RLC série (filtro)

Apesar da definição de ressonância série em capítulo anterior, esta será revista do ponto de vista de filtro. Pode-se dizer que a ressonância série é uma condição na qual um circuito contendo pelo menos um indutor e um capacitor apresentará uma impedância de entrada puramente resistiva.

Consequentemente, aplicando-se este conceito ao circuito série da Figura 1, cuja impedância complexa é dada pela equação 1, observa-se que, ajustando-se a frequência da fonte, existirá um valor de frequência em que esta impedância será puramente resistiva.

$$Z(w) = R + j.[w.L - \frac{1}{w.C}] \qquad [1]$$

Onde, w é a frequência angular da fonte de alimentação, e R, L e C são os valores dos componentes indicados na Figura 1.

A condição de ressonância, conforme estabelecida acima, aplicada à equação 1 possibilitará a determinação da frequência que anulará a parte imaginária de Z(w):

$$[w.L - \frac{1}{wC}] = 0 \qquad [2]$$

Assim, explicitando-se a frequência w na equação 2 obtém-se a frequência angular de ressonância do circuito série, que é dada por:

$$w_o = \frac{1}{\sqrt{L.c}} = 2.\pi.f_o = \frac{2.\pi}{T_o} \qquad [3]$$

Onde, w_O é a frequência angular de ressonância do circuito RLC.

Observa-se na equação 3 que w_O é função, apenas, dos componentes L e C do circuito. Portanto, esta frequência (w_O) é uma característica do circuito RLC série. Isto significa que, se a fonte de alimentação (de pulsação w variável) coincidir sua frequência com a frequência w_O própria do circuito, o fará entrar em ressonância série. Procurando então ilustrar, graficamente, as condições de ressonância série, serão tomados o módulo e o ângulo de fase da impedância do circuito da Figura 1, conforme indicam as equações 4 e 5:

$$Z(w) = \sqrt{R^2 + [w.L - \frac{1}{w.C}]^2} \qquad [4]$$

$$\phi(w) = tg^{-1}[\frac{w.L - 1/w.C}{R}] \qquad [5]$$

Onde:

Z(w): É o módulo da impedância complexa dada por (1), em função da frequência w;

φ(w): É o ângulo da impedância Z(w), em função de w. Este ângulo difere de φ, apenas, pelo sinal oposto, tomando-se na referência a tensão da fonte dada por 6.

$$V(t) = \sqrt{2}V\cos(wt) \qquad [6]$$

As representações gráficas das equações 4 e 5, respectivamente, estão ilustradas nas, para um dado circuito RLC série de resistência R = 1 Ω, capacitância C= 100 μF e indutância L = 10 mH, cuja frequência angular ressonante (w_O) é 1000 rad/s.

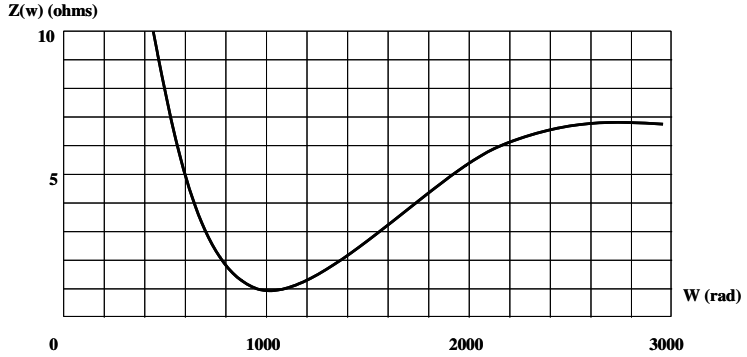


Figura 2 – Impedância de um circuito RLC série versus frequência.

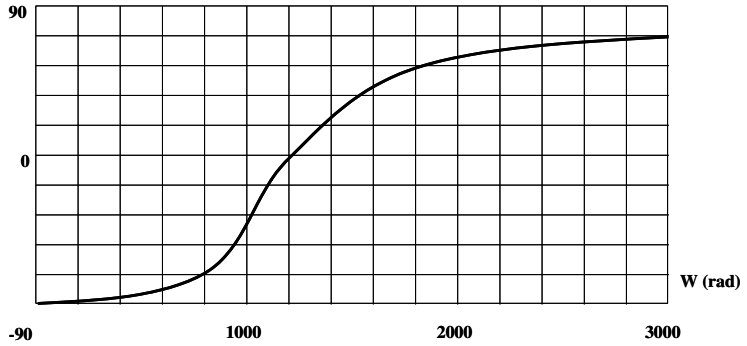


Figura 3 – Ângulo em função da frequência.

Pela observação da Figura 2 verifica-se que, na frequência de ressonância, a impedância é mínima. Verifica-se também que o módulo de Z(w) aumenta indefinidamente quando w tende para zero ou infinito. Por outro lado, da Figura 3, conclui-se que o ângulo de Z(w) anula-se para w = w_O. Este fato demonstra que, na ressonância série, o circuito será puramente resistivo. Observa-se também que aumentando a frequência além do w_O, os ângulos da impedância serão positivos e cada vez mais próximos de +90º. Isto implicará que a impedância será predominantemente indutiva nas altas frequências. Inversamente, para frequências baixas e inferiores a frequência de ressonância, o circuito será predominantemente capacitivo.

Uma outra forma de ilustrar a ressonância série consiste em analisar o módulo da corrente elétrica que atravessa os elementos R, L e C. Considerando-se, então, o circuito da figura 1, sua corrente será dada em função da frequência w, para uma tensão de alimentação de amplitude constante, conforme indica a relação 7.

$$I(w) = \frac{V(w)}{\sqrt{R^2 + (w.L - 1/w.C)^2}} = V(w).Y(w) \qquad [7]$$

Onde:

I(w) e V(w): São, respectivamente, os módulos da corrente e da tensão de alimentação, em função de w;

Y(w): É o módulo da admitância do circuito RLC série, que equivale ao inverso de Z(w).

1. Comportamento da Energia

O circuito RLC série, conforme ilustrado na figura é composto de elementos que armazenam a energia elétrica (capacitor e indutor) e um elemento que dissipa essa energia sob a forma de calor (resistor).

Por conseguinte, é útil avaliar estas energias quando da condição de ressonância, sendo que elas poderão trazer informações importantes sobre o funcionamento do circuito.

A energia armazenada no capacitor é dada pela equação 8:

$$W_C(t) = \frac{1}{2}.C.v_C^2(t) = \frac{I^2}{w_o^2.C}.\cos^2(w_o.t - 90°) \qquad [8]$$

Já no indutor, a energia armazenada é dada pela equação 9.

$$W_L(t) = \frac{1}{2}.L.i_L^2(t) = L.I^2.\cos^2(w_o.t) \qquad [9]$$

A energia total instantânea armazenada é, portanto, constante e este valor é também o valor máximo, conforme indica a equação 10.

$$W(t) = W_L(t) + W_C(t) = L.I^2 = \frac{1}{w_o^2.C}.I^2 \qquad [10]$$

Por outro lado, a energia perdida no resistor, durante um período, será obtida multiplicando-se a potência média no resistor pelo período correspondente à condição de ressonância:

$$W_{dissipada} = p_{dissipadd}T_o = R.I^2.\frac{2.\pi}{w_o} \qquad [11]$$

Onde, w_O é a frequência angular de ressonância definida pela equação 3.

Considerando-se os dois aspectos de um circuito ressonante, que são: (1) - a máxima energia que é capaz de armazenar e; (2) - as perdas elétricas de energia apresentadas, verifica-se, experimentalmente, que o "afunilamento" ou o pronunciamento das suas curvas de resposta (corrente, impedância, ou admitância versus frequência) será determinado pela relação dessas grandezas. Desta constatação resulta a definição de um parâmetro muito importante, denominado fator de qualidade, o qual será descrito a seguir.

2. Fator de Qualidade

O fator de qualidade é um parâmetro adimensional definido (tanto para circuitos como para componentes) através da relação entre a máxima energia armazenada e a energia total dissipada por período. Assim, designando-se tal parâmetro pelo símbolo Q, sua definição, conforme a referência é dada por 12:

$$Q = 2.\pi.[\frac{máximaenergiaarmazenadanocircuito}{energiatotaldissipadaporperíodo}] \qquad [12]$$

O fator Q, conforme será demonstrado significa uma medida de grau de pronunciamento das curvas de resposta dos circuitos ressonantes.

Consequentemente, dada à importância do fator de qualidade no estudo de filtros, a partir da definição 12, serão obtidas relações úteis que envolvem a frequência de ressonância e os parâmetros do circuito. Considerando-se, então, o circuito ressonante série da figura 1 e as deduções feitas sobre energia (armazenada e dissipada), pode-se expressar o fator de qualidade, à frequência de ressonância (w_O), em função dos valores dos componentes, conforme mostra a equação 13.

$$Q = \frac{Z_o}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} \qquad [13]$$

Onde:

Q = Fator de qualidade

Zo = Impedância natural do sistema

L, C e R = Elementos do filtro.

Entretanto, vale ressaltar que é comum referir-se a fatores de qualidade de reatores, ou de capacitores, como elementos isolados, sendo, portanto outra equação.

O fator de qualidade dos filtros sintonizados também pode ser visto com uma medida do grau de seletividade desses circuitos, quanto às frequências harmônicas. Quanto maior for o fator Q mais seletivo será o filtro, ou seja, ele impedirá cada vez mais a absorção das correntes harmônicas de frequências diferentes daquela de sintonia.

3. Dessintonia

Variações de frequência ocorrem em qualquer sistema elétrico devido às pequenas modificações de carga e geração. Nos sistemas elétricos reais, variações da ordem de ± 0,15 Hz podem ser observadas.

Os filtros sintonizados, em especial, são sensíveis a estas variações que ocorrem na frequência do sistema elétrico, como também a quaisquer outros fatores que tenham alguma influência sobre os valores dos seus componentes. Assim, se um filtro sintonizado é dimensionado para ter uma impedância mínima para uma dada frequência, três fatores independentes contribuem para dessintonizar o circuito para a harmônica correspondente:

a) variação da frequência do sistema c.a;

b) erro de sintonia inicial, devido ao degrau mínimo de sintonia do reator do filtro, dada à própria característica discreta de seus enrolamentos, e também devido aos erros inerentes à medição;

c) variação da capacitância total, devido à variação da temperatura, ou devido à falha de um ou mais elementos de capacitor, bem como variações entre o valor projetado com o valor obtido após a fabricação (tipicamente entre +2,5% à +7,5 %).

Pode-se também calcular o desvio equivalente de frequência (dessintonia) pela relação 14.

$$\delta = \frac{w - w_o}{w_o} \qquad [14]$$

2.2 FILTROS PASSIVOS AMORTECIDOS

Os filtros amortecidos são circuitos formados por elementos R, L e C, em diferentes combinações, que oferecem baixa impedância sobre uma larga faixa de frequência. Estes circuitos, quando são empregados para filtrar correntes de ordens harmônicas elevadas são denotados por filtros passa - alta.

Na frequência fundamental, a exemplo dos filtros sintonizados, os filtros amortecidos também apresentam impedância predominantemente capacitiva. Já nas frequências superiores, eles são essencialmente resistivos.

Os modelos dos filtros amortecidos são basicamente de quatro tipos: os filtros amortecidos de primeira, segunda e terceira ordens, e o filtro tipo "C". Estes modelos estão ilustrados na Figura 4.

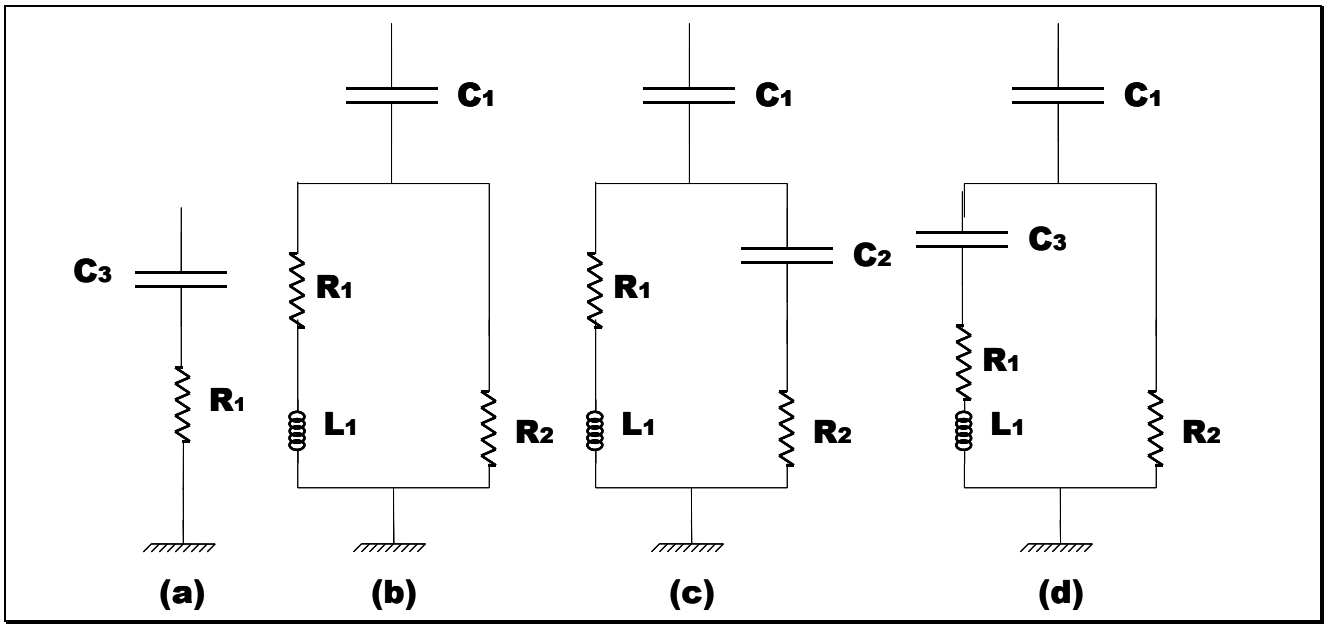


Figura 4 – Filtros amortecidos: (a) 1ª Ordem (b) 2ª Ordem (c) 3ª Ordem (d) Tipo "C".

Dentre os filtros amortecidos, o de 1ª ordem, ilustrado na Figura 4a, não é utilizado em aplicações práticas por requerer um grande capacitor e por apresentar excessivas perdas de energia à frequência fundamental. Já os demais filtros amortecidos são largamente utilizados nos sistemas elétricos, e a escolha entre os modelos prende-se aos requisitos de desempenho de filtragem e de perdas de energia.

Por conseguinte, dada à diversidade de modelos de filtros amortecidos e em consideração às peculiaridades de cada modelo, notadamente, no que se referem aos parâmetros característicos, eles serão, então, analisados separadamente.

4. Filtro Amortecido de 2ª Ordem

Inicialmente, definem-se as grandezas frequência característica, impedância natural e fator de amortecimento, conforme indicam as equações 15, 16 e 17:

- ✓ frequência característica:

$$w_o = \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot C_1}} \qquad [15]$$

- ✓ impedância natural:

$$Z_o = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = w_o \cdot L_1 = \frac{1}{w_o \cdot C_1} \qquad [16]$$

- ✓ fator de amortecimento:

$$d = \frac{R_2}{Z_o} \qquad [17]$$

A impedância complexa do filtro amortecido de 2ª ordem, para uma frequência w genérica, foi calculada com base nas grandezas características já definidas, desprezando-se a resistência R1. O componente R1, nesta fase do estudo, será desprezado para propiciar a interpretação do significado das grandezas Wo, Zo e d, anteriormente definidas. Tendo em vista também que R1 (a qual geralmente corresponde à resistência própria do reator L1) normalmente possui valor relativamente baixo.

Assim, sendo a equação 18 expressa **Z**f(w) em função de Wo, Z_O e d.

$$Z_f(w) = Z_o \cdot \{ \frac{d + j.(\frac{1}{x}).[d^2 - 1 - (\frac{d}{x})^2]}{1 + (\frac{d}{x})^2} \} \qquad [18]$$

Onde:

$$X = \frac{w_o}{w} \qquad [19]$$

Sendo assim, com base nas grandezas características do filtro amortecido de 2ª ordem, e nas suas expressões de impedância como função da frequência harmônica (equação 18), poder-se-á extrair as propriedades básicas deste tipo de filtro, como também esboçar sua curva característica de impedância versus frequência.

Em primeiro lugar, verifica-se da equação 18 que, para "d" fixo, à medida que a frequência aumenta (ou seja, para valores elevados de "x"), a impedância do filtro tenderá ao valor (Zo x d), que equivale a R2. Este efeito será mais ou menos acentuado dependendo do valor do parâmetro "d".

Já para as ordens harmônicas baixas e, principalmente, à frequência fundamental (ou seja, valores reduzidos de "x"), o filtro de 2ª ordem será predominantemente capacitivo, independentemente do valor de "d".

Assim, de acordo com o que está indicado nas relações 20, 21 e 22, admitindo-se exclusivamente d > 1, ter-se-á comportamento capacitivo, resistivo ou indutivo para este tipo de filtro.

$$w < w_o \cdot \sqrt{\frac{d^2}{d^2 - 1}} \rightarrow Z_f(w) capacitiva \qquad [20]$$

$$w = w_o \cdot \sqrt{\frac{d^2}{d^2 - 1}} \rightarrow Z_f(w) resistiva \qquad [21]$$

$$w > w_o \cdot \sqrt{\frac{d^2}{d^2 - 1}} \rightarrow Z_f(w) indutiva \qquad [22]$$

No caso contrário, isto é, para valores de "d" menores ou iguais à unidade (d=1), o filtro será sempre capacitivo, independentemente da frequência.

Finalmente, a partir dessas considerações, pode-se representar graficamente a magnitude da impedância do filtro amortecido de 2ª ordem como função da frequência, conforme ilustra a figura 5.

Diante do exposto, conclui-se que o filtro amortecido de 2ª ordem tem sua característica em função da frequência, efetivamente, governada pelos parâmetros d, w_O e Zo. Isto significa que, definindo-se convenientemente os valores desses parâmetros, poder-se-á obter um filtro capacitivo à frequência fundamental, e que, simultaneamente, ofereça impedâncias suficientemente baixas (tendendo ao valor de R2) para as frequências maiores do que uma dada frequência escolhida.

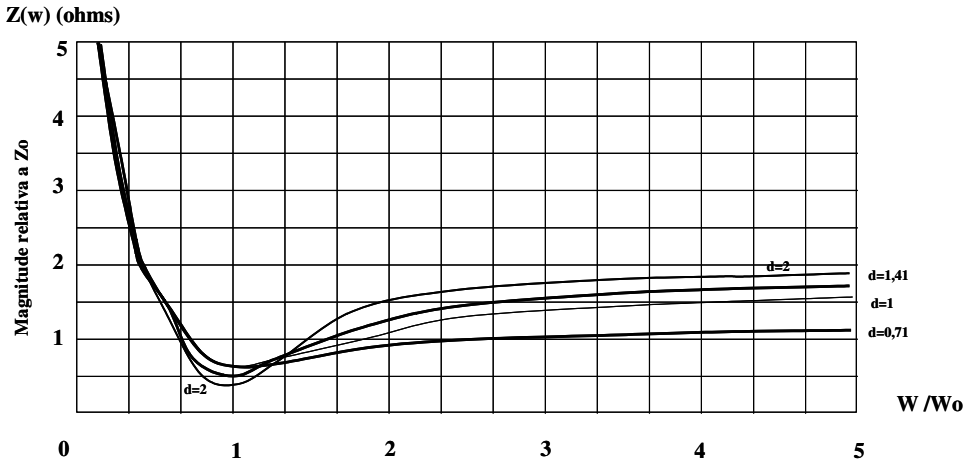


Figura 5 – Magnitudes da impedância do filtro amortecido de 2ª ordem versus frequência, para diferentes valores de "d".

5. Filtro Amortecido de 3ª Ordem

Baseando-se no circuito da figura 4.c, e desprezando-se a resistência R1, definem-se as grandezas características do filtro amortecido de 3ª ordem, para o caso particular em que C1 = C2, de maneira similar às equações 15, 16 e 17.

Ressalta-se que, a condição C1 = C2 será destacada porque a consideração de C1= C2 implicaria na existência de duas frequências características distintas, conforme será discutido posteriormente. Além disso, os filtros amortecidos de 3ª ordem usualmente empregados em sistemas de filtragem possuem C1 = C2.

Consequentemente, procedendo-se de modo análogo ao caso do filtro de 2ª ordem, obtém-se a equação 23. Esta equação fornece a impedância do filtro de 3ª ordem em termos de frequência w e dos seus parâmetros característicos.

$$Z_f(w) = Z_o.[\frac{1}{j.x}+(\frac{1}{d+\frac{1}{j.x}}+\frac{1}{j.x})^{-1}] \qquad [23]$$

Onde, "x" é a variável definida anteriormente através da relação [19]

Da equação 23, tomando-se o limite de **Z**F(w) quando "x" tende a valores muito altos, verifica-se que a impedância do filtro convergirá para o valor (Zo x d) que equivale a R2, em conformidade com a equação 17. Contrariamente, para valores muito reduzidos de "x", ou seja, para frequências baixas e inferiores à frequência w_O ter-se-á uma elevada impedância.

Além disso, ainda com base na equação 23 verifica-se que, para a frequência harmônica coincidente com a frequência característica (w_O), o filtro de 3ª ordem apresentará impedância puramente resistiva, independentemente do valor do parâmetro "d". Desse modo, nesta frequência ($w = w_O$), o valor da impedância do filtro será dado pela equação 24, obtida da substituição de x=1 em 23.

$$Z_f(w = w_o) = \frac{Z_o}{d} \text{ (para qualquer 'd')} \qquad [24]$$

Assim, com base na equação 23, as curvas de magnitude da impedância deste tipo de filtro, em função da frequência, para diversos valores do fator de amortecimento (d), como ilustra a figura 6.

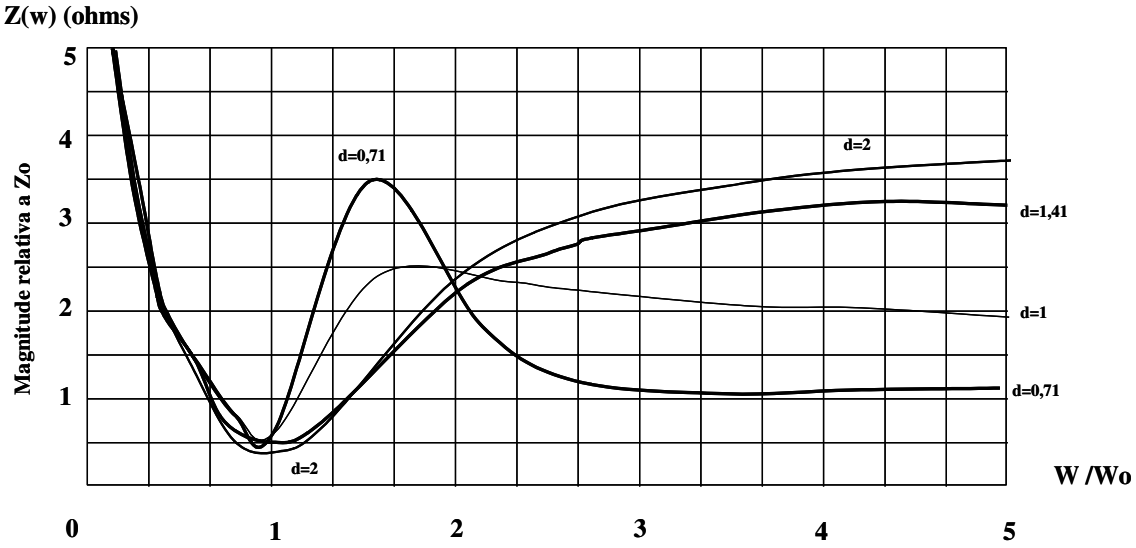


Figura 6 – Magnitudes da impedância do filtro amortecido de 3ª ordem versus frequência, para diferentes valores de "d".

Neste ponto, ressalta-se que o fator de amortecimento (d), definido para os filtros amortecidos, e o fator de qualidade (Q) dos filtros sintonizados guarda uma relação de semelhança pelo menos no que se refere ao significado físico (apesar de serem definidos por expressões inversas).

Nos filtros sintonizados, como foi demonstrado, quanto menor for a resistência (que fica em série com o indutor ou do próprio indutor) mais seletivo será o circuito. Já para os filtros amortecidos, por causa do resistor em paralelo com o indutor (no caso, R2), quanto mais alto for R2 mais "aguda" será a sintonia do circuito. Isto é, em ambos os casos estes parâmetros (d e Q) representam a seletividade dos filtros. No entanto, para o filtro de 3ª ordem, embora a definição adotada para "d" seja a mesma do filtro de 2ª ordem, o efeito

do aumento deste fator será o de intensificar a ressonância, e também tornar a anti-ressonância mais acentuada.

Regra geral, o filtro amortecido de 3ª ordem apresenta duas frequências características. Todavia, essas duas frequências serão distintas exclusivamente no caso em que C1 diferente de C2. Neste caso, entre essas duas frequências, a impedância harmônica do filtro será indutiva.

Em qualquer outra parte do espectro a impedância será capacitiva. Por outro lado, à medida que o valor da capacitância C2 se aproxima do valor de C1, o trecho indutivo da impedância tende a desaparecer até que, quando C1 = C2, somente uma frequência característica existirá, tal como foi estudado a partir da equação 23. Nesta situação, a impedância será capacitiva sobre uma larga faixa de frequência, inclusive próximo à frequência característica. Esta situação corresponde ao arranjo mais conveniente, por isso, é o mais enfocado nos estudos.

6. Filtro Amortecido Tipo "C"

O filtro tipo "C" difere dos outros filtros amortecidos por apresentar o ramo RLC série (constituído pelos elementos C3, L1 e R1, indicados na figura 4 sintonizado à frequência fundamental. Isto implicará que, em condições normais, para esta frequência o ramo RLC sintonizado apresentará uma impedância resistiva de valor R1, que, em vista do alto fator de qualidade do circuito ressonante, é normalmente escolhido de valor baixo. Assim a impedância deste filtro será dada, tão somente, pela reatância do capacitor (C1) combinada com o equivalente paralelo de R1 e R2 (Equação 25). Na prática, esta impedância será determinada pela capacitância C1, conforme indica (26).

$$Z_f(w = w_1) = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} - j.\frac{1}{w_1 \cdot C_1} \qquad [25]$$

$$Z_f(w = w_1) = j.\frac{1}{w_1 \cdot C_1} \qquad [26]$$

Esta característica do filtro amortecido tipo "C" implicará que as perdas elétricas resistivas, à frequência fundamental serão menores que aquelas verificadas nos demais filtros amortecidos.

Por outro lado, nas frequências superiores à fundamental, o filtro amortecido tipo "C" terá um comportamento muito parecido com aquele descrito para o filtro de 2ª ordem, tendo em vista a semelhança de seus circuitos. Neste caso, será então possível definir para este tipo de filtro os parâmetros característicos d, Wo e Zo. Do mesmo modo que no caso do filtro de 2ª ordem, à medida que a frequência aumenta, acima da frequência característica, o filtro tipo "C" tenderá a apresentar uma impedância igual a R2.

Em vista do exposto, conclui-se que, todos os filtros amortecidos são predominantemente capacitivos à frequência fundamental, e suas curvas características de impedância variam com a frequência e em função dos parâmetros d, Wo e Zo. Além disso, tais filtros, para as frequências maiores que uma dada frequência de sintonia escolhida (dependente de Wo), oferecerão uma impedância baixa praticamente resistiva, tendendo ao valor R2. Verifica-se também que, nas frequências inferiores àquela escolhida como a de sintonia, a impedância do filtro será relativamente elevada, portanto, absorvendo pouquíssima ou quase nenhuma corrente harmônica.

Todavia, os filtros amortecidos, em geral, apresentam vantagens e desvantagens. A principal vantagem é que esses filtros, durante a operação, não são sensíveis aos desvios de frequência até mesmo para as frequências próximas à de sintonia, exceto o filtro amortecido tipo "C", cujo ramo sintonizado sofrerá a ação da dessintonização. Uma desvantagem dos filtros amortecidos é que, normalmente, tais filtros requerem maior potência reativa fundamental para alcançar o mesmo desempenho de filtragem que se conseguiria com filtros sintonizados de menor capacidade reativa.

3 PROCEDIMENTO BÁSICO DE CÁLCULO DE FILTROS HARMÔNICOS

Demonstra-se a seguir os passos para o projeto de filtros de harmônicos sintonizados ou amortecidos:

a) Definição da necessidade de reativos a ser fornecida por cada filtro em kVAr, obtida via simulação do fluxo de carga, ou seja, as potências reativas utilizadas para o projeto dos filtros de harmônicos se basearam nos estudos de fluxo de carga realizados previamente aos estudos de harmônicos, buscando conciliar a correção do FP com a melhor condição de filtragem harmônica e, também, visando a máxima padronização possível dos equipamentos;

b) Definição tensão nominal rms e da tensão máxima de operação da barra onde o filtro de harmônicos vai ser conectado. Foi adotada a tensão nominal da barra como sendo 13,8 kV para fins de padronização dos componentes a serem fornecidos. Quando a tensão de operação da barra exceder aos 13,8 kV considerados como tensão nominal (por exemplo, 13,9 kV) o equipamento estará preparado para trabalhar com esta tensão e fornecerá mais potência reativa. Quando a tensão de operação da barra estiver abaixo dos 13,8 kV considerados como tensão nominal (por exemplo, 13,4 kV) o equipamento estará preparado para trabalhar com esta tensão e fornecerá menos potência reativa. Estas condições foram previstas nos estudos realizados;

c) Definição da frequência de sintonia a ser adotada para a drenagem da corrente harmônica desejada, obtida através das medições e dos estudos de fluxo de harmônicos.

d) Cálculo da capacitância com base nos itens a, b e c, definidos acima:

$$C = \frac{Q_f}{2 .\pi .f \, . \, V_n^2} \, . \frac{h^2-1}{h^2} \qquad [27]$$

Onde:

Q_f = Potência do Filtro;

V_n = Tensão Nominal do Sistema;

h = Ordem harmônica do filtro

e) Definição da indutância de forma a atender a ressonância série entre o reator e o banco de capacitores na frequência de sintonia escolhida:

$$Fs = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}} \qquad \rightarrow \; L = \frac{1}{(2\pi * Fs)^2 * C} \qquad [28]$$

f) Definição através de programa computacional de fluxo de harmônicos dos seguintes parâmetros:

✓ Fator de Qualidade do reator e do filtro de harmônicos;

30 < FQ < 150 (fator de qualidade do filtro de harmônicos)

$$FQ_R = \frac{X_L}{R_L} \quad [29]$$

$$FQ_F = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{R_L} \quad [30]$$

Obs: O fator de qualidade do filtro definido é igual a 50.

✓ O Fator de amortecimento para o filtro de 11ª ordem é definido conforme equação abaixo.

$$D = \frac{R_2}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \quad [31]$$

✓ Máxima dessintonia permitida para ajuste da proteção de desbalanço do equipamento, em valores percentuais de perda de capacitância, definidas pelo fornecedor do filtro de harmônicos;

✓ Conteúdo harmônico máximo a ser drenado pelo filtro de harmônicos, após a simulação computacional. Para os 20 anos previstos de operação dos filtros foi definido o conteúdo harmônico máximo igual 120% de In. aa CEB deverá providenciar filtros para a drenagem destas correntes harmônicas crescentes devido o aumento anual das suas cargas elétricas.

✓ Definição da tensão fase-fase máxima a ser suportada e da potência total do filtro pelos critérios de tensão máxima e ampacidade, em regime permanente:

$$V_{RMS} = \sum_{V_h=1}^{h\to 51} V_h \quad [32]$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{V_h=1}^{h\to 51} I_h^2} \quad [33]$$

✓ Em caso de filtro amortecido, escolha do tipo de filtro para definição dos componentes (capacitores, reatores e resistores) bem como do fator de amortecimento desejado.

3.1 PEE/SAM: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica

Filtro de 5ª Harmônica

Portanto, para o filtro de 5ª ordem harmônica (fs = 264Hz), potência de 915 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 30{,}05mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}99\,\Omega$$

Filtro de 7ª Harmônica

Portanto, para o filtro de 7ª ordem harmônica (Fs = 390Hz), potência de 608,58 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 8{,}28\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 20{,}12mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}99\,\Omega$$

Filtro de 11ª Harmônica

Portanto, para o filtro de 11ª ordem harmônica (Fs = 648Hz), potência de 299,7 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 4{,}14\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 14{,}58mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 1{,}19\,\Omega$$

Para um fator de amortecimento igual a 5 temos:

$$R_2 = 296{,}72\Omega$$

3.2 PEE/CEI: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica

Filtro de 5ª Harmônica

Portanto, para o filtro de 5ª ordem harmônica (Fs = 264Hz), potência de 915 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 30{,}05mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}99\,\Omega$$

Filtro de 7ª Harmônica

Portanto, para o filtro de 7ª ordem harmônica (Fs = 390Hz), potência de 608,58 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 8{,}28\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 20{,}12mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}99\,\Omega$$

Filtro de 11ª Harmônica

Portanto, para o filtro de 11ª ordem harmônica (Fs = 648Hz), potência de 299,7 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 4{,}14\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 14{,}58mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 1{,}19\,\Omega$$

Para um fator de amortecimento igual a 5 temos:

$$R_2 = 296{,}72\Omega$$

3.3 PEE/ANR: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica

Filtro de 5ª Harmônica

Portanto, para o filtro de 5ª ordem harmônica (Fs = 264Hz), potência de 915 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 30{,}05mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}99\,\Omega$$

Filtro de 7ª Harmônica

Portanto, para o filtro de 7ª ordem harmônica (Fs = 390Hz), potência de 608,58 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 8{,}28\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 20{,}12mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}99\,\Omega$$

Filtro de 11ª Harmônica

Portanto, para o filtro de 11ª ordem harmônica (Fs = 648Hz), potência de 299,7 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 4{,}14\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 14{,}58mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 1{,}19\,\Omega$$

Para um fator de amortecimento igual a 5 temos:

$$R_2 = 296{,}72\Omega$$

3.4 SE Brasília Centro: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica

Filtro de 5ª Harmônica

Portanto, para o filtro de 5ª ordem harmônica (Fs = 264Hz), potência de 915,7 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 30{,}05mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}99\,\Omega$$

Filtro de 7ª Harmônica

Assim, o valor da capacitância do filtro de 7ª harmônica (frequência de sintonia igual a 390 Hz) é dado pela equação abaixo.

Portanto, para o filtro de 7ª ordem harmônica, potência de 889,46 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 13{,}77mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}67\,\Omega$$

Filtro de 11ª Harmônica

Assim, o valor da capacitância do filtro de 11ª harmônica (frequência de sintonia igual a 648 Hz) é dado pela equação abaixo.

Portanto, para o filtro de 11ª ordem harmônica, potência de 875,92 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 4{,}99mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}41\,\Omega$$

Para um fator de amortecimento igual a 5 temos:

$$R_2 = 101{,}58\,\Omega$$

3.5 Águas Claras: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica

Filtro de 5ª Harmônica

Portanto, para o filtro de 5ª ordem harmônica (Fs = 264Hz), potência de 915,7 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 30{,}05mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}99\,\Omega$$

Filtro de 7ª Harmônica

Assim, o valor da capacitância do filtro de 7ª harmônica (frequência de sintonia igual a 390 Hz) é dado pela equação abaixo.

Portanto, para o filtro de 7ª ordem harmônica, potência de 889,46 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 13{,}77mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}67\,\Omega$$

Filtro de 11ª Harmônica

Assim, o valor da capacitância do filtro de 11ª harmônica (frequência de sintonia igual a 648 Hz) é dado pela equação abaixo.

Portanto, para o filtro de 11ª ordem harmônica, potência de 875,92 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 4{,}99mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}41\,\Omega$$

Para um fator de amortecimento igual a 5 temos:

$$R_2 = 101{,}58\,\Omega$$

3.6 SE Ceilândia Sul: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica

Filtro de 5ª Harmônica

Portanto, para o filtro de 5ª ordem harmônica (Fs = 264Hz), potência de 915,7 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 30{,}05mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}99\,\Omega$$

Filtro de 7ª Harmônica

Assim, o valor da capacitância do filtro de 7ª harmônica (frequência de sintonia igual a 390 Hz) é dado pela equação abaixo.

Portanto, para o filtro de 7ª ordem harmônica, potência de 889,46 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 13{,}77mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}67\,\Omega$$

Filtro de 11ª Harmônica

Assim, o valor da capacitância do filtro de 11ª harmônica (frequência de sintonia igual a 648 Hz) é dado pela equação abaixo.

Portanto, para o filtro de 11ª ordem harmônica, potência de 875,92 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 4{,}99mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}41\,\Omega$$

Para um fator de amortecimento igual a 5 temos:

$$R_2 = 101{,}58\,\Omega$$

3.7 PEE Hípica: Cálculo da Capacitância e Indutância dos Filtros de 5ª, 7ª e 11ª Harmônica

Filtro de 5ª Harmônica

Portanto, para o filtro de 5ª ordem harmônica (Fs = 264Hz), potência de 915,7 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 30{,}05mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}99\ \Omega$$

Filtro de 7ª Harmônica

Assim, o valor da capacitância do filtro de 7ª harmônica (frequência de sintonia igual a 390 Hz) é dado pela equação abaixo.

Portanto, para o filtro de 7ª ordem harmônica, potência de 889,46 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 13{,}77mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}67\ \Omega$$

Filtro de 11ª Harmônica

Assim, o valor da capacitância do filtro de 11ª harmônica (frequência de sintonia igual a 648 Hz) é dado pela equação abaixo.

Portanto, para o filtro de 11ª ordem harmônica, potência de 875,92 kVAr e tensão nominal de 13,8kV a capacitância será:

$$C = 12{,}09\mu F$$

Pela equação 28, o indutor do reator será:

$$L = 4{,}99mH$$

O valor da resistência do indutor é obtido a partir da equação (30).

$$R_L = 0{,}41\ \Omega$$

Para um fator de amortecimento igual a 5 temos:

$$R_2 = 101{,}58\ \Omega$$

4 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS DO DISJUNTOR GERAL ATÉ O BARRAMENTO DE ENTRADA DO FILTRO DE TRIPLA SINTONIA: PEE/SAM, PEE/CEI E PEE/ANR

A potência dos filtros de tripla sintonia, 5ª, 7ª e 11ª harmônica, atinge 5775 kVAr. Assim, a corrente nominal drenada pelos filtros será de 133,37 A por fase.

✓ Critério da Corrente Nominal

Pelo critério da corrente nominal a seção do cabo deve ser superior em 2 ou 3 vezes à seção correspondente a corrente nominal. Assim, a seção deveria ser de 50 mm^2 por fase.

✓ Critério da Corrente de Curto-Circuito

Pelo critério da corrente de curto-circuito o condutor deve suportar a mesma durante 1 segundo.

A pior corrente de curto-circuito calculada atinge aproximadamente 20 kA (referência obtida padronizando a maior corrente de curto-circuito informada pela CEB para os pontos de instalação dos filtros de harmônicos, conforme mostrado no Anexo II dos relatórios técnicos para a Expansão e para Modernização).

Assim, pelo critério de suportabilidade à corrente supracitada durante 60 ciclos, a seção nominal dos condutores entre o disjuntor geral e o barramento dos filtros deverá ser de 120 mm^2 por fase.

A figura abaixo apresenta as curvas de suportabilidade do condutor Eprotenax Compact 105º, cobre, corrente em função da seção nominal do condutor.

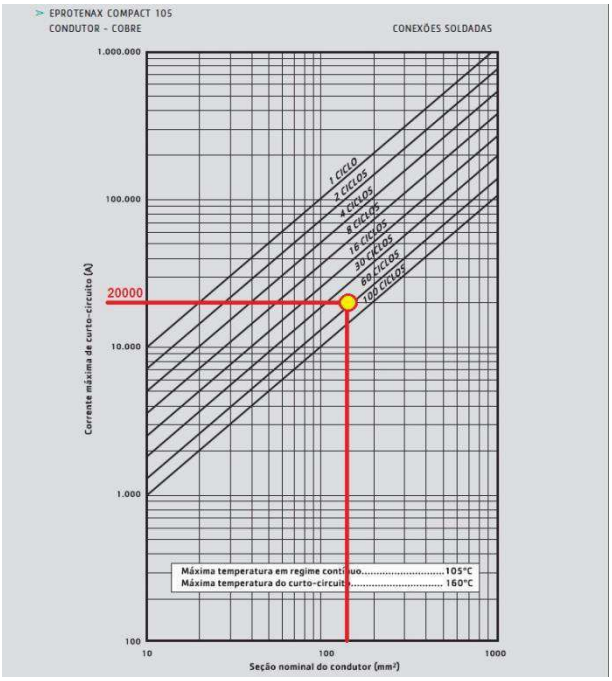


Figura 7 – Correntes máximas de curto-circuito no condutor.

Assim, a seção nominal do condutor que conecta o disjuntor geral ao barramento do filtro de tripla sintonia deve ser de 120 mm^2 por fase.

5 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS DO DISJUNTOR GERAL ATÉ O BARRAMENTO DE ENTRADA DO FILTRO DE TRIPLA SINTONIA: SE SO, SE AC, SE BC E PEE/HIP

A potência dos filtros de tripla sintonia, 5ª, 7ª e 11ª harmônica, atinge 8550 kVAr. Assim, a corrente nominal drenada pelos filtros será de 197,45 A por fase.

✓ Critério da Corrente Nominal

Pelo critério da corrente nominal a seção do cabo deve ser superior em 2 ou 3 vezes à seção correspondente a corrente nominal. Assim, a seção deveria ser de 70 mm^2 por fase.

✓ Critério da Corrente de Curto-Circuito

Pelo critério da corrente de curto-circuito o condutor deve suportar a mesma durante 1 segundo.

A pior corrente de curto-circuito calculada atinge aproximadamente 20 kA (referência obtida padronizando a maior corrente de curto-circuito informada pela CEB para os pontos de instalação dos filtros de harmônicos, conforme mostrado no Anexo II dos relatório técnicos para a Expansão e para Modernização).

Assim, pelo critério de suportabilidade à corrente supracitada durante 60 ciclos, a seção nominal dos condutores entre o disjuntor geral e o barramento dos filtros deverá ser de 120 mm^2 por fase.

A figura abaixo apresenta as curvas de suportabilidade do condutor Eprotenax Compact 105º, cobre, corrente em função da seção nominal do condutor.

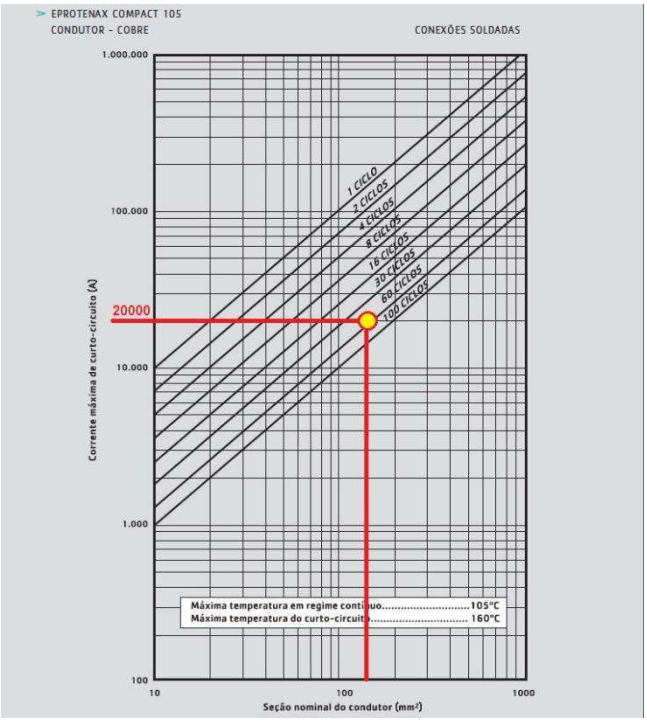


Figura 8 – Correntes máximas de curto-circuito no condutor.

Assim, a seção nominal do condutor que conecta o disjuntor geral ao barramento do filtro de tripla sintonia deve ser de 120 mm^2 por fase.

METRÔ - DF	ENGEVIX	CODIFICAÇÃO ENGEVIX P00160/01-5X-RL-0022-0B

SETOR	
ENDEREÇO	
PROPRIETÁRIO	METRÔ - DF
AUTOR DO PROJETO	IDYLIO THOMAZINNI FILHO / FLAVIO RESENDE GARCIA
RESPONSÁVEL TÉCNICO	

METRÔ - DF

IDYLIO THOMAZINNI FILHO CREA N° 5060007017

METRÔ - DF

SISTEMA		ENERGIA	
SUBSISTEMA		FILTRO DE HARMÔNICAS	
VISTO ELJ/RJF	DATA 29/08/14	LOCAL GERAL	
APROVADO RMP	DATA 05/12/14	COMPONENTES /TIPO DE DOCUMENTO ESTUDO DE COMPENSAÇÃO DE REATIVOS E FILTRO DE HARMÔNICAS	AREA DE CONST. -
ESCALA **S/ESC.**	ETAPA DO PROJ. Básico		
N MICROFILME	FOLHA 1/114	CODIFICAÇÃO **RT.4/EX.99/00.022**	REVISÃO **1**

1	**APROVADO CONFORME O PARECER 0530/14-TEN**	**05/12/14**	**FRG/PRA**	**MS**	**ITF**	**ELJ/RJF**	**RMP**
0B	ATENDENDO PARECER 0514/14-TEN	07/10/14	FRG/PRA	MS	ITF	ELJ/RJF	RMP
0A	ATENDENDO PARECER 0495/14-TEN	07/10/14	FRG/PRA	ECoA	ITF	ELJ/RJF	RMP
0	EMISSÃO INICIAL	29/08/14	FRG/PRA	ECoA	ITF	ELJ/RJF	RMP
N°	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROVO	VERIF.	APROV
		CONTRATADA				**METRÔ - DF**	
R E V I S Õ E S							

METRÔ-DF
RT.4/EX.99/00.022

ESTUDO DE FILTRO DE HARMÔNICAS
RELATÓRIO TÉCNICO

SISTEMA DE ENERGIA
PROJETO BÁSICO

LISTA DE ABREVIAÇÕES

CEB – Companhia Energética de Brasília;

CN – Ceilândia Norte;

DHTi – Distorção Harmônica Total de Corrente;

DHTv – Distorção Harmônica Total de Tensão;

EN – Estádio Nacional;

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers;

kV – Quilo Volts;

kVA – Quilo Volt Ampère;

kVAr – Quilo Volt Ampère Reativo;

MVA – Mega Volt Ampère;

PAC – Ponto de Acoplamento Comum;

PQF – Power Quality Filter;

RCT – Reator Controlado a Tiristor;

RNS – Reator a Núcleo Saturado;

SE – Subestação de Energia;

SO – Samambaia Oeste;

SR – Subestação Retificadora;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL 13
1.1 FATOR DE POTÊNCIA 13
1.2 DISTORÇÃO HARMÔNICA 13
2 INFORMAÇÕES TÉCNICAS UTILIZADAS NA ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS 14
2.1 PREMISSAS DO TRABALHO: 14
2.2 POTÊNCIA DE CURTO-CIRCUITO NO PAC 15
2.3 DADOS DOS TRANSFORMADORES 15
2.4 DADOS DOS CABOS 16
2.5 DADOS DAS CARGAS 18
2.6 POTÊNCIA DISPONÍVEL NAS SES 19
2.7 DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO 19
2.7.1 ANEL CEILÂNDIA SUL/ÁGUAS CLARAS OPERAÇÃO NORMAL 20
2.7.2 ANEL CEILÂNDIA SUL/ÁGUAS CLARAS OPERAÇÃO EM CONTINGÊNCIA 20
2.7.3 ANEL BRASÍLIA CENTRO/HÍPICA OPERAÇÃO NORMAL 21
2.7.4 ANEL BRASÍLIA CENTRO/HÍPICA OPERAÇÃO EM CONTINGÊNCIA 21
3 METODOLOGIA DE CÁLCULO 22
3.1 TEORIA DE CÁLCULO DE FILTROS DE HARMÔNICOS PASSIVOS E COMPENSAÇÃO REATIVO 22
3.2 METODOLOGIA DO PQF 22
3.3 CARACTERÍSTICAS DO PROGRAMA PQF 24
3.4 PROCESSO MATEMÁTICO: 25
3.4.1 ELIMINAÇÃO DE GAUSS: 27
4 RESULTADOS DO FLUXO DE CARGA – COMPATIBILIDADE 29
5 RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASOS 29
5.1 ANEL CEILÂNDIA SUL/ÁGUAS CLARAS 30
5.1.1 1º CASO – ANEL CEILÂNDIA SUL/ÁGUAS CLARAS: SITUAÇÃO ATUAL SEM FILTROS 30
5.1.2 2º CASO – ANEL CEILÂNDIA SUL/ÁGUAS CLARAS: SITUAÇÃO ATUAL COM FILTROS DE 5ª, 7ª E 11ª ORDEM 35
5.1.3 3º CASO – ANEL CEILÂNDIA SUL/ÁGUAS CLARAS: SITUAÇÃO FUTURA COM FILTROS DE 5ª, 7ª E 11ª ORDEM 40

5.1.4 4º CASO – ANEL CEILÂNDIA SUL/ÁGUAS CLARAS CONTINGÊNCIA: SITUAÇÃO ATUAL SEM FILTROS 45
5.1.5 5º CASO – ANEL CEILÂNDIA SUL/ÁGUAS CLARAS CONTINGÊNCIA: SITUAÇÃO ATUAL COM FILTROS DE 5ª, 7ª E 11ª ORDEM 50
5.1.6 6º CASO – ANEL CEILÂNDIA SUL/ÁGUAS CLARAS CONTINGÊNCIA: SITUAÇÃO FUTURA COM FILTROS DE 5ª, 7ª E 11ª ORDEM 55
5.2 ANEL BRASÍLIA CENTRO/HÍPICA 60
5.2.1 1º CASO – ANEL BRASÍLIA CENTRO/HÍPICA: SITUAÇÃO ATUAL SEM FILTROS 60
5.2.2 2º CASO – ANEL BRASÍLIA CENTRO/HÍPICA: SITUAÇÃO ATUAL COM FILTROS DE 5ª, 7ª E 11ª ORDEM 65
5.2.3 3º CASO – ANEL BRASÍLIA CENTRO/HÍPICA: SITUAÇÃO FUTURA COM FILTROS DE 5ª, 7ª E 11ª ORDEM 70
5.2.4 4º CASO – ANEL BRASÍLIA CENTRO/HÍPICA CONTINGÊNCIA: SITUAÇÃO ATUAL SEM FILTROS 75
5.2.5 5º CASO – ANEL BRASÍLIA CENTRO/HÍPICA CONTINGÊNCIA: SITUAÇÃO ATUAL COM FILTROS DE 5ª, 7ª E 11ª ORDEM 80
5.2.6 6º CASO – ANEL BRASÍLIA CENTRO/HÍPICA CONTINGÊNCIA: SITUAÇÃO FUTURA COM FILTROS DE 5ª, 7ª E 11ª ORDEM 85
6 ESPECIFICAÇÃO DOS FILTROS 90
6.1 PEE/HIP 91
6.2 SE CEILÂNDIA SUL 91
6.3 SE ÁGUAS CLARAS 91
6.4 SE BRASÍLIA CENTRO 92
7 CONCLUSÕES 93
ANEXO I - TEORIA DE CÁLCULO DE FILTROS DE HARMÔNICOS PASSIVOS 98
1 INTRODUÇÃO 99
2 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS FILTROS DE HARMÔNICOS 99
2.1 FILTROS PASSIVOS SINTONIZADOS 100
2.1.1 COMPORTAMENTO DA ENERGIA 103
2.1.2 FATOR DE QUALIDADE 104
2.1.3 DESSINTONIA 105
2.2 FILTROS PASSIVOS AMORTECIDOS 105
2.2.1 FILTRO AMORTECIDO DE 2ª ORDEM 106
2.2.2 FILTRO AMORTECIDO DE 3ª ORDEM 109

2.2.3 FILTRO AMORTECIDO TIPO "C".....111
3 PROCEDIMENTO BÁSICO DE CÁLCULO DE FILTROS HARMÔNICOS.....112
ANEXO II - POTÊNCIA DE CURTO CIRCUITO.....113

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de referência globais das distorções harmônicas totais.....14

Tabela 2 – Limites de distorção harmônica tensão.....14

Tabela 3 – Nível de curto-circuito. 15

Tabela 4 – Tensão de operação das SEs/PEEs. 15

Tabela 5 – Impedância dos cabos do Anel Brasília Centro/ PEE Hípica. 16

Tabela 6 – Impedância dos cabos do Anel Águas Claras/ PEE Hípica. 16

Tabela 7 – Impedância dos cabos do Anel Ceilândia Sul/Águas Claras.....17

Tabela 8 – Potência das cargas das SRs. 18

Tabela 9 – Potência Reativa disponível nas SEs para o projeto dos filtros 19

Tabela 10 – Potência reativa total necessária nas SEs para o projeto dos filtros.....19

Tabela 11 – Fluxo de Carga nas SEs/PEE do sistema existente do Metrô-DF 29

Tabela 12 – Casos de Estudo de Harmônicos.....29

Tabela 13 – Resumo da DHTv e DHTi e FP do Anel Ceilândia Sul/Águas Claras. 93

Tabela 14 – Resumo da DHTv e DHTi e FP do Anel Brasília Centro/Hípica 94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama unifilar do sistema Metrô-DF, Anel Ceilândia Sul/Águas Claras para operação normal. 20

Figura 2 – Diagrama unifilar do sistema Metrô-DF, Anel Ceilândia Sul/Águas Claras para operação em contingência. 20

Figura 3 – Diagrama unifilar do sistema Metrô-DF, Anel Brasília Centro/Hípica para operação normal. 21

Figura 4 – Diagrama unifilar do sistema Metrô-DF, Anel Brasília Centro/Hípica para operação em contingência. 21

Figura 5 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas, sem filtro. 30

Figura 6 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras. 30

Figura 7 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 31

Figura 8 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 32

Figura 9 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 33

Figura 10 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 34

Figura 11 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas e filtros. 35

Figura 12 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras. 35

Figura 13 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 36

Figura 14 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 37

Figura 15 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 38

Figura 16 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 39

Figura 17 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas e filtros. 40

Figura 18 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras. 40

Figura 19 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 41

Figura 20 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 42

Figura 21 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 43

Figura 22 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 44

Figura 23 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas, sem filtro. 45

Figura 24 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras. 45
Figura 25 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 46
Figura 26 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 47
Figura 27 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 48
Figura 28 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 49
Figura 29 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas e filtros. 50
Figura 30 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras. 50
Figura 31 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 51
Figura 32 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 52
Figura 33 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 53
Figura 34 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 54
Figura 35 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas e filtros. 55
Figura 36 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras. 55
Figura 37 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 56
Figura 38 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 57
Figura 39 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 58
Figura 40 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 59
Figura 41 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas com filtros. 60
Figura 42 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras. 60
Figura 43 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 61
Figura 44 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 62
Figura 45 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 63
Figura 46 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 64
Figura 47 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas com filtros. 65
Figura 48 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras. 65
Figura 49 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 66

Figura 50 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 67
Figura 51 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 68
Figura 52 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 69
Figura 53 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas com filtros. 70
Figura 54 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras. 70
Figura 55 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 71
Figura 56 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 72
Figura 57 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 73
Figura 58 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 74
Figura 59 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas com filtros. 75
Figura 60 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras. 75
Figura 61 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 76
Figura 62 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 77
Figura 63 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 78
Figura 64 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 79
Figura 65 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas com filtros. 80
Figura 66 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras. 80
Figura 67 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 81
Figura 68 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 82
Figura 69 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 83
Figura 70 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 84
Figura 71 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas com filtros. 85
Figura 72 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras. 85
Figura 73 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 86
Figura 74 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 87
Figura 75 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente. 88

Figura 76 – Valores de Tensão, Corrente e Potência. 89

1 INTRODUÇÃO GERAL

O presente relatório tem como objetivo apresentar o impacto harmônico nas SEs que alimentam o sistema Metrô-DF. Em virtude das características elétricas da alimentação do sistema, retificador a 12 pulsos, há harmônicos de 11ª e 13ª ordem. Contudo, através das medições realizadas anteriormente no sistema CEB, além das harmônicas características supracitadas, constatou-se a presença de 3ª, 5ª e 7ª ordem harmônica, oriundas de cargas não lineares residenciais/comerciais que possuem a mesma alimentação que o Metrô-DF.

Atualmente, a maior parte das cargas de uma residência/comércio são não lineares (televisores, fontes chaveadas, motores, lâmpadas fluorescente, condicionadores de ar, etc). A soma dos harmônicos produzidos por estas cargas, de várias residências, aumentam as distorções harmônicas no ponto de alimentação e, portanto, devem ser consideradas nas simulações.

A empresa que será responsável pelo fornecimento dos filtros de harmônicos deverá realizar medições de harmônicas nas barras de conexão entre o Metrô-DF e a CEB, visando confirmar os valores de injeção harmônica pré-existentes nestes pontos da rede elétrica.

1.1 Fator de Potência

O Fator de potencia e definido como a relação entre a potência ativa e a potencia aparente numa instalação, num dado intervalo de tempo. Este índice reflete a eficiência do uso da energia que esta sendo utilizada, ou seja, a relação entre a potência ativa (realmente útil) e a potencia aparente (energia total) de uma instalação.

A ANEEL, através da Resolução Normativa nº469/2011 aprova a revisão do PRODIST que regulamenta o valor de fator de potência no ponto de medição conforme texto abaixo.

"3.2.1 - Para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo, de acordo com regulamentação vigente."

A Resolução Normativa nº 479/2012 regulamente o valor do fator de potência indicando os períodos a serem respeitados conforme texto abaixo.

"§ 1º Para a apuração do ERE e DRE(p), deve-se considerar:
I - o período de 6 (seis) horas consecutivas, compreendido, a critério da distribuidora, entre 23h 30min e 6h 30min, apenas os fatores de potência "fT" inferiores a 0,92 capacitivo, verificados em cada intervalo de 1 (uma) hora "T";
II - o período diário complementar ao definido no inciso I, apenas os fatores de potência "fT" inferiores a 0,92 indutivo, verificados em cada intervalo de 1 (uma) hora "T"."

1.2 Distorção Harmônica

As distorções harmônicas são fenômenos associados com deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental.

A ANEEL, através da Resolução Normativa nº469/2011 aprova a revisão do PRODIST que regulamenta os níveis de distorção harmônica de tensão conforme texto e tabelas abaixo.

"4.6.1 - Os valores de referência para as distorções harmônicas totais estão indicados na Tabela 1 a seguir. Estes valores servem para referência do planejamento elétrico em termos de QEE e que, regulatoriamente, serão estabelecidos em resolução específica, após período experimental de coleta de dados."

Tabela 1 – Valores de referência globais das distorções harmônicas totais

(em porcentagem da tensão fundamental)

Tensão nominal do Barramento	Distorção Harmônica Total de Tensão (DTT) [%]
$V_N \leq 1kV$	10
$1kV < V_N \leq 13,8kV$	8
$13,8kV < V_N \leq 69kV$	6
$69kV < V_N < 230kV$	3

A IEEE 519/2014 também apresenta recomendações quanto aos níveis de distorção harmônica de tensão conforme a tabela abaixo.

Tabela 2 – Limites de distorção harmônica tensão

Tensão nominal do Barramento	Distorção Harmônica Total de Tensão (DHT) [%]
$V_N \leq 1kV$	8
$1kV < V_N \leq 69kV$	5
$69kV < V_N \leq 161kV$	2,5
$161kV < V_N$	1,5

2 INFORMAÇÕES TÉCNICAS UTILIZADAS NA ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS

2.1 Premissas do Trabalho:

a) Referências Normativas:

- ✓ IEEE 519/2014;
- ✓ PRODIST: MÓDULO 8 – Qualidade de Energia Elétrica;
- ✓ Obs.: As soluções propostas neste relatório buscaram atender a Norma IEEE 519/2014.

a) Estudos baseados nos resultados das medições realizadas pelo Metrô-DF nas SEs Brasília Centro, Águas Claras e Ceilândia Sul, bem como nas SRs 02 e 07. As injeções harmônicas adicionais incrementadas nas barras das SEs contemplam às injeções provenientes das cargas residenciais, comerciais e/ou industriais presentes no sistema CEB, tendo em vista que os transformadores de 20 MVA atendem ao Metrô-DF e as demais cargas.

b) Os dados utilizados neste estudo de fluxo de harmônicos se baseou nos mesmos utilizados pelos estudos de fluxo de carga, bem como em seus resultados de tensão e potências.

c) Tendo em vista a operação futura dos filtros a serem instalados pelo Metrô–DF, deverão contemplar as harmônicas adicionais geradas pelo crescimento natural das cargas residenciais, comerciais e/ou industriais foi previsto um fator de crescimento médio de 3,5% ao ano, por um período de 20 anos (tempo de vida útil previsto para os filtros).

2.2 Potência de curto-circuito no PAC

As potências de curto-circuito nos Pontos de Acoplamento Comum (PAC) utilizadas nas simulações, conforme informado pela CEB (Anexo II), são:

Tabela 3 – Nível de curto-circuito.

Subestação			Potência de curto-circuito Trifásico		Potência de curto-circuito Monofásico	
Nº da Barra	Descrição	Tensão (kV)	Módulo (MVA)	Ângulo (°)	Módulo (MVA)	Ângulo (°)
17112	SE-AC	13,800	421,34	-88,12	450,80	-88,66
17122	SE-BC	13,800	473,11	-89,34	486,52	-89,55
17162	SE-CS	13,800	365,80	-89,39	374,65	-89,58
17372	SE-HP	13,800	253,12	-89,36	258,59	-89,56

As tensões utilizadas nas simulações estão de acordo com o relatório de fluxo de carga RT.4/EX.99/00.014, conforme tabela abaixo.

Tabela 4 – Tensão de operação das SEs/PEEs.

Subestação	Tensão (kV)
SE-AC	13,9
SE-CS	13,9
SE-BC	13,4
PEE/HIP	13,4

2.3 Dados dos Transformadores

Não houve a necessidade, neste momento, de modelar os transformadores das SEs (138/13,8 kV), uma vez que a simulações tem como referência os secundários

dos mesmos, em 13,9 kV para o anel Ceilândia Sul/Águas Claras, e 13,4kV para o anel Brasília Centro/Hípica, conforme relatório de fluxo de carga RT.4/EX.99/00.014. As potências de curto-circuito informadas já contemplam as impedâncias dos transformadores.

2.4 Dados dos Cabos

As Tabelas abaixo apresentam as impedâncias dos cabos que alimentam as SRs conforme os valores informados no relatório de fluxo de carga RT.4/EX.99/00.014.

Tabela 5 – Impedância dos cabos do Anel Brasília Centro/ PEE Hípica.

De	Para	Bitola (mm²)	Impedâncias (Ω)
PEE/HIP	SR03	120	1,133788 + 1,02114j
PEE/HIP	SR04	120	0,64814 + 0,5167j
SR03	SR01	120	0,64741 + 0,65382j
SR04	SR02	120	0,9494 + 0,9588j
SE BC	SR02	240	0,55946 + 1,25853j
SE BC	SR01	240	0,5217 + 1,2126j
SR01	E1	25	0,696 + 0,1275j
SR01	E2	25	0,0928 + 0,017j
SR02	E3	25	0,12064 + 0,0221j
SR02	E4	25	0,8352 + 0,153j
SR03	E5	25	0,696 + 0,1275j
SR03	E6	25	0,0928 + 0,017j
SR03	E7	25	0,696 + 0,1275j
SR04	E8	25	0,696 + 0,1275
SR04	E9	25	0,0928 + 0,017j

Tabela 6 – Impedância dos cabos do Anel Águas Claras/ PEE Hípica.

De	Para	Bitola (mm²)	Impedâncias (Ω)
SE AC	SR8	240	0,429532 + 0,549936j
SE AC	SR7	240	0,672532 + 0,841536j
PEE/HIP	SR5	120	0,01055 + 0,0143j
PEE/HIP	SR6	120	0,50456 + 0,34863j
SR6	SR8	120	1,141448 + 0,8554j
SR5	SR7	120	1,137856 + 0,85916j

Tabela 7 – Impedância dos cabos do Anel Ceilândia Sul/Águas Claras.

De	Para	Bitola (mm²)	Impedâncias (Ω)
SE CS	SR12	300	0,1011 + 0,16416j
SE CS	SR13	240	0,39496 + 0,88878j
SR12	SR14	150	0,75123 + 1,12205j
SR13	SR11	120	1,17112 + 1,52248j
SR14	SR10	95	2,75285 + 2,66744j
SR11	SR62	4/0	1,57931 + 2,25636j
SR10	SR61	120	0,784448 + 0,53708j
SR62	SR09	120	1,228336 + 0,84368j
SE AC	SR09	240	0,12198 + 0,16884j
SE AC	SR61	240	0,07248 + 0,10944j
SE AC	SM	50	0,2988 + 0,1344j
SR09	E17	25	0,28304 + 0,05185j
SR09	SM	50	0,74445 + 0,27735j
SR10	E18	25	0,928 + 0,17j
SR10	E19	25	0,12064 + 0,0221j
SR10	E20	25	1,27136 + 0,2329j
SR61	E30	25	0,12064 + 0,0221j
SR62	E31	25	1,32704 + 0,2431j
SR62	E32	25	0,12528 + 0,02295j
SR62	E33	25	1,68896 + 0,3094j
SR11	E21	25	0,02784 + 0,0051j
SR12	E22	25	0,5568 + 0,102j
SR12	E23	25	0,464 + 0,085j
SR13	E24	25	0,928 + 0,17j
SR13	E25	25	0,1856 +0,034j
SR14	E26	25	0,0928 + 0,017j
SR14	E27	25	0,95584 + 0,1751j

2.5 Dados das Cargas

A Tabela abaixo apresenta os valores das potências das cargas das SRs conforme o relatório de fluxo de carga RT.4/EX.99/00.014.

Tabela 8 – Potência das cargas das SRs.

Subestação	SRs	Potência (kVA)	FP
SEs Existentes	SR14	2637,79	0,95
	SR13	3140,09	0,95
	SR12	3195,71	0,95
	SR11	3353,47	0,95
	SR10	4341,38	0,93
	SR09	3656,95	0,95
	SR62	4019,81	0,95
	SR61	3347,53	0,95
	SR8	2238,24	0,95
	SR7	2805,85	0,95
	SR6	2488,16	0,94
	SR5	2975,96	0,95
	SR4	3809,88	0,93
	SR3	4331,18	0,93
	SR2	2879,29	0,94
	SR1	2553,19	0,93

Observação: As potências das SRs apresentada na tabela acima contemplam as cargas de tração e auxiliares.

Para as cargas residenciais não lineares alimentadas pelas SEs Ceilândia Sul, Águas Claras e Brasília Centro, a modelagem contempla injeções de correntes de 3ª, 5ª e 7ª ordem harmônica de forma que a distorção total de tensão nos PEEs representem os valores apresentados nas medições enviadas pelo Metrô-DF.

Para a subestação Hípica, em virtude da falta de informação sobre a distorção total de tensão, considera-se uma injeção de correntes harmônicas de aproximadamente igual a 20% do valor das correntes harmônicas da SE Brasília Centro.

2.6 Potência disponível nas SEs

A Tabela 9 apresenta os valores de potência reativa para o cálculo dos filtros, conforme relatório de fluxo de carga do trecho existente RT.4/EX.99/00.014.

Tabela 9 – Potência Reativa disponível nas SEs para o projeto dos filtros

Subestação	Potência reativa (kVAr)
Ceilândia Sul	4200,00
Águas Claras	6500,00
Brasília Centro	2800,00
Hípica	4200,00

Tabela 10 – Potência reativa total necessária nas SEs para o projeto dos filtros

Subestação	Potência reativa do filtro (kVAr)
Ceilândia Sul	2700
Águas Claras	2700
Brasília Centro	2700
Hípica	2700

Observação: O dimensionamento dos filtros de harmônicos, cujo montante atinge 2700 kVAr em cada SE/PEE, teve como base a necessidade de reativos prevista no fluxo de carga, a padronização dos equipamentos, bem como a suportabilidade mínima necessária às correntes harmônicas que serão drenadas pelos filtros. Esta quantidade de reativos é suficiente para a correção do FP e para diminuir as distorções harmônicas de tensão nos PEEs, conforme recomenda a IEEE 519/2014.

As potências serão distribuídas nos filtros de 5ª, 7ª e 11ª ordens a serem instalados em cada uma das SEs visando à correção do fator de potência e a filtragem das harmônicas de forma adequada.

2.7 Diagrama Unifilar Simplificado

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam, respectivamente, os diagramas unifilares da Rede de Alimentação no trecho existente, Anel Ceilândia Sul/Águas Claras e Anel Brasília Centro/Hípica respectivamente.

Observação: As configurações supracitadas serão simuladas de forma independente conforme relatório de fluxo de carga e assim como a operação em contingência.

2.7.1 Anel Ceilândia Sul/Águas Claras Operação Normal

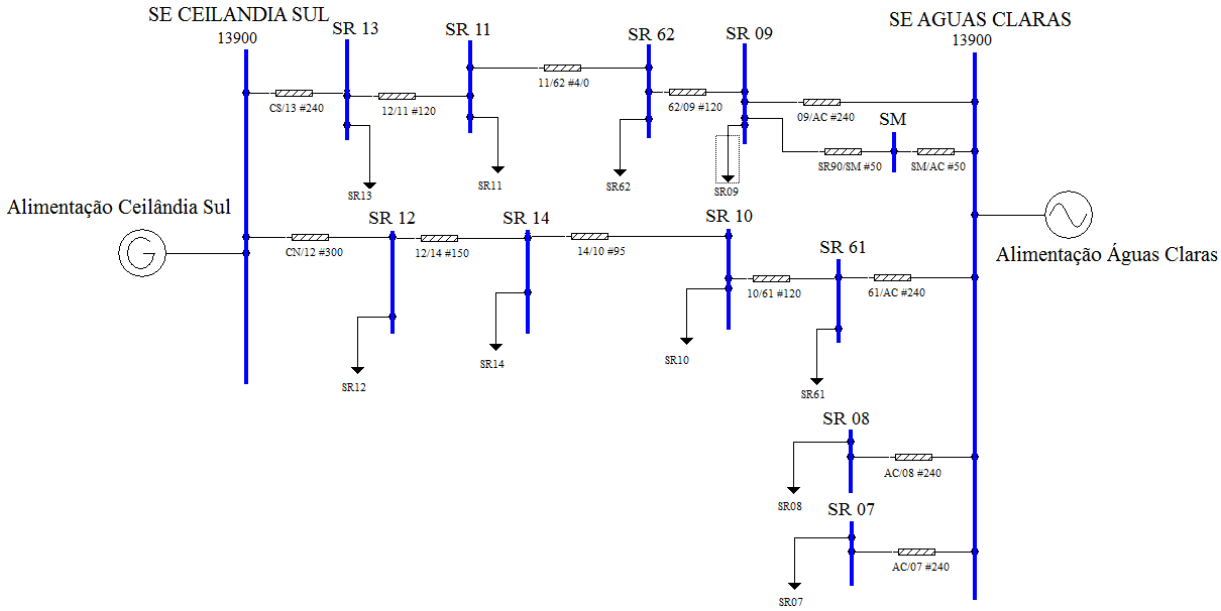


Figura 1 – Diagrama unifilar do sistema Metrô-DF, Anel Ceilândia Sul/Águas Claras para operação normal.

Obs.: Tensão de referência utilizada na simulação é de 13,9kV, conforme Tabela 4.

2.7.2 Anel Ceilândia Sul/Águas Claras Operação em Contingência

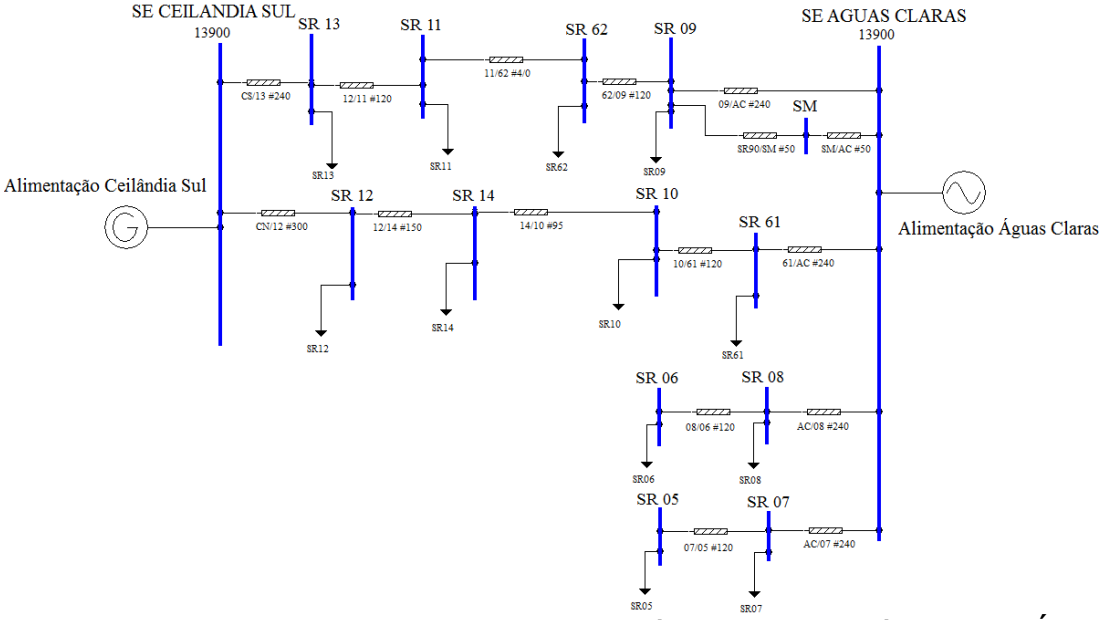


Figura 2 – Diagrama unifilar do sistema Metrô-DF, Anel Ceilândia Sul/Águas Claras para operação em contingência.

Obs.: Tensão de referência utilizada na simulação é de 13,9kV, conforme Tabela 4.

2.7.3 Anel Brasília Centro/Hípica Operação Normal

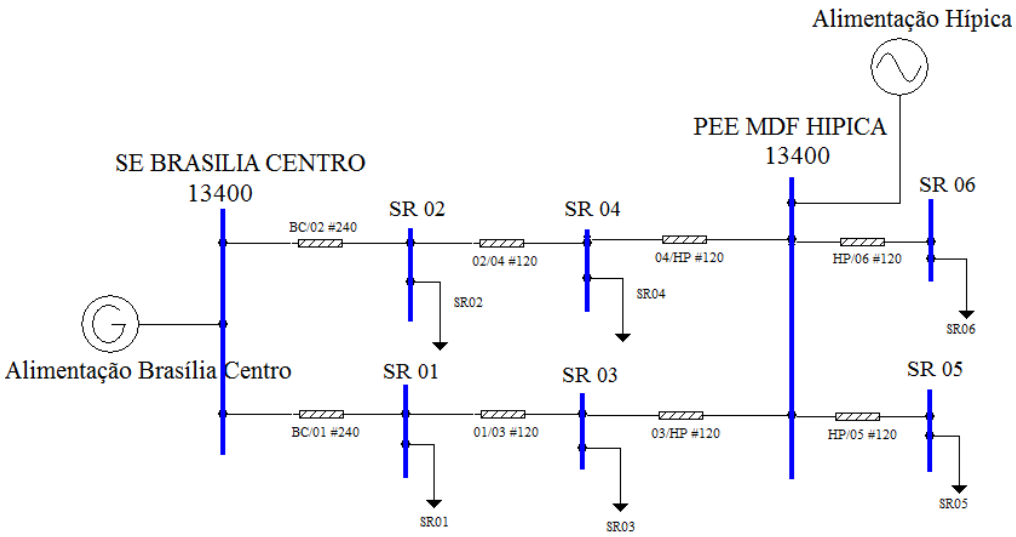


Figura 3 – Diagrama unifilar do sistema Metrô-DF, Anel Brasília Centro/Hípica para operação normal.

Obs.: Tensão de referência utilizada na simulação é de 13,4kV, conforme Tabela 4.

2.7.4 Anel Brasília Centro/Hípica Operação em Contingência

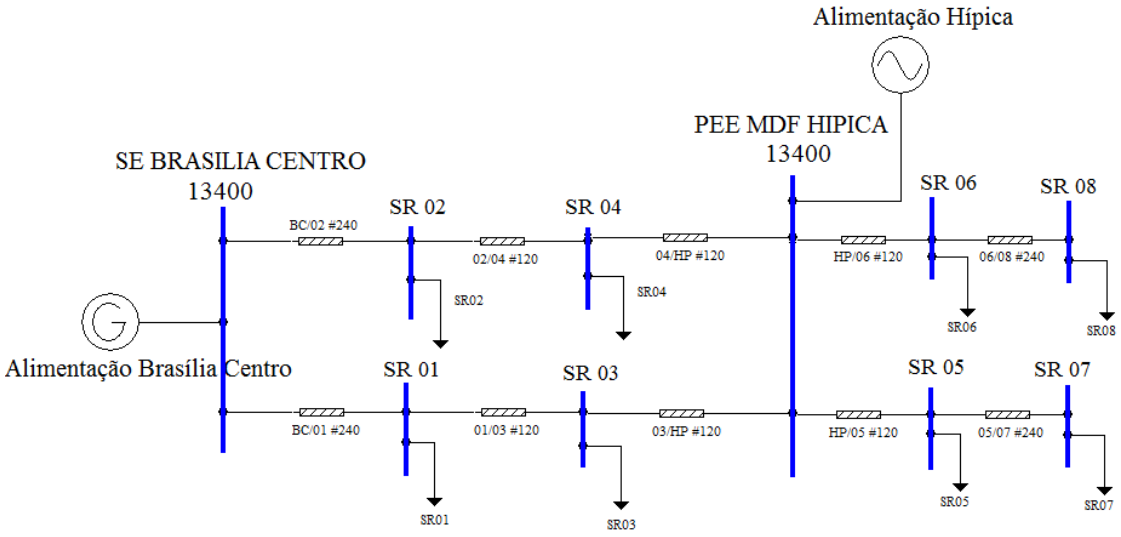


Figura 4 – Diagrama unifilar do sistema Metrô-DF, Anel Brasília Centro/Hípica para operação em contingência.

Obs.: Tensão de referência utilizada na simulação é de 13,4kV, conforme Tabela 4.

3 METODOLOGIA DE CÁLCULO

Para estudar o fluxo harmônico na Rede de Alimentação para os trechos em expansão foi elaborado um estudo com base na teoria para cálculo de distorções harmônicas e compensação reativa e como ferramenta de cálculo utiliza-se o programa computacional PQF (Power Quality Filter).

3.1 Teoria de Cálculo de Filtros de Harmônicos Passivos e Compensação Reativo

A teoria aplicada neste estudo está apresentada no anexo I deste relatório sendo estruturada da seguinte forma:

a) Introdução geral do estudo
b) Definição e Classificação dos Filtros de Harmônicos
c) Filtros Passivos Sintonizados
   - ✓ Comportamento da Energia
   - ✓ Fator de Qualidade
   - ✓ Dessintonia
d) Filtros Passivos Amortecidos
   - ✓ Filtro Amortecido de 2ª Ordem
   - ✓ Filtro Amortecido de 3ª Ordem
   - ✓ Filtro Amortecido Tipo "C".
e) Procedimento Básico de Cálculo de Filtros Harmônicos

Os cálculos específicos são efetuados pelo programa computacional PQF (Power Quality Filter) com a metodologia exposta a seguir.

3.2 Metodologia do PQF

Os programas computacionais para estudos de fluxo harmônico utilizam, em geral, métodos de solução que se assemelham, em alguns casos, àqueles aplicados aos estudos de fluxo de carga tradicionais.

A estrutura geral seguida para a solução de tais estudos determina a necessidade da existência dos seguintes aspectos:

- ✓ Determinação das gerações de harmônicas de tensão e corrente do sistema; Neste caso utilizaram-se as medições realizadas em 2001 e 2014 nas SRs, que praticamente não se alteraram visto que não houve ampliação da carga.

- ✓ Representação apropriada dos componentes passivos do sistema para cada frequência harmônica considerada;

- ✓ Obtenção da matriz admitância para cada frequência harmônica;

- ✓ Utilização de um processo de solução para a equação matricial:

$$[V\ ]_h x[Y\ ]_h = [I\ ]_h$$

Onde:

[V]h = Vetor solução da equação;

[I]h = Vetor independente da equação;

[Y]h = Matriz dos coeficientes da equação;

h = Ordem harmônica em estudo.

Apresentação dos resultados de tensões harmônicas nas barras e correntes harmônicas nas linhas da rede elétrica em estudo.

Tais programas têm como principais objetivos:

a) O cálculo das impedâncias harmônicas do sistema, ou seja, das impedâncias de cada barra do sistema (também chamadas impedâncias próprias) e das impedâncias entre os pontos de injeção e barras predeterminadas do sistema (impedâncias de transferência);

b) O cálculo do fluxo harmônico nas linhas do sistema, fornecendo como resultado final, valores de tensão e corrente para cada frequência harmônica especificada;

c) Determinar pontos de ressonância harmônica (paralela) e barramentos com níveis de distorção de tensão acima dos recomendados por norma.

Os programas computacionais de fluxo harmônico devem ser supridos com as seguintes informações (Parâmetros do Sistema):

a) Ordens harmônicas a serem estudadas, frequência nominal do sistema;

b) Parâmetros de Linhas de Transmissão, Distribuição e Cabos Alimentadores, Transformadores, Bancos de Capacitores, Reatores, Filtros, Cargas Shunt;

c) Parâmetros de Geradores, Compensadores Síncronos;

d) A geração harmônica existente no sistema em estudo.

Para cada ordem harmônica, o programa constrói, a partir dos dados de entrada, uma matriz admitância complexa e armazena na forma de vetor. A seguir é utilizada uma técnica para resolução de equações matriciais, sem que haja a necessidade da inversão desta matriz. Esse procedimento facilita bastante a solução destas equações.

Tal técnica, denominada de "Eliminação de Gauss", aplica transformações elementares na matriz admitância e no vetor independente, reduzindo tal matriz à matriz unidade e transformando este vetor independente em vetor solução.

A "Eliminação de Gauss" promove um ganho bastante significativo no que se refere ao tempo computacional de processamento, principalmente para grandes sistemas com um elevado número de barramentos e de linhas (ramos).

3.3 Características do Programa PQF

Para a utilização do programa computacional de fluxo harmônico PQF, os diversos componentes dos sistemas elétricos foram implementados intrinsecamente, através dos vários modelos existentes na literatura especializada para cada um destes componentes. Assim sendo temos:

- ✓ Transformadores: 05 Modelos;
- ✓ Geradores: 04 Modelos;
- ✓ Filtros: 05 Modelos;
- ✓ Cargas: 03 Modelos.

Quanto a questão da injeção de componentes harmônicas, além do programa admitir a incorporação de correntes e/ou tensões harmônicas geradas, extraídas através de medições em campo, o mesmo permite a simulação de fontes geradoras de harmônicos (cargas elétricas especiais), ou seja, permite obter o conteúdo harmônico gerado por uma determinada carga não-linear sem a necessidade de medições em campo.

Estas fontes, responsáveis pela injeção harmônica no sistema, são simuladas a partir dos parâmetros e condições operativas definidas para este tipo de carga, tais como:

- ✓ Sistemas Conversores Controlados: Podendo conter um ou mais conversores de 6 pulsos;
- ✓ Sistemas Conversores Semi-Controlados: Também podendo conter um ou mais conversores de 6 pulsos individualmente representados;
- ✓ Fornos à Arco: Cujos os harmônicos são gerados através de processos estatísticos;
- ✓ Reatores Controlados a Tiristores (RCT): Podendo-se representar sistemas com qualquer número de pulsos;
- ✓ Reatores a Núcleo Saturado (RNS): Representando-se aos arranjos Twin-Triple.

Os dados de entrada estão associados aos parâmetros do sistema na frequência fundamental. Entre cada nó e o neutro, fontes geradoras de tensão ou corrente harmônica podem ser aplicadas. Cada fonte é especificada através da listagem de suas componentes harmônicas. Em nós (barras) onde existam cargas especiais geradoras de harmônicas (Conversores, Semi-Conversores, Fornos à Arco, RCT's e

RNS's) devem ser fornecidos ao sistema os dados de tais cargas, de modo a permitir o cálculo das componentes harmônicas geradas.

a) A tensão harmônica em cada nó (barra) especificado.

b) A corrente harmônica em cada ramo (linha) especificado.

c) As distorções harmônicas de tensão e corrente em cada nó ou ramo, respectivamente.

Como resultados opcionais tem-se ainda:

a) A impedância própria em cada ponto de injeção;

b) A impedância de transferência entre um ponto de injeção determinado e um nó (barra) desejado;

c) Um espectro gráfico tridimensional que fornece a amplitude de tensão e/ou corrente harmônica, em função da ordem harmônica e das barras do sistema;

d) Curva da Impedância em função frequência.

Limites Operacionais:

a) Número máximo de nós (barras): 200;

b) Número máximo de ramos (linhas): 400;

c) Máxima ordem harmônica: 50;

d) Número máximo de pontos de injeção: 25.

3.4 Processo Matemático:

A partir da entrada dos dados de um determinado sistema elétrico de potência com "n" barras e "m" pontos de injeção, para estudos de fluxo harmônico, os programas computacionais iniciam o processamento montando, para cada ordem harmônica, uma equação matricial do tipo:

$$[Y\ ]_h x[V\ ]_h = [I\ ]_h$$

Onde:

[V]h: Vetor de tensões harmônicas nas barras do sistema, p/ cada ordem h;

[Y]h: Matriz admitância nodal, para cada ordem h;

[I]h: Vetor injeção de correntes harmônicas para cada ordem h.

Uma outra forma de se expressar a equação matricial acima é dado pela seguinte expressão abaixo:

$$\begin{vmatrix} Y11 & Y12 & Y13 & ... & Y1n \\ Y21 & Y22 & Y23 & ... & Y2n \\ Y31 & Y32 & Y33 & ... & Y3n \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ Yn1 & Yn2 & Yn3 & ... & Ynn \end{vmatrix}_h \bullet \begin{vmatrix} Vb1 \\ Vb2 \\ Vb3 \\ . \\ . \\ . \\ Vnn \end{vmatrix}_h = \begin{vmatrix} Ib1 \\ Ib2 \\ Ib3 \\ . \\ . \\ . \\ Ibn \end{vmatrix}_h$$

Onde:

Vb1, Vb2, ..., Vbn: Tensões harmônicas nas barras do sistema elétrico;

Y11, Y22, ..., Ynn: Admitâncias próprias de cada barra do sistema;

Y12, Y13, ..., Ymn: Admitâncias entre as barras do sistema;

h: Ordem harmônica em questão.

Deve ser observado que os valores de corrente para as barras onde não existem pontos de injeção harmônica deverão ser nulos. Uma das maneiras de se resolver o sistema apresentado na equação matricial acima, ocorre através da obtenção da Matriz Inversa diretamente. Isto, no entanto, seria impraticável quando a matriz Y possuir dimensões elevadas. Essa dificuldade decorre do fato de que, apesar da matriz Y ser geralmente esparsa nos problemas relacionados com sistemas elétricos, a sua matriz inversa, em geral, é uma matriz cheia.

Tal fato leva, para a solução de sistemas com elevado número de barras e linhas, a um tempo computacional bastante significativo.Para contornar tal problema, adotam-se, em geral, as técnicas de fatoração triangular de matrizes esparsas, utilizadas na resolução de sistemas lineares. Uma das técnicas mais utilizadas se chama "Eliminação de Gauss".

3.4.1 Eliminação De Gauss:

É um dos métodos adotados para solução de equações matriciais semelhantes à acima descrita. Tal método pode ser dividido em três etapas:
1ª Etapa: São zerados os elementos do triângulo inferior da matriz dos coeficientes, ou seja, matriz Y. Isto é conseguido pelas combinações lineares efetuadas nas linhas do sistema matricial, como mostrado a seguir.

$$\begin{vmatrix} Y11 & Y12 & Y13 & \dots & Y1n \\ 0 & Y22 & Y23 & \dots & Y2n \\ 0 & 0 & Y33 & \dots & Y3n \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \dots & Ynn \end{vmatrix}_h \bullet \begin{vmatrix} Vb1 \\ Vb2 \\ Vb3 \\ . \\ . \\ . \\ Vnn \end{vmatrix}_h = \begin{vmatrix} Ib1' \\ Ib2' \\ Ib3' \\ . \\ . \\ . \\ Ibn' \end{vmatrix}_h$$

2ª Etapa: Os elementos da diagonal principal, da matriz Y, são feitos iguais a 01, dividindo-se cada elemento da equação pelo elemento correspondente da diagonal principal. Deste procedimento resulta a equação mostrada a seguir:

$$\begin{vmatrix} 1 & Y12 & Y13 & \dots & Y1n \\ 0 & 1 & Y23 & \dots & Y2n \\ 0 & 0 & 1 & \dots & Y3n \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix}_h \bullet \begin{vmatrix} Vb1 \\ Vb2 \\ Vb3 \\ . \\ . \\ . \\ Vnn \end{vmatrix}_h = \begin{vmatrix} Ib1'' \\ Ib2'' \\ Ib3'' \\ . \\ . \\ . \\ Ibn'' \end{vmatrix}_h$$

3ª Etapa: Nesta etapa são zerados os elementos do triângulo superior, através de combinações lineares efetuadas nas linhas do sistema de equações. Essa operação transforma a matriz Y numa matriz identidade, conforme ilustrado a seguir:

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix}_h \bullet \begin{vmatrix} Vb1 \\ Vb2 \\ Vb3 \\ . \\ . \\ . \\ Vnn \end{vmatrix}_h = \begin{vmatrix} Ib1''' \\ Ib2''' \\ Ib3''' \\ . \\ . \\ . \\ Ibn''' \end{vmatrix}_h$$

Portanto, tem-se finalmente como solução da equação matricial inicial, os valores obtidos no vetor independente da acima.

Obtido o vetor de tensões para a ordem harmônica em questão, pode-se agora obter as correntes harmônicas nos ramos, como pode ser visualizado na equação abaixo:

$$I_{h(ij)} = (V_{h(i)} - V_{h(j)}) x (y_{h(ij)})$$

Onde:

Iij: Corrente harmônica do ramo ij;

Vi: Tensão harmônica na barra i;

Vj: Tensão harmônica na barra j;

yij: Admitânica do ramo ij.

Desta forma, são obtidos para todo o sistema em análise as tensões e correntes harmônicas nos barramentos e nos ramos, respectivamente, permitindo uma análise do comportamento do sistema em estudo frente à circulação dos harmônicos no mesmo.

4 RESULTADOS DO FLUXO DE CARGA – COMPATIBILIDADE

Para a realização da modelagem do sistema elétrico do Metrô-DF (Anel Ceilândia Sul/Águas Claras e Anel Brasília Centro/Hípica) admiti-se que os valores de simulação apresentados no relatório de fluxo de carga RT.4/EX.99/00.014. representam a operação real do sistema. Portanto, o resultado das simulações de fluxo de carga no software *PQF* deve ser aproximadamente igual ao relatório supracitado.

A Tabela abaixo apresenta os resultados do fluxo de carga da modelagem do sistema Metrô-DF.

Tabela 11 – Fluxo de Carga nas SEs/PEE do sistema existente do Metrô-DF

SEs/PEEs	P (kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	V(kVL-L RMS)	I(ARMS)
SE CEILÂNDIA SUL	10528,88	4397,29	11410,24	13,798	477,08
SE ÁGUAS CLARAS	21692,72	6516,72	22650,19	13,900	940,80
SE BRASILIA CENTRO	5298,72	2789,31	5988,05	13,345	259,04
PEE HÍPICA	12772,22	4221,16	13451,68	13,400	579,58

A tabela acima valida a modelagem das cargas realizadas pelo estudo de fluxo de carga e confirmada pelo estudo de fluxo de harmônios com os modelos existentes em cada um dos softwares utilizados, visto que os valores de potências, tensões e correntes nos PEEs estão aproximadamente iguais ao fluxo de carga apresentado no relatório RT.4/EX.99/00.014.

5 RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASOS

As simulações para as configurações em anel existentes contemplam o estudo de harmônicos considerando os casos conforme a Tabela 12 abaixo:

Tabela 12 – Casos de Estudo de Harmônicos

1º Caso	Atual: Sem Filtro
2º Caso	Atual: Com Filtro Sintonizado 5ª, 7ª e 11ª ordem
3º Caso	Futuro: Com Filtro Sintonizado 5ª, 7ª e 11ª ordem
4º Caso	Atual: Sem Filtro Contingência
5º Caso	Atual: Com Filtro Sintonizado 5ª, 7ª e 11ª ordem Contingência
6º Caso	Futuro: Com Filtro Sintonizado 5ª, 7ª e 11ª ordem Contingência

Observação: Para o 3º e 6º Caso, Futuro, considera-se um crescimento de carga de 100%, correspondente a um crescimento de 3,5% ao ano, durante 20 anos.

5.1 Anel Ceilândia Sul/Águas Claras

5.1.1 1º Caso – Anel Ceilândia Sul/Águas Claras: Situação Atual Sem Filtros

As figuras abaixo apresentam o unifilar considerando as injeções de corrente harmônicas do Metrô-DF e residências alimentadas pela mesma barra e a distorção harmônica total de tensão em todas as barras do anel.

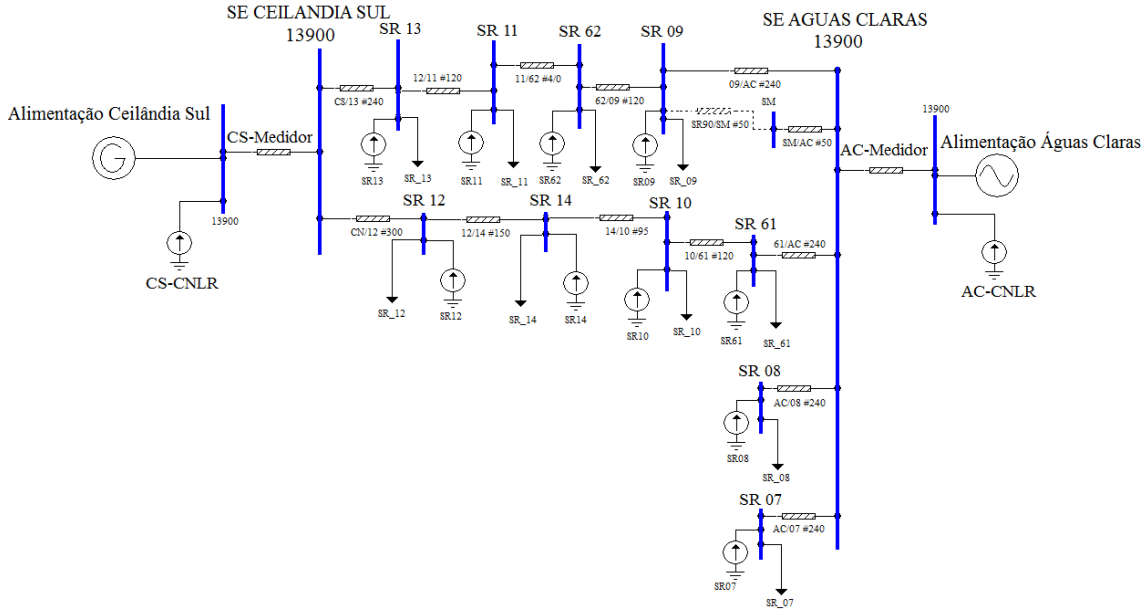


Figura 5 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas, sem filtro.

Onde:
CS-CNLR: Ceilândia Sul – Cargas Não Lineares Residenciais;
CS-Medidor: Ceilândia Sul – Ponto de Medição;
AC-CNLR: Águas Claras – Cargas Não Lineares Residenciais;
AC-Medidor: Águas Claras – Ponto de Medição;

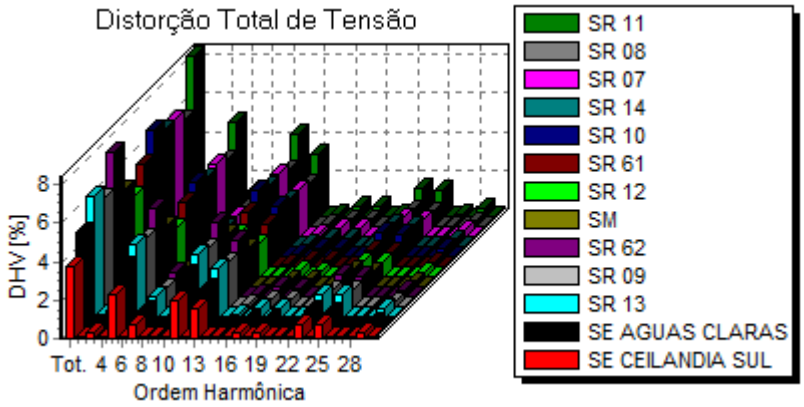
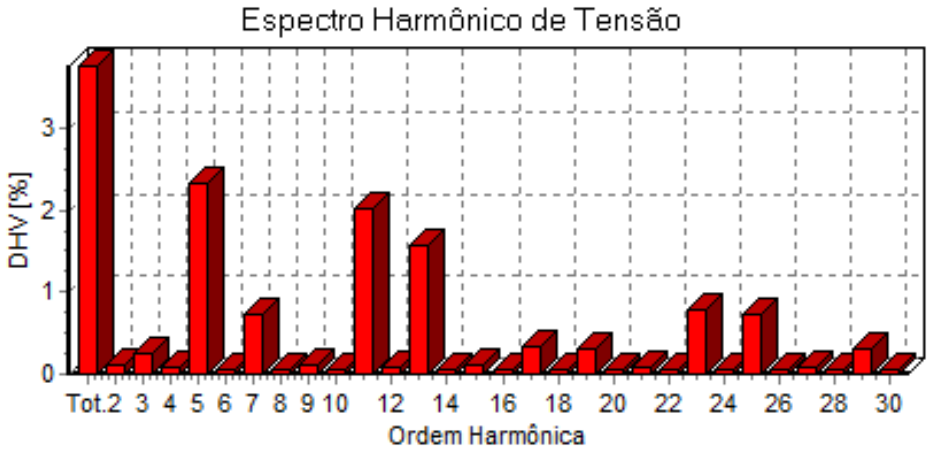


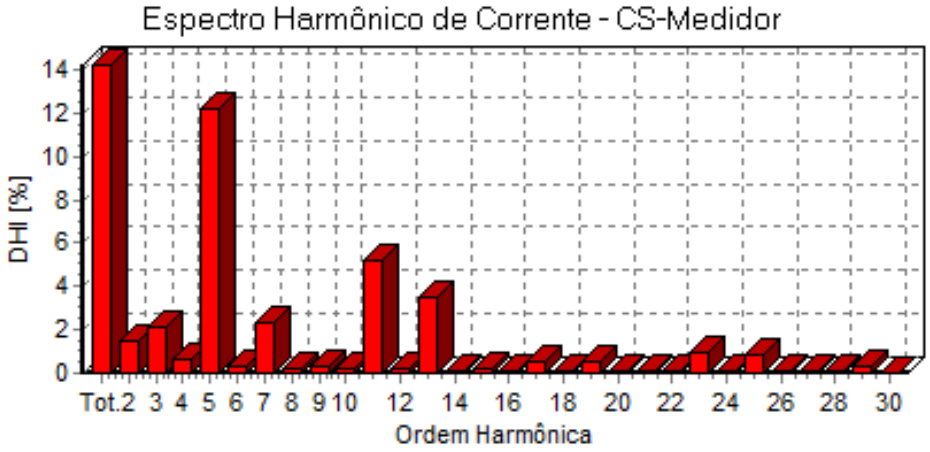
Figura 6 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras.

5.1.1.1 Resultados na SE Ceilândia Sul

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE CS e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 7 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente CS_AC - Atual Sem Filtros			
Nome do Elemento:	CS-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13802,67 [V]		
DHVtotal:	3,78 [%]		
Corrente			
Eficaz:	479,27 [A]		
DHItotal:	14,22 [%]		
Potência			
Ativa Total:	10528,59 [kW]	**Ativa Fund.:**	10529,08 [kW]
Reativa Total:	4144,08 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	4199,61 [kVAr]
Aparente Tot.:	11457,98 [kVA]	**Aparente Fund.:**	11335,70 [kVA]
Distorção	1805,75 [kVAd]		
FP Total:	0,919	**FP Fund.:**	0,929

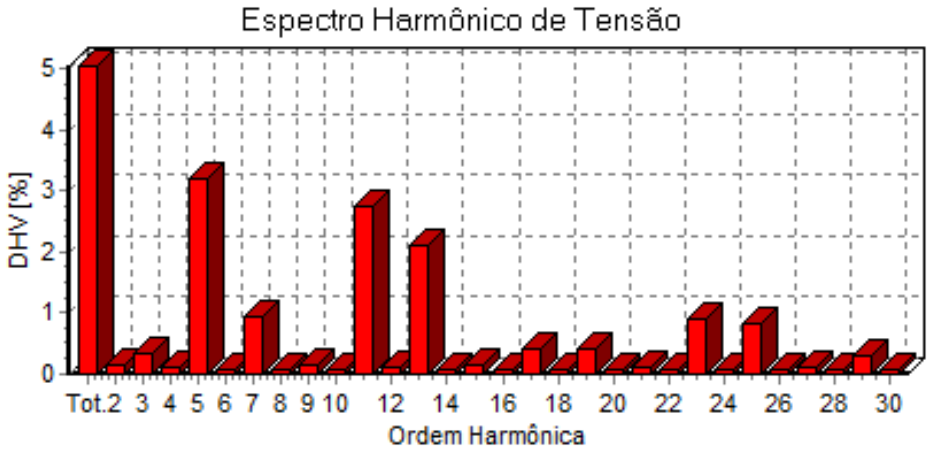
Página 1

Figura 8 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

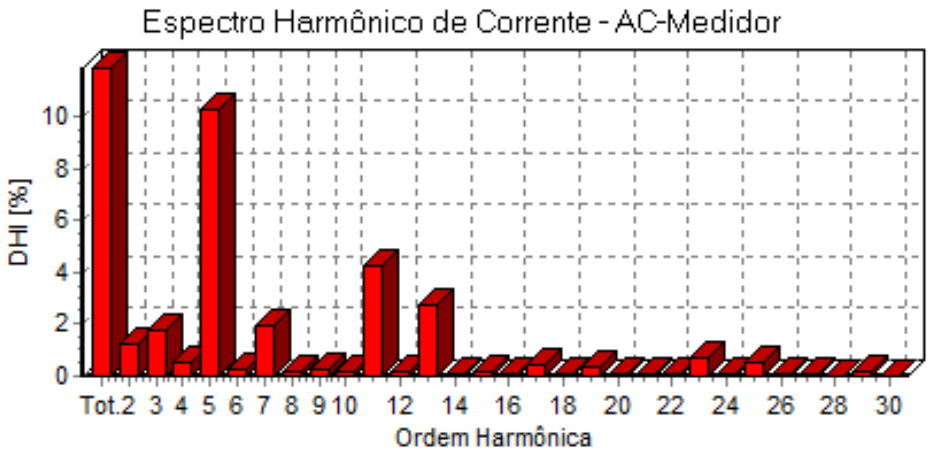
Observa-se que o fator de potência de 0,919 na SE CS está fora dos limites recomendados pelo PRODIST, porém a distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 3,78 está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.1.1.2 Resultados na SE Águas Claras

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE AC e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 9 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente CS_AC - Atual Sem Filtros			
Nome do Elemento:	AC-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13917,76 [V]		
DHVtotal:	5,06 [%]		
Corrente			
Eficaz:	943,27 [A]		
DHItotal:	11,88 [%]		
Potência			
Ativa Total:	21695,62 [kW]	**Ativa Fund.:**	21696,68 [kW]
Reativa Total:	6025,33 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	6148,89 [kVAr]
Aparente Tot.:	22738,71 [kVA]	**Aparente Fund.:**	22551,16 [kVA]
Distorção	3169,29 [kVAd]		
FP Total:	0,954	**FP Fund.:**	0,962

Figura 10 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

Observa-se que o fator de potência de 0,954 na SE AC está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. A distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 5,06% está acima do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.1.2 2º Caso – Anel Ceilândia Sul/Águas Claras: Situação Atual Com Filtros de 5ª, 7ª e 11ª ordem

As figuras abaixo apresentam o unifilar considerando as injeções de corrente harmônicas do Metrô-DF e residências alimentadas pela mesma barra e a distorção harmônica total de tensão em todas as barras do anel.

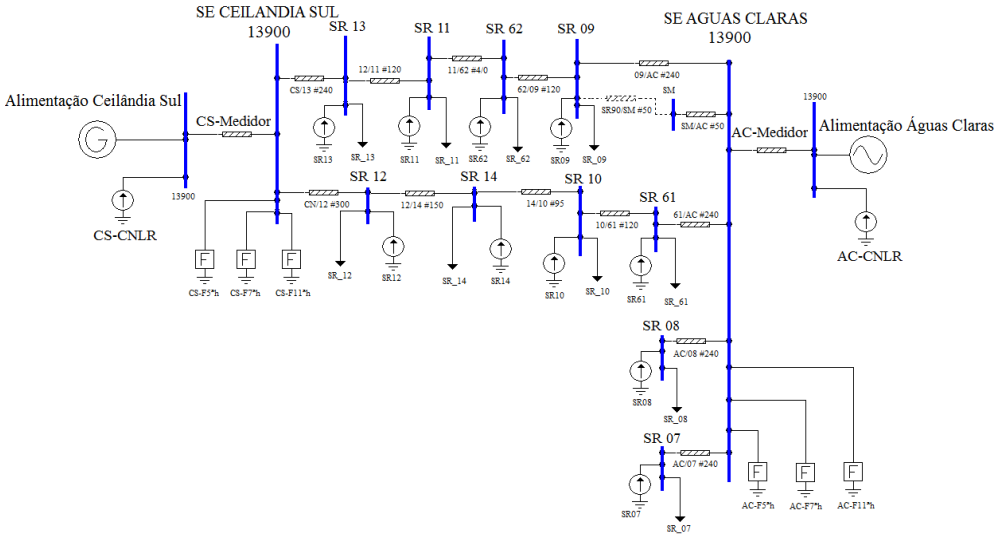


Figura 11 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas e filtros.

Onde:
CS-CNLR: Ceilândia Sul – Cargas Não Lineares Residenciais;
CS-F5ªh: Ceilândia Sul – Filtro de Quinta harmônica;
CS-F7ªh: Ceilândia Sul – Filtro de Sétima harmônica;
CS-F11ªh: Ceilândia Sul – Filtro de Décima Primeira harmônica;
CS-Medidor: Ceilândia Sul – Ponto de Medição;
AC-CNLR: Águas Claras – Cargas Não Lineares Residenciais;
AC-F5ªh: Águas Claras – Filtro de Quinta harmônica;
AC-F7ªh: Águas Claras – Filtro de Sétima harmônica;
AC-F11ªh: Águas Claras – Filtro de Décima Primeira harmônica;
AC-Medidor: Águas Claras – Ponto de Medição;

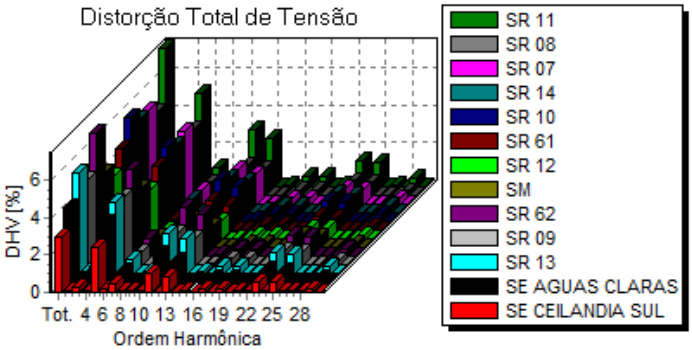
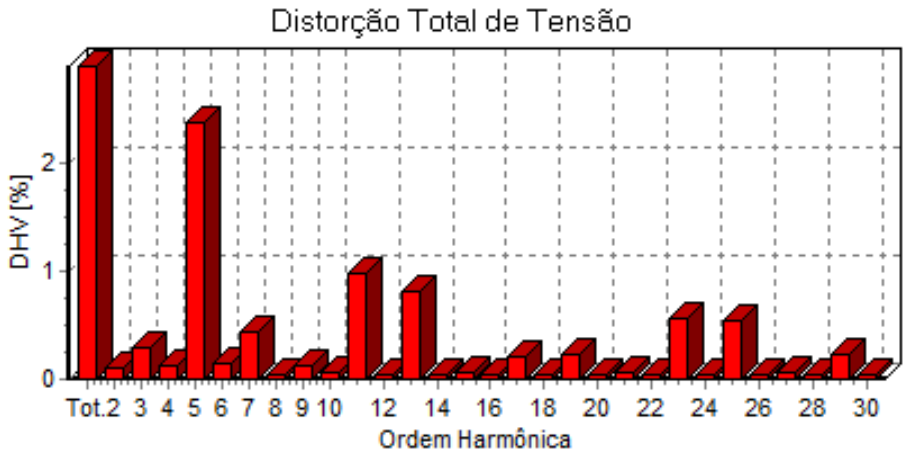


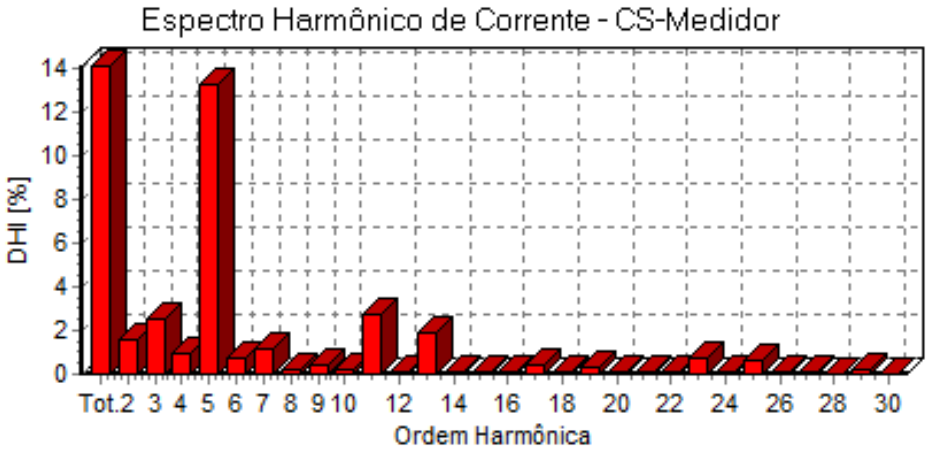
Figura 12 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras.

5.1.2.1 Resultados na SE Ceilândia Sul

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE CS e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 13 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente CS_AC - Atual Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª			
Nome do Elemento:	CS-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13905,94 [V]		
DHVtotal:	2,92 [%]		
Corrente			
Eficaz:	450,50 [A]		
DHItotal:	14,24 [%]		
Potência			
Ativa Total:	10528,64 [kW]	**Ativa Fund.:**	10529,06 [kW]
Reativa Total:	2065,13 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	2107,02 [kVAr]
Aparente Tot.:	10850,71 [kVA]	**Aparente Fund.:**	10737,81 [kVA]
Distorção	1618,94 [kVAd]		
FP Total:	0,970	**FP Fund.:**	0,981

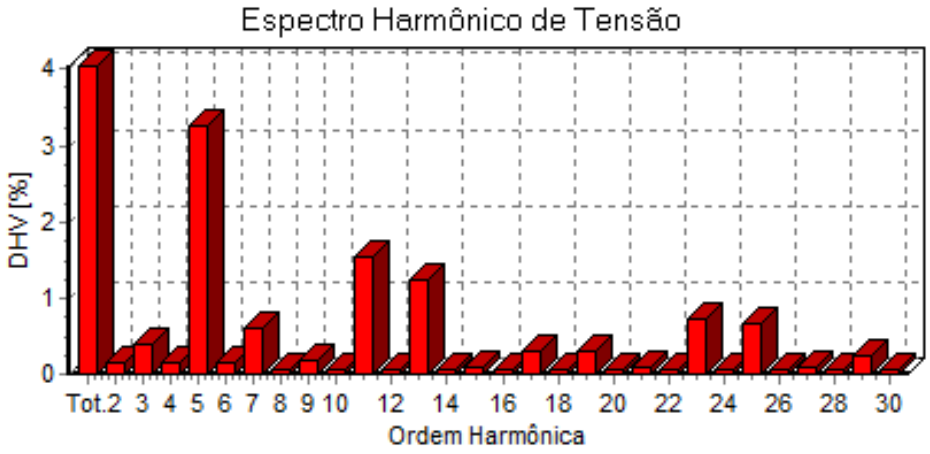
Página 1

Figura 14 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

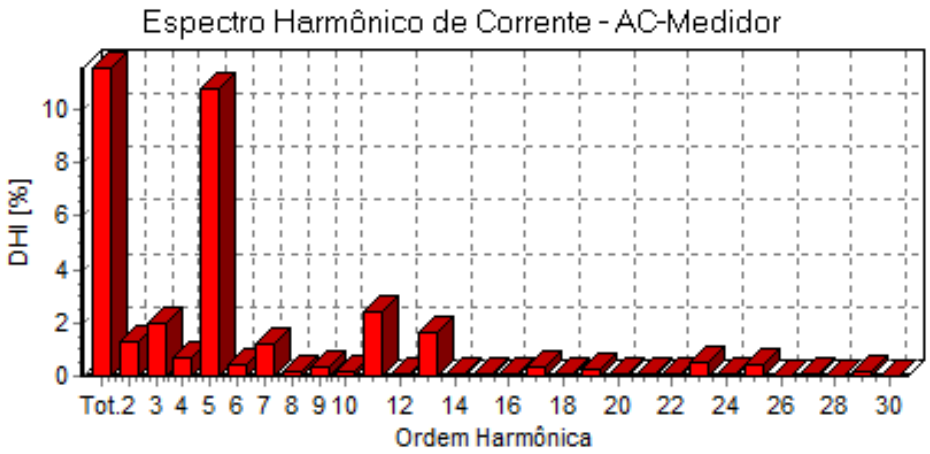
Observa-se que o fator de potência está indutivo, com valor de 0,970 na SE CS e está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. A distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 2,92% está menor comparado com o caso ATUAL SEM FILTRO e está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.1.2.2 Resultados na SE Águas Claras

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE AC e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 15 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente CS_AC - Atual Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª			
Nome do Elemento:	AC-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13911,36 [V]		
DHVtotal:	4,04 [%]		
Corrente			
Eficaz:	916,04 [A]		
DHItotal:	11,54 [%]		
Potência			
Ativa Total:	21721,53 [kW]	**Ativa Fund.:**	21722,38 [kW]
Reativa Total:	2754,97 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	2850,73 [kVAr]
Aparente Tot.:	22072,11 [kVA]	**Aparente Fund.:**	21908,64 [kVA]
Distorção	2786,24 [kVAd]		
FP Total:	0,984	**FP Fund.:**	0,991

Figura 16 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

Observa-se que o fator de potência está indutivo, com valor de 0,984 na SE AC e está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. A distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 4,04% está menor comparado com o caso ATUAL SEM FILTRO e está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.1.3 3º Caso – Anel Ceilândia Sul/Águas Claras: Situação Futura Com Filtros de 5ª, 7ª e 11ª ordem

As figuras abaixo apresentam o unifilar considerando as injeções de corrente harmônicas do Metrô-DF e residências alimentadas pela mesma barra e a distorção harmônica total de tensão em todas as barras do anel. Para este caso, considera-se uma perspectiva de crescimento de cargas residenciais de 100%.

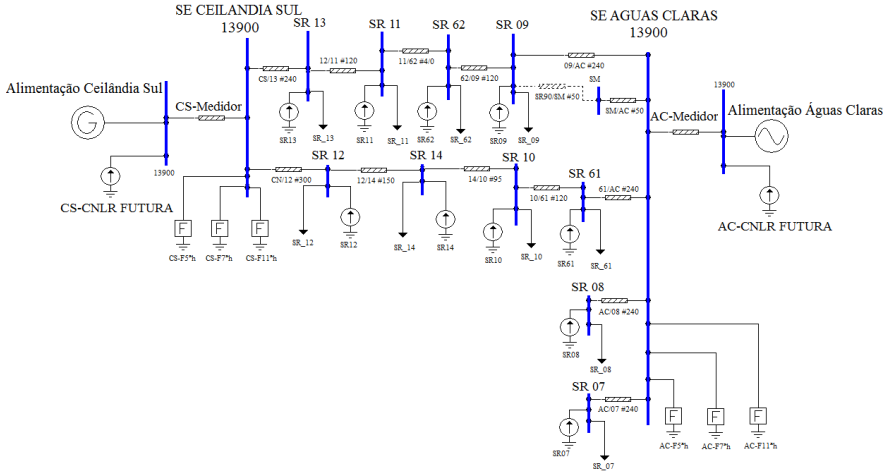


Figura 17 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas e filtros.

Onde:
CS-CNLR FUTURA: Ceilândia Sul – Cargas Não Lineares Residenciais Futuras;
CS-F5ªh: Ceilândia Sul – Filtro de Quinta harmônica;
CS-F7ªh: Ceilândia Sul – Filtro de Sétima harmônica;
CS-F11ªh: Ceilândia Sul – Filtro de Décima Primeira harmônica;
CS-Medidor: Ceilândia Sul – Ponto de Medição;
AC-CNLR FUTURA: Águas Claras – Cargas Não Lineares Residenciais Futuras;
AC-F5ªh: Águas Claras – Filtro de Quinta harmônica;
AC-F7ªh: Águas Claras – Filtro de Sétima harmônica;
AC-F11ªh: Águas Claras – Filtro de Décima Primeira harmônica;
AC-Medidor: Águas Claras – Ponto de Medição;

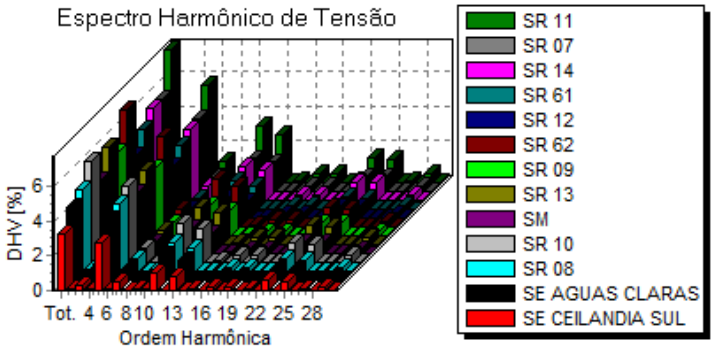
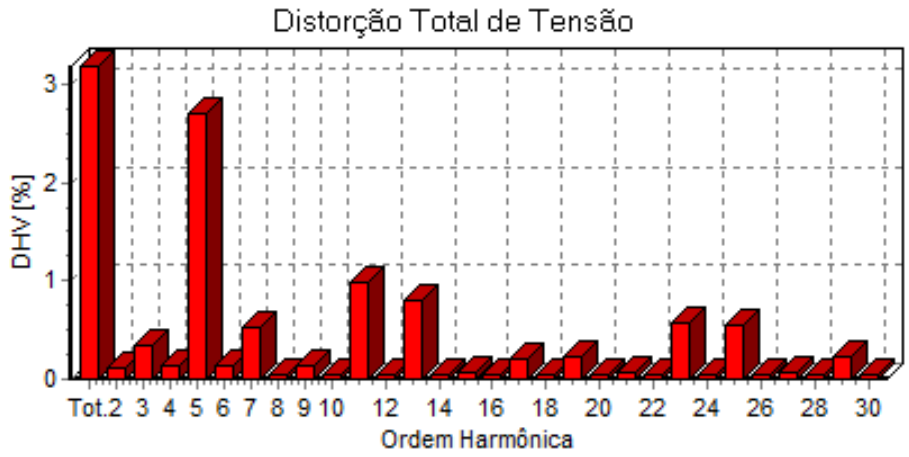


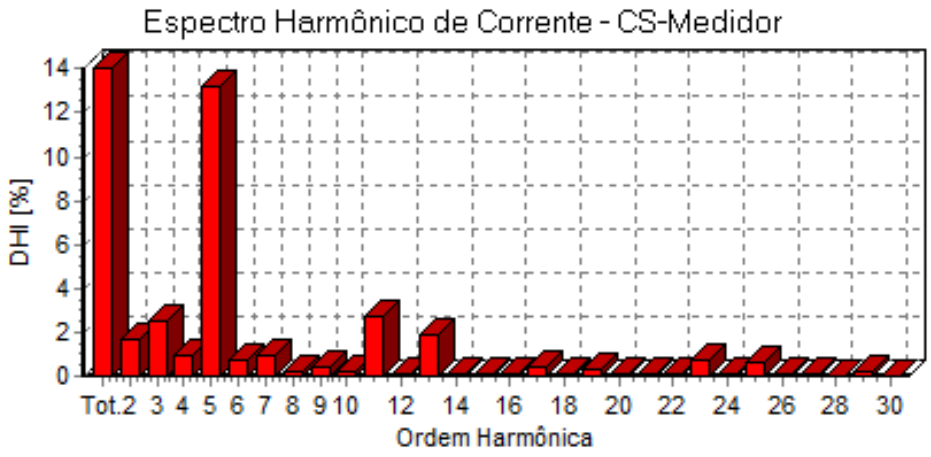
Figura 18 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras.

5.1.3.1 Resultados na SE Ceilândia Sul

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE CS e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 19 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente CS_AC - Futuro Com Filtro 5ª, 7ª e 11ª			
Nome do Elemento:	CS-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13907,14 [V]		
DHVtotal:	3,21 [%]		
Corrente			
Eficaz:	450,43 [A]		
DHItotal:	14,13 [%]		
Potência			
Ativa Total:	10528,25 [kW]	**Ativa Fund.:**	10529,08 [kW]
Reativa Total:	2060,81 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	2107,04 [kVAr]
Aparente Tot.:	10850,01 [kVA]	**Aparente Fund.:**	10737,84 [kVA]
Distorção	1622,23 [kVAd]		
FP Total:	0,970	**FP Fund.:**	0,981

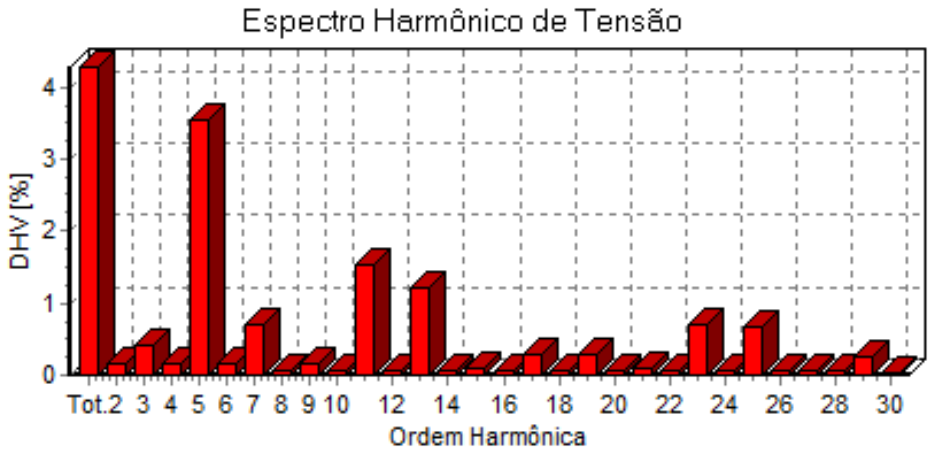
Página 1

Figura 20 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

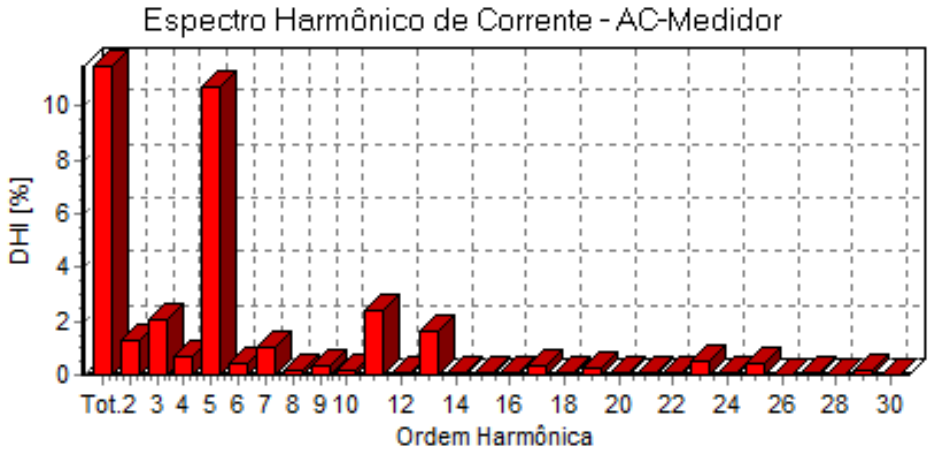
Observa-se que o fator de potência indutivo de 0,970 na SE CS está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. Em virtude do crescimento das cargas residenciais conectadas na SE AC a distorção harmônica total de tensão (DHTv%) atinge 3,21% e está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.1.3.2 Resultados na SE Águas Claras

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE AC e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 21 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente CS_AC - Futuro Com Filtro 5ª, 7ª e 11ª			
Nome do Elemento:	AC-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13912,75 [V]		
DHVtotal:	4,28 [%]		
Corrente			
Eficaz:	915,99 [A]		
DHItotal:	11,50 [%]		
Potência			
Ativa Total:	21721,26 [kW]	**Ativa Fund.:**	21722,38 [kW]
Reativa Total:	2748,56 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	2850,73 [kVAr]
Aparente Tot.:	22073,26 [kVA]	**Aparente Fund.:**	21908,64 [kVA]
Distorção	2803,74 [kVAd]		
FP Total:	0,984	**FP Fund.:**	0,991

Figura 22 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

Observa-se que o fator de potência está indutivo, com valor de 0,984 na SE AC e está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. Em virtude do crescimento das cargas residenciais conectadas na SE AC a distorção harmônica total de tensão (DHTv%) atinge 4,28% e está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.1.4 4º Caso – Anel Ceilândia Sul/Águas Claras Contingência: Situação Atual Sem Filtros

As figuras abaixo apresentam o unifilar considerando as injeções de corrente harmônicas do Metrô-DF e residências alimentadas pela mesma barra e a distorção harmônica total de tensão em todas as barras do anel.

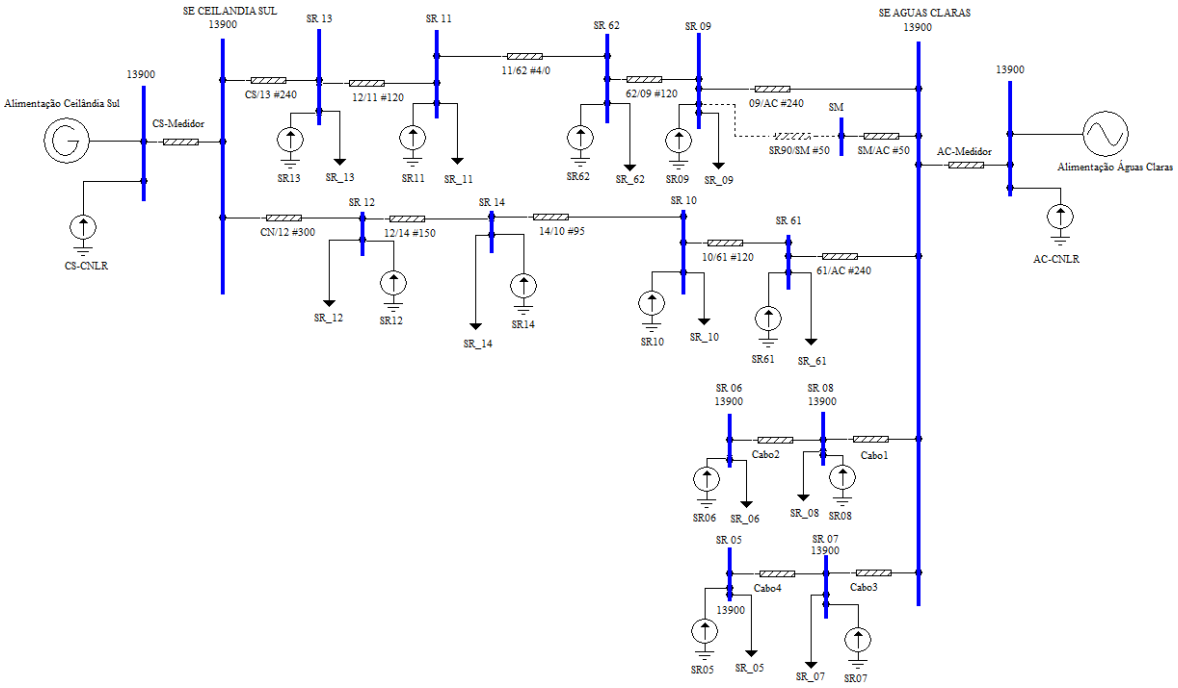


Figura 23 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas, sem filtro.

Onde:
CS-CNLR: Ceilândia Sul – Cargas Não Lineares Residenciais;
CS-Medidor: Ceilândia Sul – Ponto de Medição;
AC-CNLR: Águas Claras – Cargas Não Lineares Residenciais;
AC-Medidor: Águas Claras – Ponto de Medição;

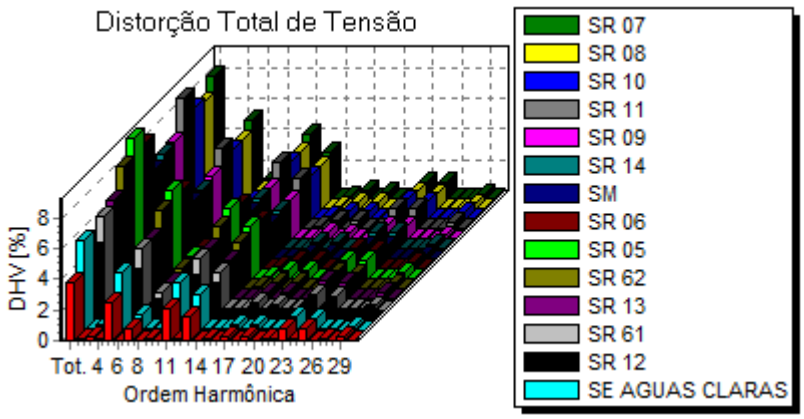
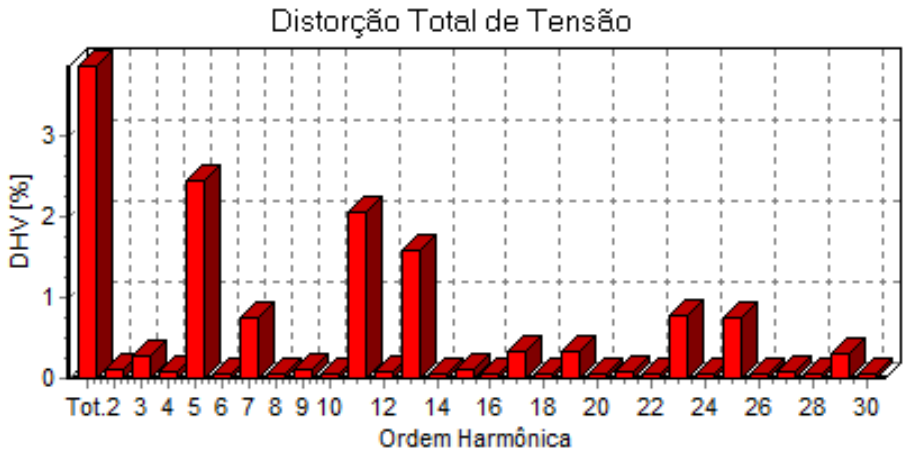


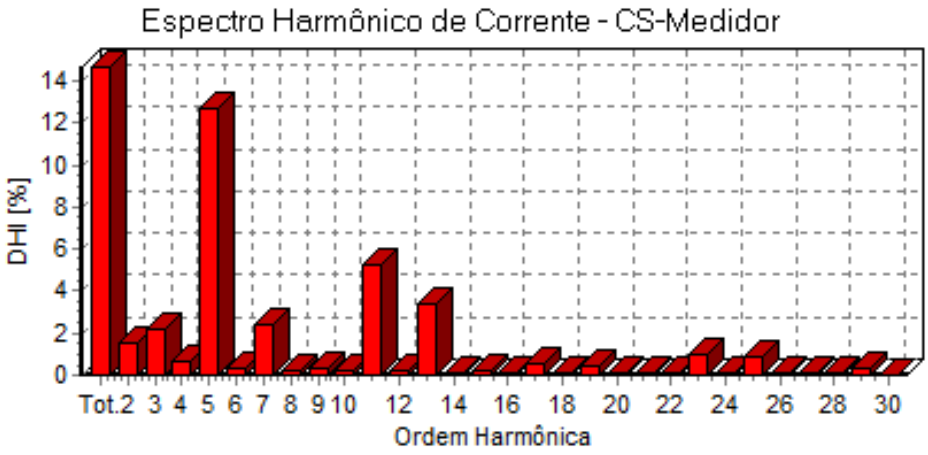
Figura 24 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras.

5.1.4.1 Resultados na SE Ceilândia Sul

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE CS e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 25 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente CS_AC - Atual Contingência SR05, SR06			
Nome do Elemento:	CS-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13910,31 [V]		
DHVtotal:	3,85 [%]		
Corrente			
Eficaz:	485,75 [A]		
DHItotal:	14,65 [%]		
Potência			
Ativa Total:	10528,60 [kW]	**Ativa Fund.:**	10529,09 [kW]
Reativa Total:	4739,51 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	4799,10 [kVAr]
Aparente Tot.:	11703,45 [kVA]	**Aparente Fund.:**	11571,22 [kVA]
Distorção	1912,21 [kVAd]		
FP Total:	0,900	**FP Fund.:**	0,910

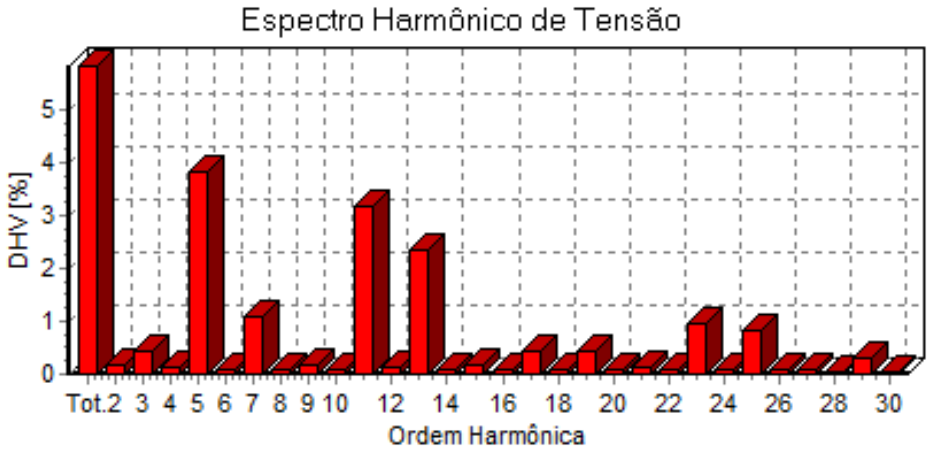
Página 1

Figura 26 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

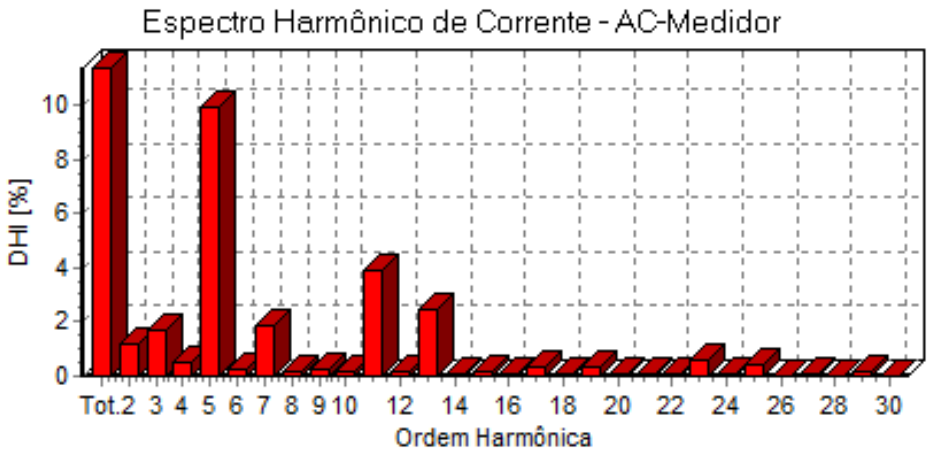
Observa-se que o fator de potência de 0,90 na SE CS está fora dos limites recomendados pelo PRODIST, porém a distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 3,85 está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.1.4.2 Resultados na SE Águas Claras

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE AC e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 27 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente CS_AC - Atual Contingência SR05, SR06			
Nome do Elemento:	AC-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13923,59 [V]		
DHVtotal:	5,83 [%]		
Corrente			
Eficaz:	1174,94 [A]		
DHItotal:	11,36 [%]		
Potência			
Ativa Total:	27101,81 [kW]	**Ativa Fund.:**	27102,80 [kW]
Reativa Total:	7273,30 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	7443,90 [kVAr]
Aparente Tot.:	28335,39 [kVA]	**Aparente Fund.:**	28106,47 [kVA]
Distorção	3935,14 [kVAd]		
FP Total:	0,956	**FP Fund.:**	0,964

Figura 28 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

Observa-se que o fator de potência de 0,956 na SE AC está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. Porém, a distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 5,83% está acima do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.1.5 5º Caso – Anel Ceilândia Sul/Águas Claras Contingência: Situação Atual Com Filtros de 5ª, 7ª e 11ª ordem

As figuras abaixo apresentam o unifilar considerando as injeções de corrente harmônicas do Metrô-DF e residências alimentadas pela mesma barra e a distorção harmônica total de tensão em todas as barras do anel.

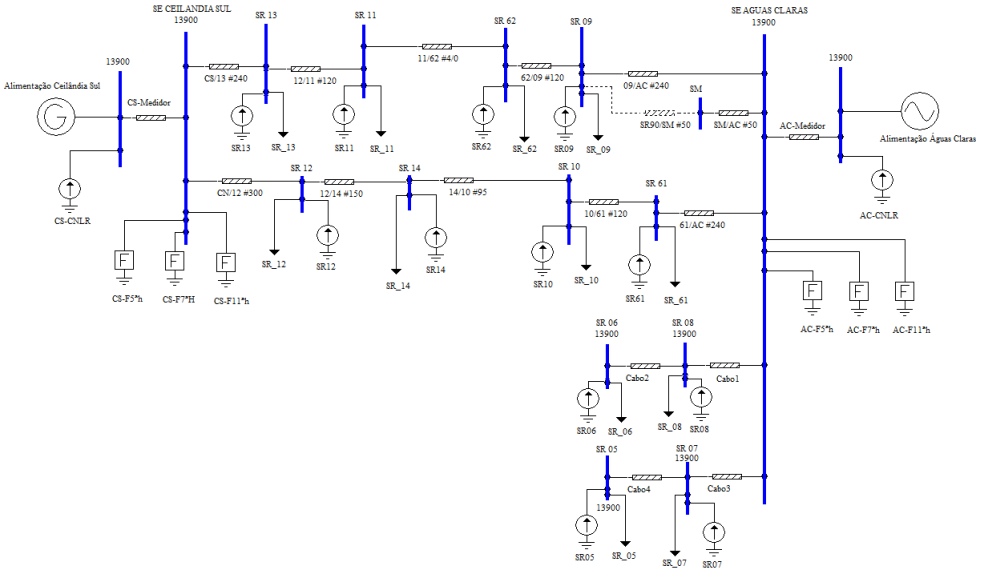


Figura 29 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas e filtros.

Onde:
CS-CNLR: Ceilândia Sul – Cargas Não Lineares Residenciais;
CS-F5ªh: Ceilândia Sul – Filtro de Quinta harmônica;
CS-F7ªh: Ceilândia Sul – Filtro de Sétima harmônica;
CS-F11ªh: Ceilândia Sul – Filtro de Décima Primeira harmônica;
CS-Medidor: Ceilândia Sul – Ponto de Medição;
AC-CNLR: Águas Claras – Cargas Não Lineares Residenciais;
AC-F5ªh: Águas Claras – Filtro de Quinta harmônica;
AC-F7ªh: Águas Claras – Filtro de Sétima harmônica;
AC-F11ªh: Águas Claras – Filtro de Décima Primeira harmônica;
AC-Medidor: Águas Claras – Ponto de Medição;

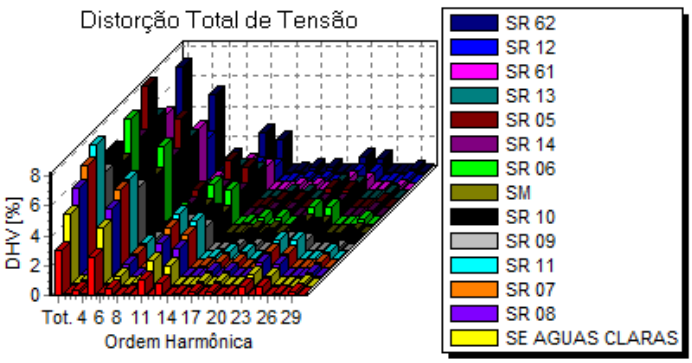
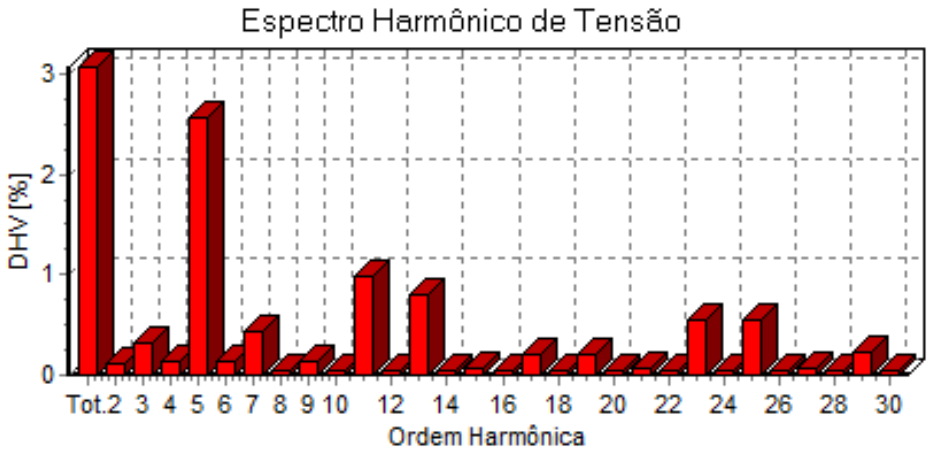


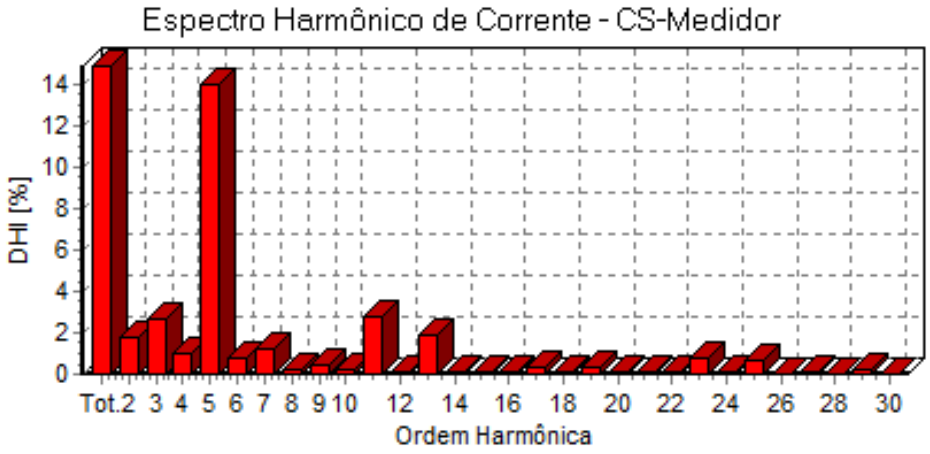
Figura 30 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras.

5.1.5.1 Resultados na SE Ceilândia Sul

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE CS e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 31 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente CS_AC - Atual Com Filtros 5ª, 7ª e 11ªh - Contingência SR05, SR06			
Nome do Elemento:	CS-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13906,56 [V]		
DHVtotal:	3,07 [%]		
Corrente			
Eficaz:	450,92 [A]		
DHItotal:	14,88 [%]		
Potência			
Ativa Total:	10528,61 [kW]	**Ativa Fund.:**	10529,08 [kW]
Reativa Total:	2060,66 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	2107,04 [kVAr]
Aparente Tot.:	10861,22 [kVA]	**Aparente Fund.:**	10737,83 [kVA]
Distorção	1693,56 [kVAd]		
FP Total:	0,969	**FP Fund.:**	0,981

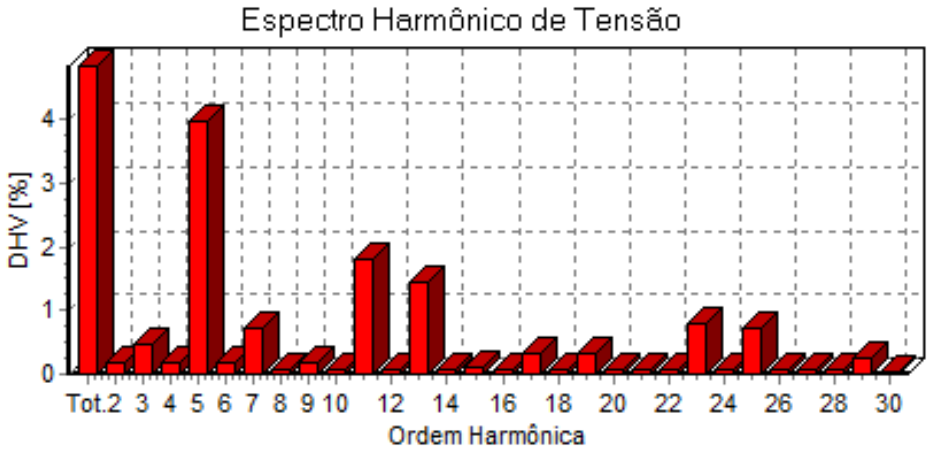
Página 1

Figura 32 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

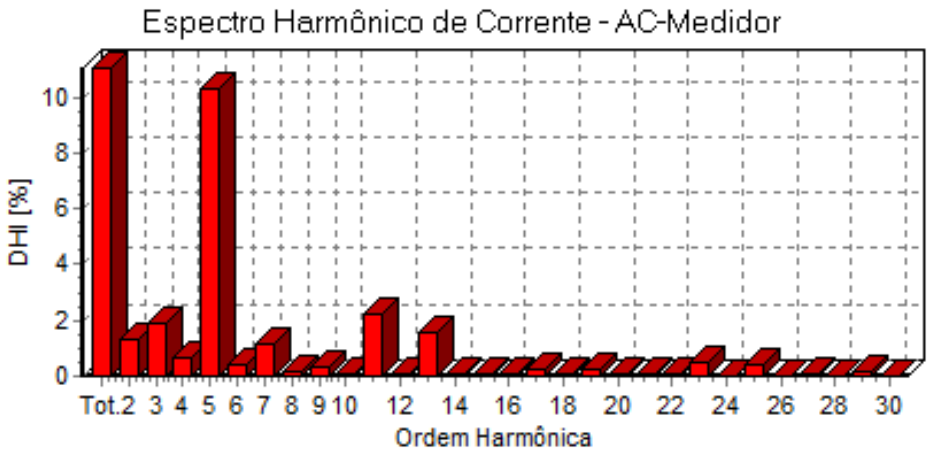
Observa-se que o fator de potência está indutivo, com valor de 0,964 na SE CS e está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. A distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 3,07% e está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.1.5.2 Resultados na SE Águas Claras

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE AC e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 33 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente CS_AC - Atual Com Filtros 5ª, 7ª e 11ªh - Contingência SR05, SR06			
Nome do Elemento:	AC-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13916,21 [V]		
DHVtotal:	4,83 [%]		
Corrente			
Eficaz:	1150,52 [A]		
DHItotal:	11,05 [%]		
Potência			
Ativa Total:	27120,49 [kW]	**Ativa Fund.:**	27121,29 [kW]
Reativa Total:	4598,12 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	4736,52 [kVAr]
Aparente Tot.:	27731,56 [kVA]	**Aparente Fund.:**	27531,78 [kVA]
Distorção	3517,87 [kVAd]		
FP Total:	0,978	**FP Fund.:**	0,985

Figura 34 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

Observa-se que o fator de potência está indutivo, com valor de 0,978 na SE AC e está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. A distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 4,83% está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.1.6 6º Caso – Anel Ceilândia Sul/Águas Claras Contingência: Situação Futura Com Filtros de 5ª, 7ª e 11ª ordem

As figuras abaixo apresentam o unifilar considerando as injeções de corrente harmônicas do Metrô-DF e residências alimentadas pela mesma barra e a distorção harmônica total de tensão em todas as barras do anel. Para este caso, considera-se uma perspectiva de crescimento de cargas residenciais de 100%.

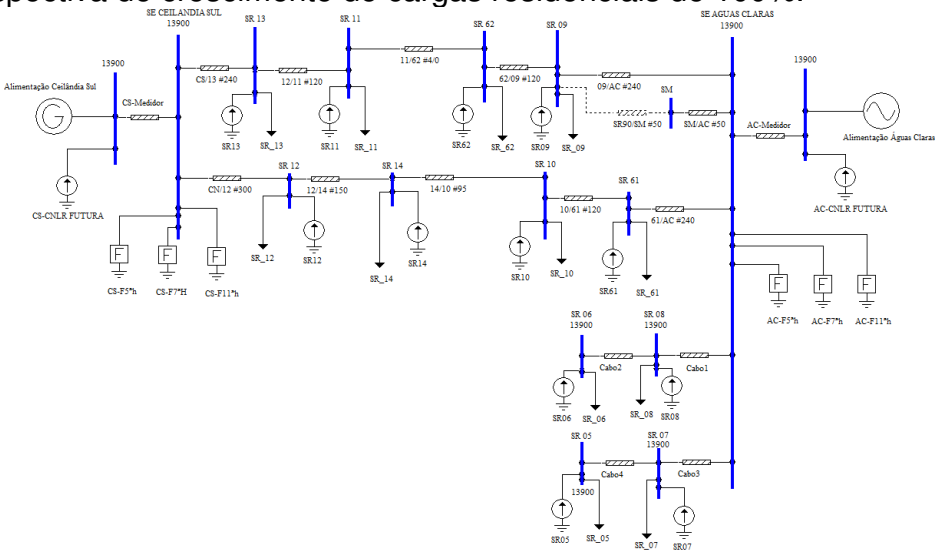


Figura 35 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas e filtros.

Onde:
CS-CNLR FUTURA: Ceilândia Sul – Cargas Não Lineares Residenciais Futuras;
CS-F5ªh: Ceilândia Sul – Filtro de Quinta harmônica;
CS-F7ªh: Ceilândia Sul – Filtro de Sétima harmônica;
CS-F11ªh: Ceilândia Sul – Filtro de Décima Primeira harmônica;
CS-Medidor: Ceilândia Sul – Ponto de Medição;
AC-CNLR FUTURA: Águas Claras – Cargas Não Lineares Residenciais Futuras;
AC-F5ªh: Águas Claras – Filtro de Quinta harmônica;
AC-F7ªh: Águas Claras – Filtro de Sétima harmônica;
AC-F11ªh: Águas Claras – Filtro de Décima Primeira harmônica;
AC-Medidor: Águas Claras – Ponto de Medição;

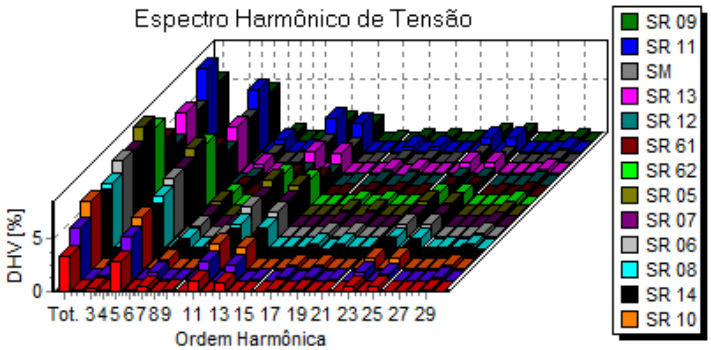
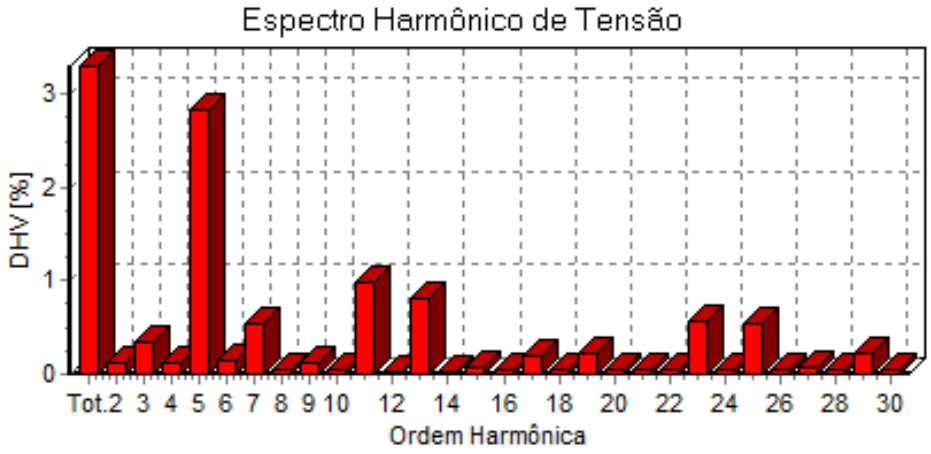


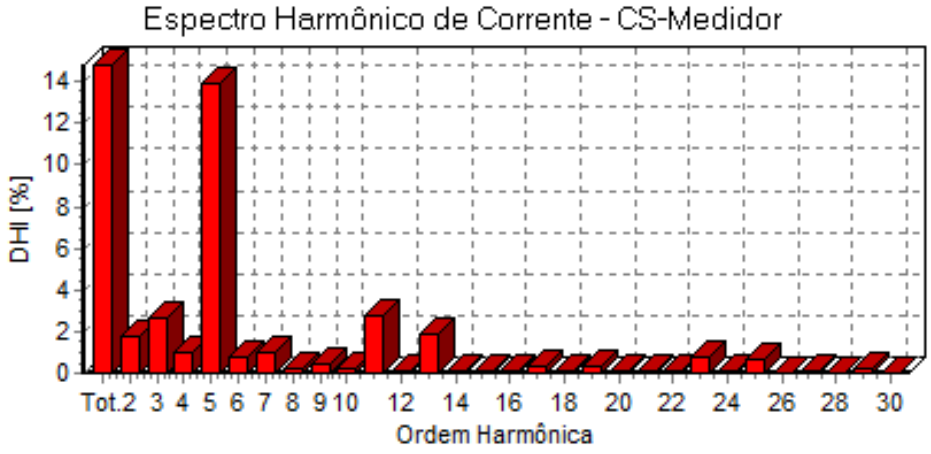
Figura 36 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras.

5.1.6.1 Resultados na SE Ceilândia Sul

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE CS e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 37 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente CS_AC - Futuro Com Filtros 5ª, 7ª e 11ªh - Contingência SR05, SR06			
Nome do Elemento:	CS-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13907,56 [V]		
DHVtotal:	3,30 [%]		
Corrente			
Eficaz:	450,86 [A]		
DHItotal:	14,79 [%]		
Potência			
Ativa Total:	10528,38 [kW]	**Ativa Fund.:**	10529,08 [kW]
Reativa Total:	2057,09 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	2107,03 [kVAr]
Aparente Tot.:	10860,56 [kVA]	**Aparente Fund.:**	10737,83 [kVA]
Distorção	1695,09 [kVAd]		
FP Total:	0,969	**FP Fund.:**	0,981

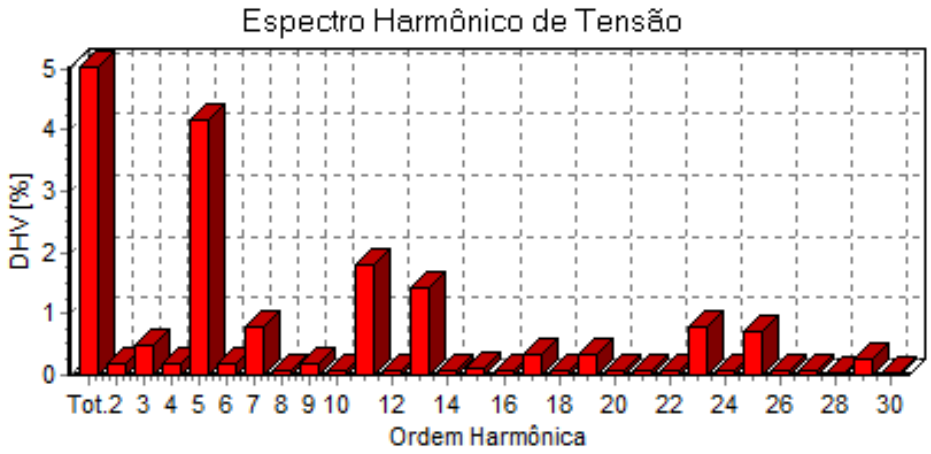
Página 1

Figura 38 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

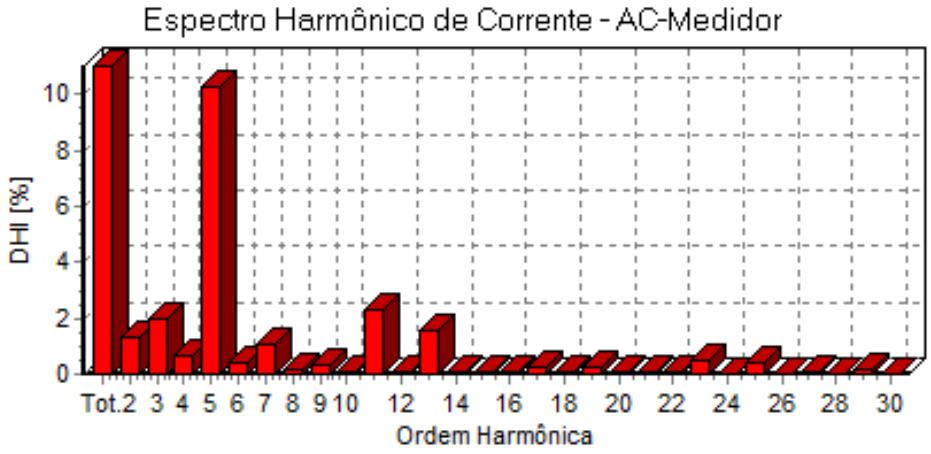
Observa-se que o fator de potência indutivo de 0,969 na SE CS está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. Em virtude do crescimento das cargas residenciais conectadas na SE AC a distorção harmônica total de tensão (DHTv%) atinge 3,30% e está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.1.6.2 Resultados na SE Águas Claras

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE AC e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 39 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente CS_AC - Futuro Com Filtros 5ª, 7ª e 11ªh - Contingência SR05, SR06			
Nome do Elemento:	AC-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13917,51 [V]		
DHVtotal:	5,02 [%]		
Corrente			
Eficaz:	1150,47 [A]		
DHItotal:	11,01 [%]		
Potência			
Ativa Total:	27120,71 [kW]	**Ativa Fund.:**	27121,29 [kW]
Reativa Total:	4592,18 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	4736,52 [kVAr]
Aparente Tot.:	27733,12 [kVA]	**Aparente Fund.:**	27531,78 [kVA]
Distorção	3536,21 [kVAd]		
FP Total:	0,978	**FP Fund.:**	0,985

Figura 40 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

Observa-se que o fator de potência está indutivo, com valor de 0,978 na SE AC e está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. Em virtude do crescimento das cargas residenciais conectadas na SE AC a distorção harmônica total de tensão (DHTv%) atinge 5,02% e está acima do limite de 5%, conforme IEEE519/2014, mas tal situação não é de responsabilidade do Metrô-DF, pois as cargas não lineares que aumentarão ao longo dos anos são cargas da CEB.

5.2 Anel Brasília Centro/Hípica

5.2.1 1º Caso – Anel Brasília Centro/Hípica: Situação Atual Sem Filtros

As figuras abaixo apresentam o unifilar considerando as injeções de corrente harmônicas do Metrô-DF e residências alimentadas pela mesma barra das SEs e a distorção harmônica total de tensão em todas as barras do anel.

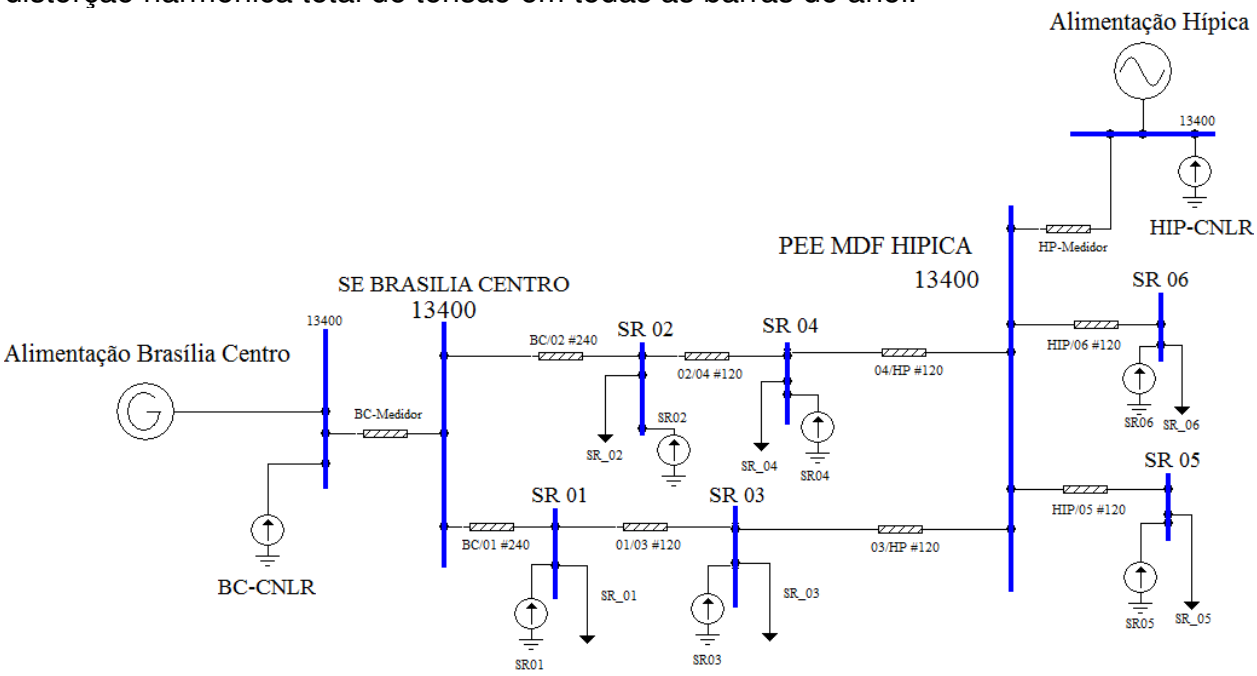


Figura 41 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas com filtros.

Onde:
BC-CNLR: Brasília Centro – Cargas Não Lineares Residenciais;
HP-CNLR: Hípica – Cargas Não Lineares Residenciais;

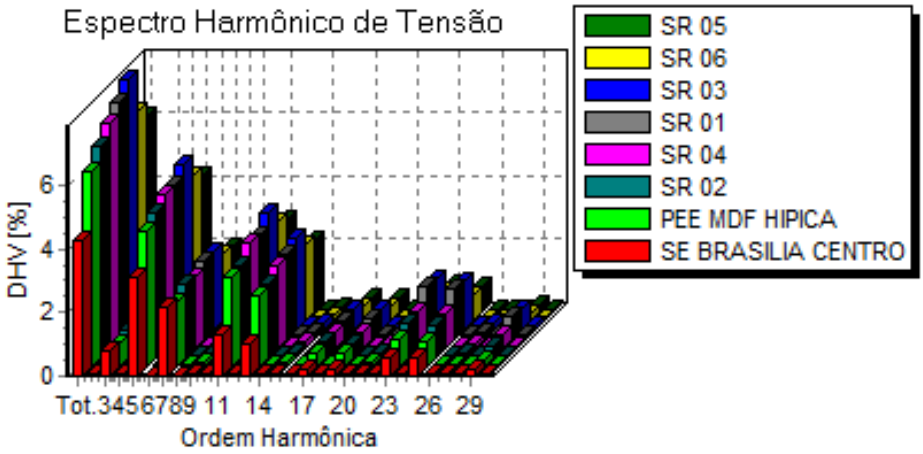
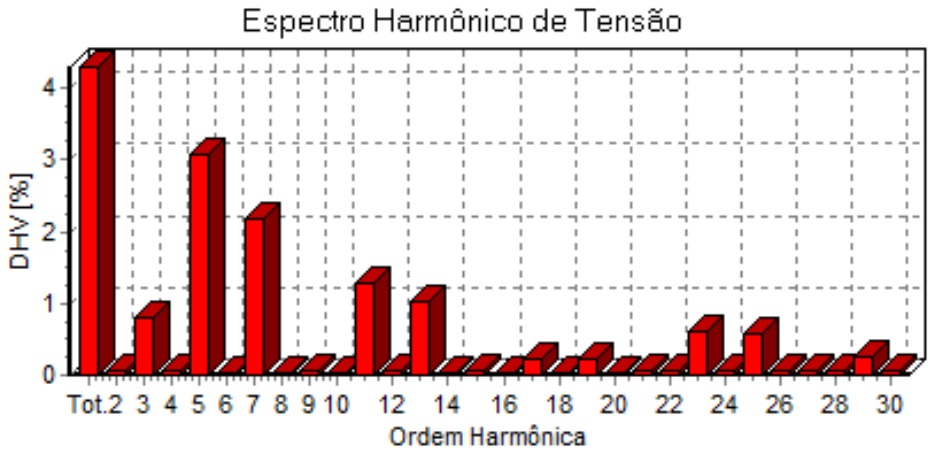


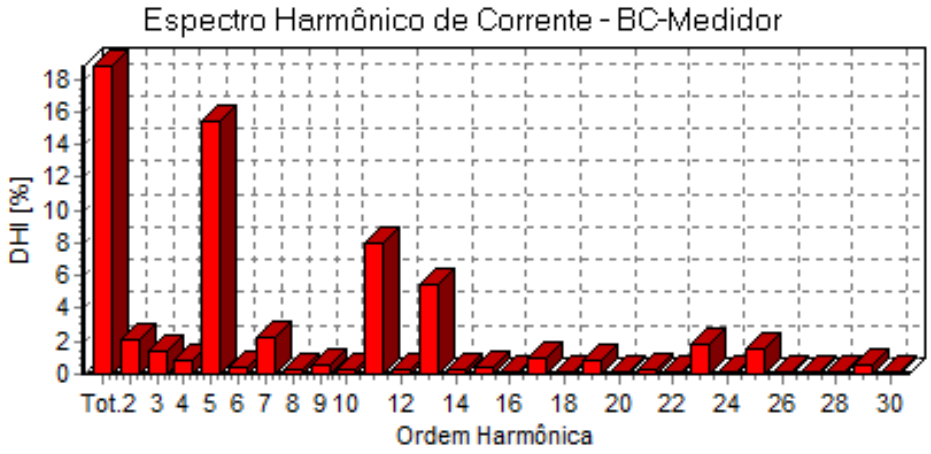
Figura 42 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras.

5.2.1.1 Resultados na SE Brasília Centro

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE BC e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 43 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente BC_HIP - Atual Sem Filtros			
Nome do Elemento:	BC-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13357,54 [V]		
DHVtotal:	4,29 [%]		
Corrente			
Eficaz:	259,81 [A]		
DHItotal:	18,78 [%]		
Potência			
Ativa Total:	5303,35 [kW]	**Ativa Fund.:**	5299,08 [kW]
Reativa Total:	2558,04 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	2599,60 [kVAr]
Aparente Tot.:	6011,05 [kVA]	**Aparente Fund.:**	5902,39 [kVA]
Distorção	1209,80 [kVAd]		
FP Total:	0,882	**FP Fund.:**	0,898

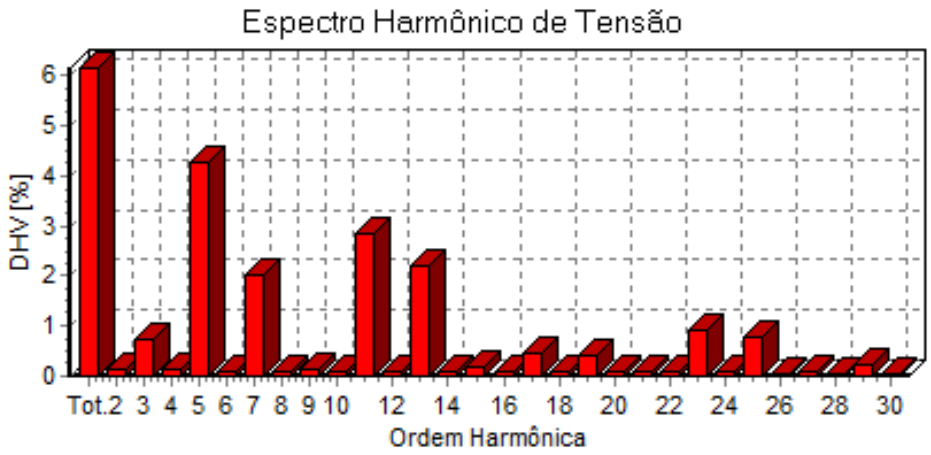
Página 1

Figura 44 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

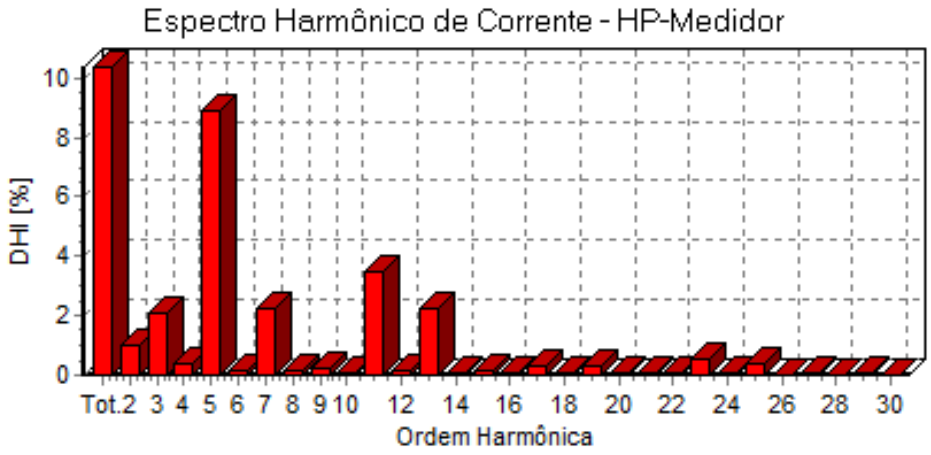
Observa-se que o fator de potência de 0,882 na SE BC está fora dos limites recomendados pelo PRODIST. A distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 4,29% está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.2.1.2 Resultados no PEE/HIP

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente no PEE/HIP e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 45 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente BC_HIP - Atual Sem Filtros			
Nome do Elemento:	HP-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13425,29 [V]		
DHVtotal:	6,15 [%]		
Corrente			
Eficaz:	575,34 [A]		
DHItotal:	10,36 [%]		
Potência			
Ativa Total:	12746,54 [kW]	**Ativa Fund.:**	12745,26 [kW]
Reativa Total:	3658,88 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	3738,87 [kVAr]
Aparente Tot.:	13378,63 [kVA]	**Aparente Fund.:**	13282,35 [kVA]
Distorção	1768,13 [kVAd]		
FP Total:	0,953	**FP Fund.:**	0,960

Figura 46 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

Observa-se que o fator de potência de 0,953 no PEE/HIP está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. A distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 6,15% está acima do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.2.2 2º Caso – Anel Brasília Centro/Hípica: Situação Atual Com Filtros de 5ª, 7ª e 11ª ordem

As figuras abaixo apresentam o unifilar considerando as injeções de corrente harmônicas do Metrô-DF e residências alimentadas pela mesma barra das SEs e a distorção harmônica total de tensão em todas as barras do anel.

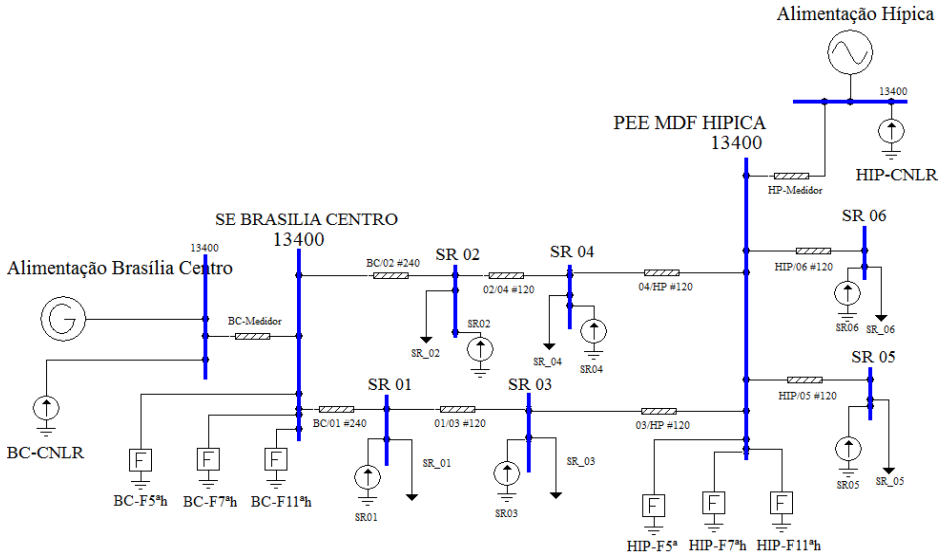


Figura 47 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas com filtros.

Onde:
BC-CNLR: Brasília Centro – Cargas Não Lineares Residenciais;
BC-F5ªh: Brasília Centro – Filtro de Quinta harmônica;
BC-F7ªh: Brasília Centro – Filtro de Sétima harmônica;
BC-F11ªh: Brasília Centro – Filtro de Décima Primeira harmônica;
HP-CNLR: Hípica – Cargas Não Lineares Residenciais;
HP-F5ªh: Hípica – Filtro de Quinta harmônica;
HP-F7ªh: Hípica – Filtro de Sétima harmônica;
HP-F11ªh: Hípica – Filtro de Décima Primeira harmônica;

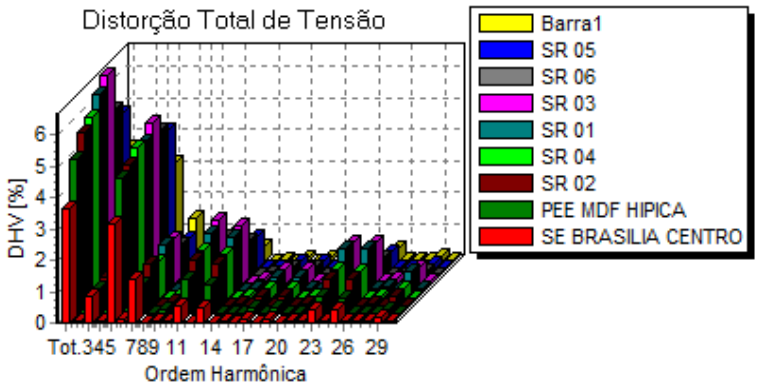
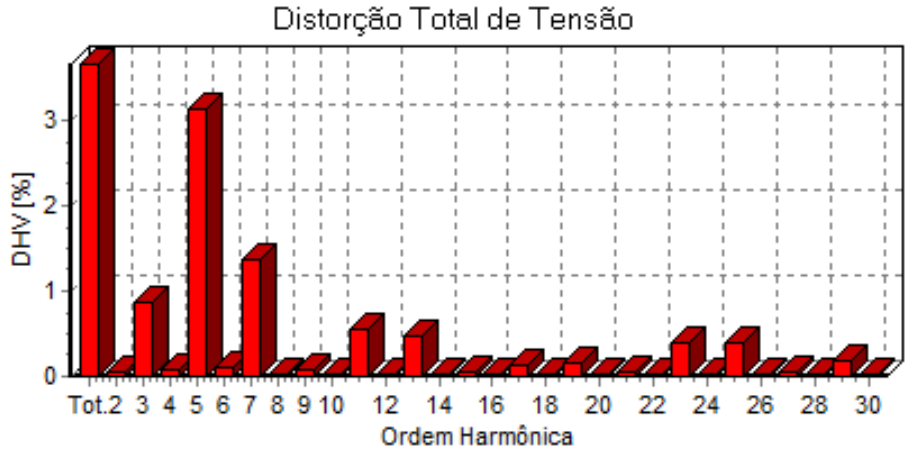


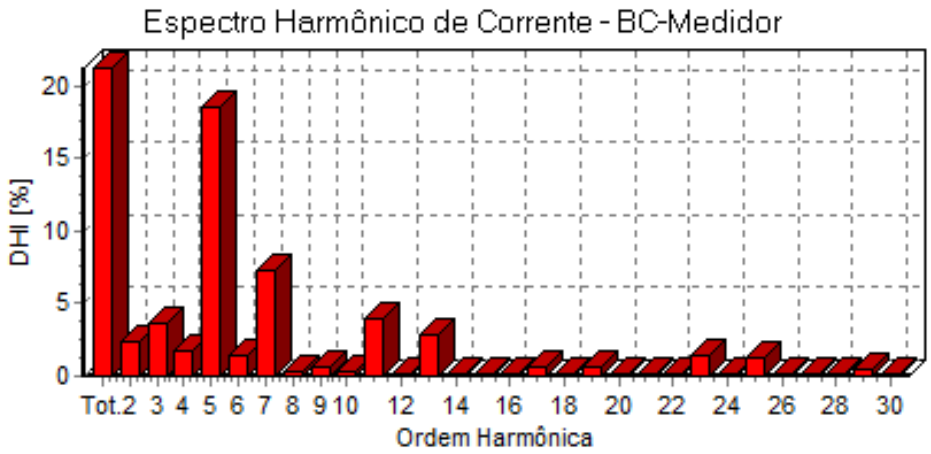
Figura 48 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras.

5.2.2.1 Resultados na SE Brasília Centro

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE BC e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 49 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente BC_HIP - Atual Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª			
Nome do Elemento:	BC-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13408,98 [V]		
DHVtotal:	3,66 [%]		
Corrente			
Eficaz:	234,21 [A]		
DHItotal:	21,25 [%]		
Potência			
Ativa Total:	5304,36 [kW]	**Ativa Fund.:**	5299,06 [kW]
Reativa Total:	407,73 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	437,90 [kVAr]
Aparente Tot.:	5439,48 [kVA]	**Aparente Fund.:**	5317,13 [kVA]
Distorção	1133,77 [kVAd]		
FP Total:	0,975	**FP Fund.:**	0,997

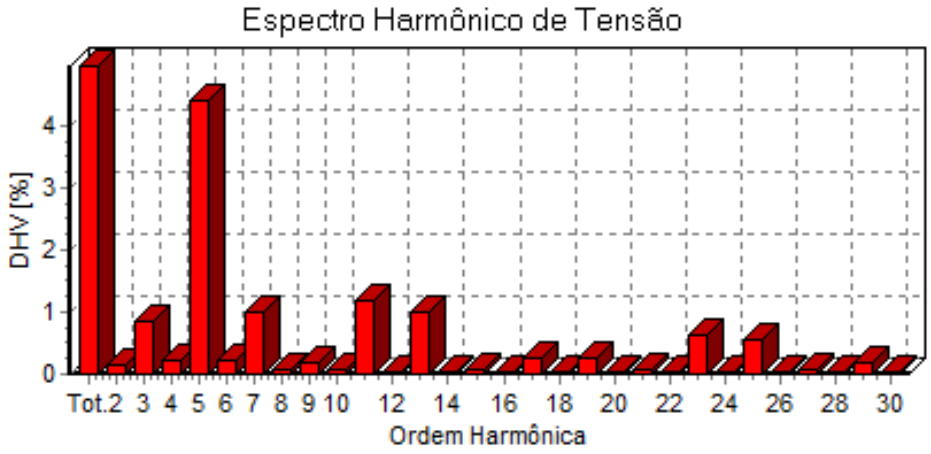
Página 1

Figura 50 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

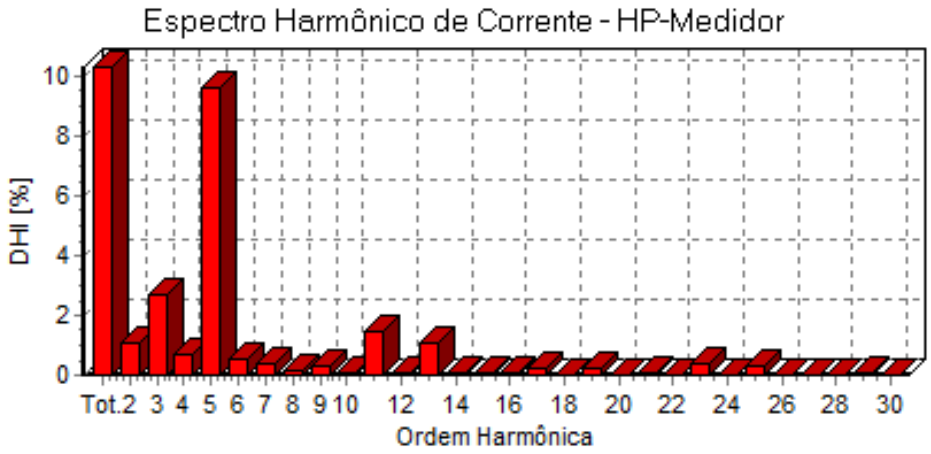
Observa-se que o fator de potência de 0,975 na SE BC está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. A distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 3,66% está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.2.2.2 Resultados no PEE/HIP

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente no PEE/HIP e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 51 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Nome do Elemento:	HP-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13416,43 [V]		
DHVtotal:	4,95 [%]		
Corrente			
Eficaz:	553,34 [A]		
DHItotal:	10,28 [%]		
Potência			
Ativa Total:	12767,05 [kW]	**Ativa Fund.:**	12765,34 [kW]
Reativa Total:	444,83 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	507,12 [kVAr]
Aparente Tot.:	12858,42 [kVA]	**Aparente Fund.:**	12775,41 [kVA]
Distorção	1464,01 [kVAd]		
FP Total:	0,993	**FP Fund.:**	0,999

Figura 52 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

Observa-se que o fator de potência capacitivo de 0,993 no PEE/HIP está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. A distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 4,95% está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.2.3 3º Caso – Anel Brasília Centro/Hípica: Situação Futura Com Filtros de 5ª, 7ª e 11ª ordem

As figuras abaixo apresentam o unifilar considerando as injeções de corrente harmônicas do Metrô-DF e residências alimentadas pela mesma barra das SEs e a distorção harmônica total de tensão em todas as barras do anel. Para este caso, considera-se uma perspectiva de crescimento de carga de 100% durante de 20 anos.

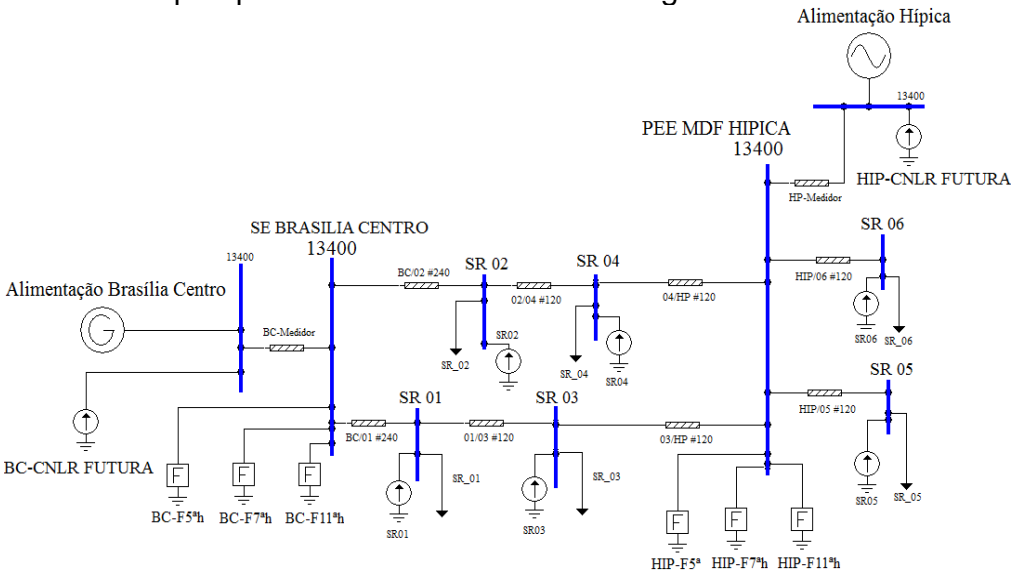


Figura 53 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas com filtros.

Onde:
BC-CNLR FUTURA: Brasília Centro – Cargas Não Lineares Residenciais Futuras;
BC-F5ªh: Brasília Centro – Filtro de Quinta harmônica;
BC-F7ªh: Brasília Centro – Filtro de Sétima harmônica;
BC-F11ªh: Brasília Centro – Filtro de Décima Primeira harmônica;
HP-CNLR FUTURA: Hípica – Cargas Não Lineares Residenciais Futuras;
HP-F5ªh: Hípica – Filtro de Quinta harmônica;
HP-F7ªh: Hípica – Filtro de Sétima harmônica;
HP-F11ªh: Hípica – Filtro de Décima Primeira harmônica;

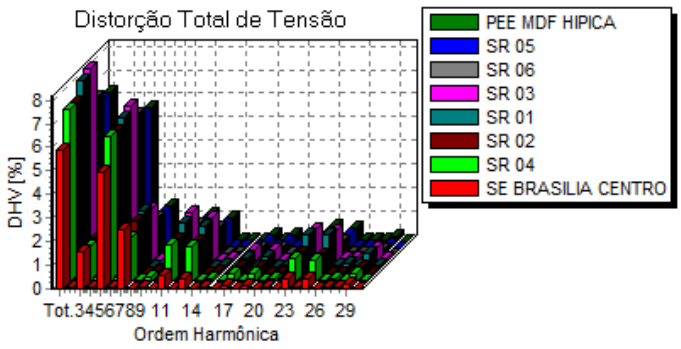
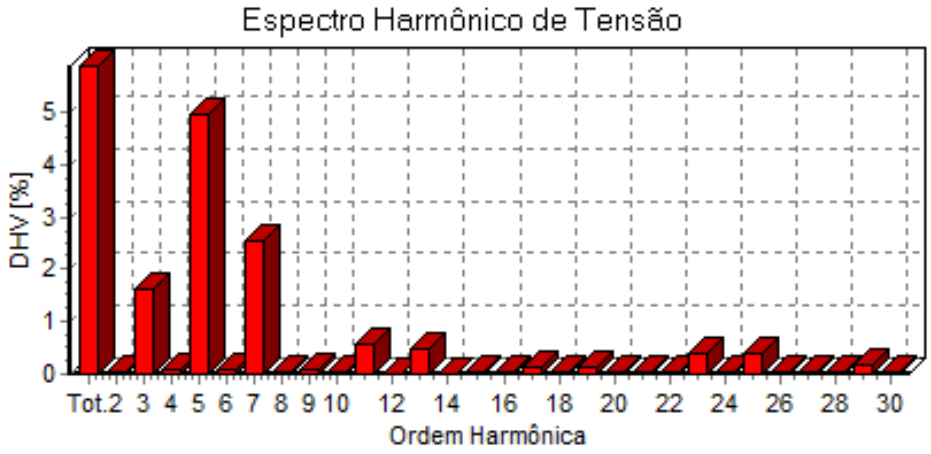


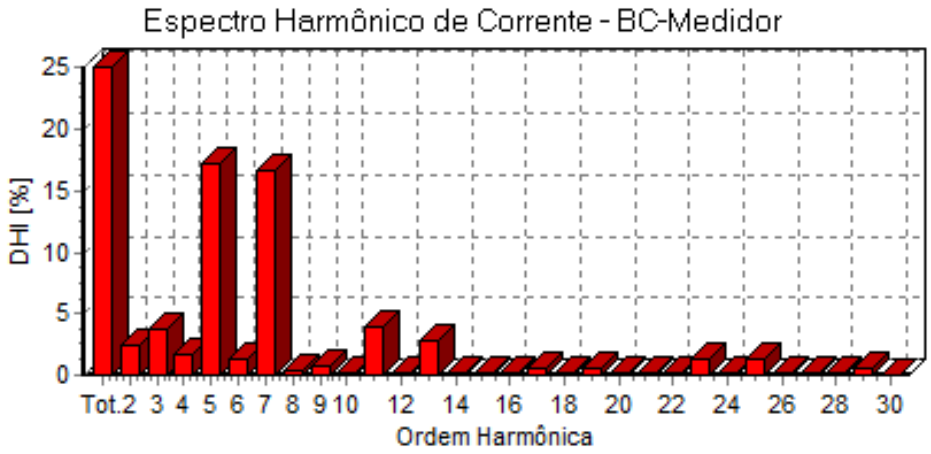
Figura 54 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras.

5.2.3.1 Resultados na SE Brasília Centro

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE BC e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 55 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente BC_HIP - Futuro Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª			
Nome do Elemento:	BC-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13423,12 [V]		
DHVtotal:	5,88 [%]		
Corrente			
Eficaz:	236,18 [A]		
DHItotal:	25,07 [%]		
Potência			
Ativa Total:	5318,45 [kW]	**Ativa Fund.:**	5299,06 [kW]
Reativa Total:	410,13 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	437,90 [kVAr]
Aparente Tot.:	5491,19 [kVA]	**Aparente Fund.:**	5317,13 [kVA]
Distorção	1303,45 [kVAd]		
FP Total:	0,969	**FP Fund.:**	0,997

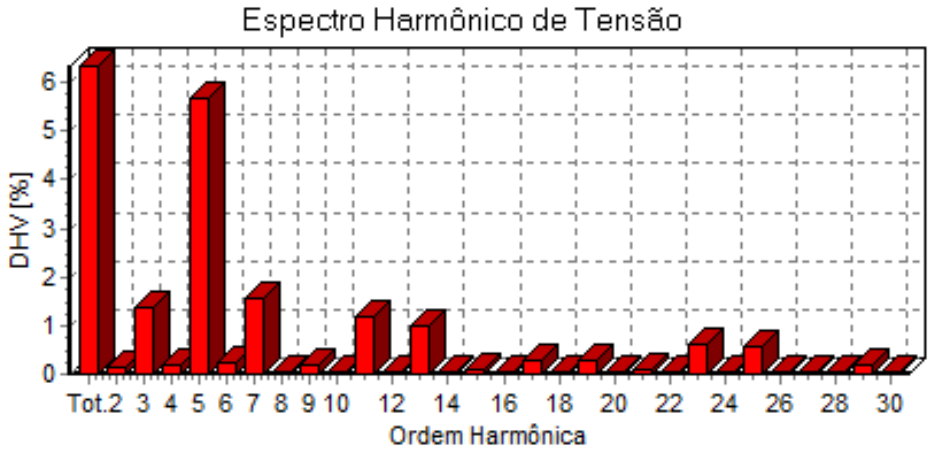
Página 1

Figura 56 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

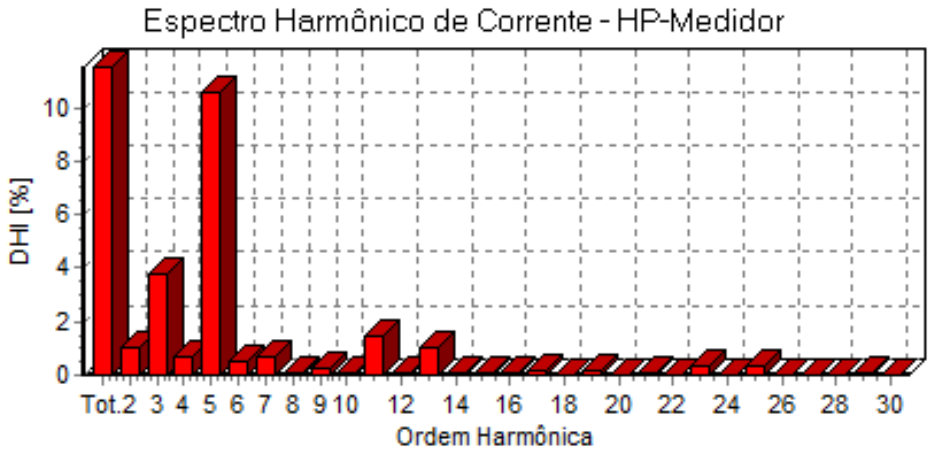
Observa-se que o fator de potência de 0,969 na SE BC está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. Em virtude do crescimento das cargas residenciais conectadas no SE BC a distorção harmônica total de tensão (DHTv%) atinge 5,88% e está acima do limite de 5%, conforme IEEE519/2014, mas tal situação não é de responsabilidade do Metrô-DF, pois as cargas não lineares que aumentarão ao longo dos anos são cargas da CEB.

5.2.3.2 Resultados no PEE/HIP

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente no PEE/HIP e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 57 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente BC_HIP - Futuro Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª			
Nome do Elemento:	HP-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13426,84 [V]		
DHVtotal:	6,33 [%]		
Corrente			
Eficaz:	554,07 [A]		
DHItotal:	11,51 [%]		
Potência			
Ativa Total:	12771,47 [kW]	**Ativa Fund.:**	12765,34 [kW]
Reativa Total:	419,32 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	507,12 [kVAr]
Aparente Tot.:	12885,51 [kVA]	**Aparente Fund.:**	12775,41 [kVA]
Distorção	1658,35 [kVAd]		
FP Total:	0,991	**FP Fund.:**	0,999

Figura 58 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

Observa-se que o fator de potência capacitivo no valor de 0,991 no PEE/HIP está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. Em virtude do crescimento das cargas residências conectadas ao PEE/HP a distorção harmônica total de tensão (DHTv%) atinge 6,33% e está acima do limite de 5%, conforme IEEE519/2014, mas tal situação não é de responsabilidade do Metrô-DF, pois as cargas não lineares que aumentarão ao longo dos anos são cargas da CEB.

5.2.4 4º Caso – Anel Brasília Centro/Hípica Contingência: Situação Atual Sem Filtros

As figuras abaixo apresentam o unifilar considerando as injeções de corrente harmônicas do Metrô-DF e residências alimentadas pela mesma barra das SEs e a distorção harmônica total de tensão em todas as barras do anel.

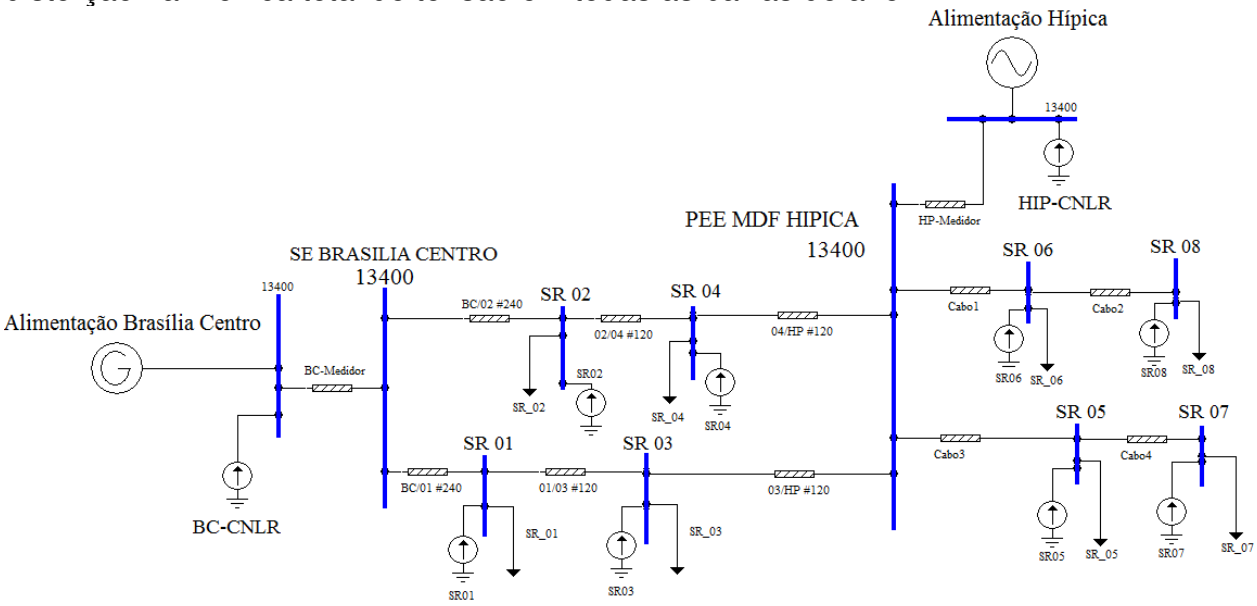


Figura 59 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas com filtros.

Onde:
BC-CNLR: Brasília Centro – Cargas Não Lineares Residenciais;
HP-CNLR: Hípica – Cargas Não Lineares Residenciais;

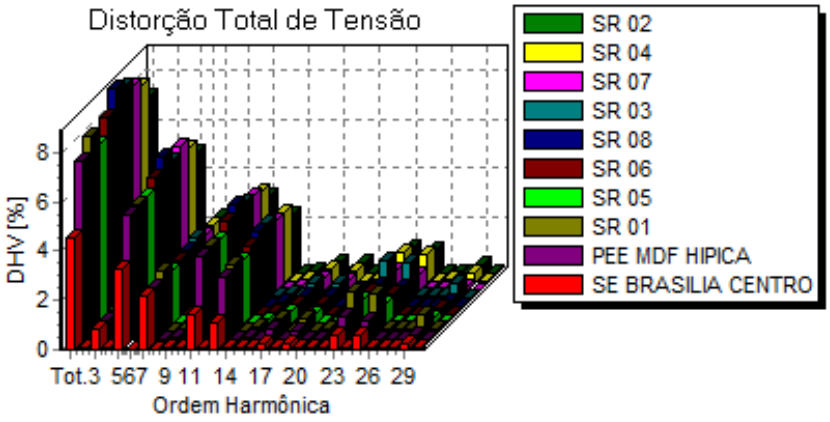
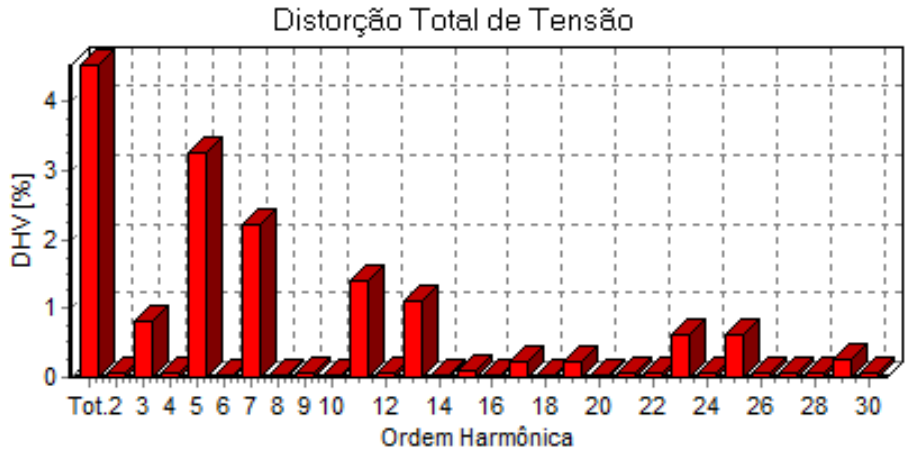


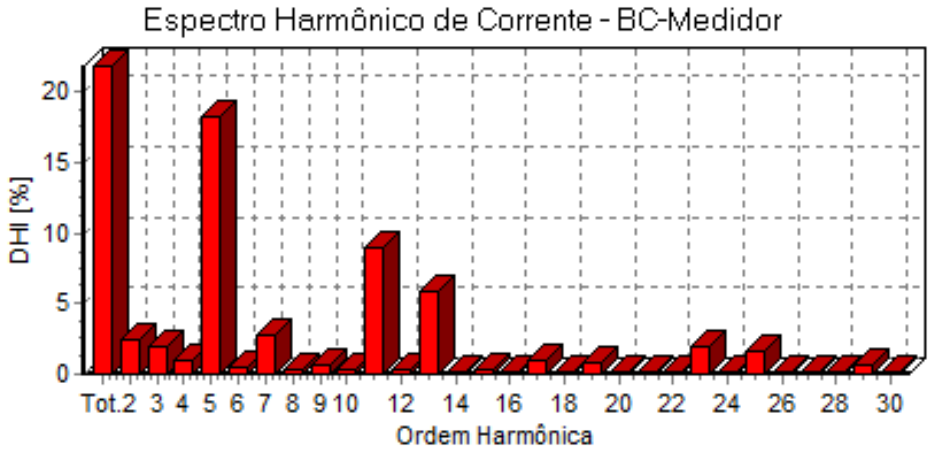
Figura 60 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras.

5.2.4.1 Resultados na SE Brasília Centro

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE BC e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 61 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente BC_HIP - Atual Sem Filtros - Contingência SR07 e SR08			
Nome do Elemento:	BC-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13358,94 [V]		
DHVtotal:	4,53 [%]		
Corrente			
Eficaz:	261,38 [A]		
DHItotal:	21,85 [%]		
Potência			
Ativa Total:	5304,04 [kW]	**Ativa Fund.:**	5299,10 [kW]
Reativa Total:	2547,64 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	2599,62 [kVAr]
Aparente Tot.:	6047,82 [kVA]	**Aparente Fund.:**	5902,41 [kVA]
Distorção	1397,43 [kVAd]		
FP Total:	0,877	**FP Fund.:**	0,898

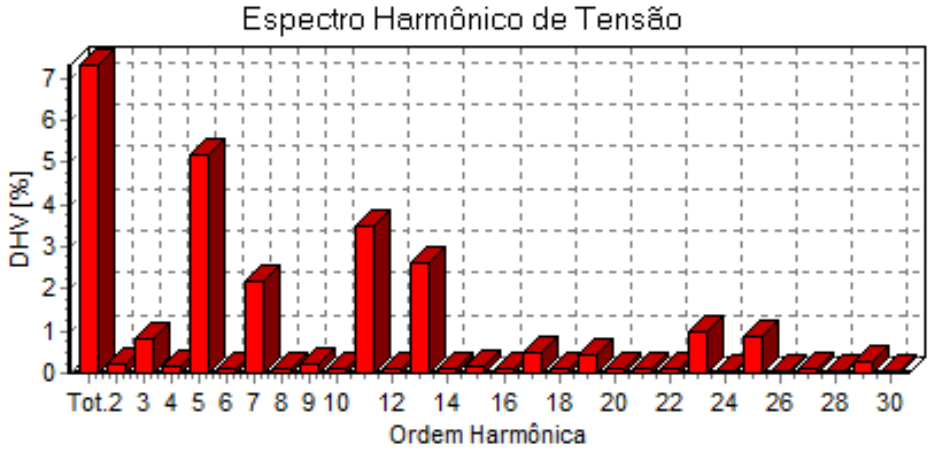
Página 1

Figura 62 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

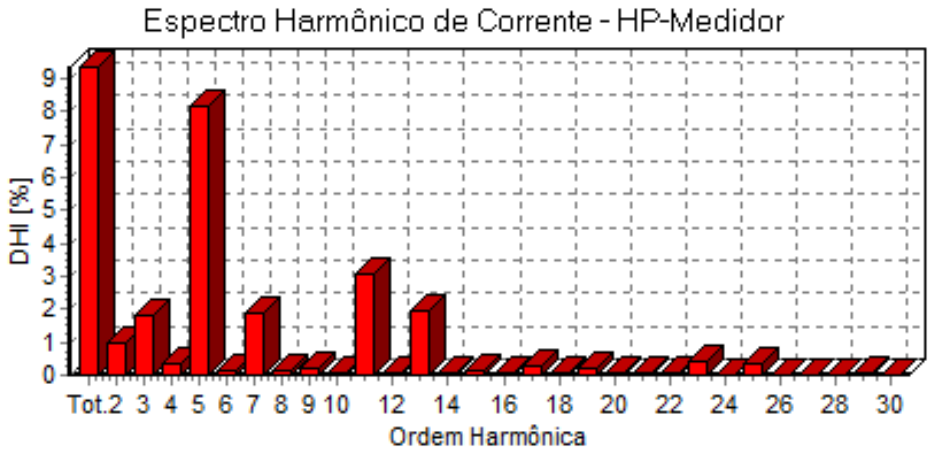
Observa-se que o fator de potência de 0,877 na SE BC está fora dos limites recomendados pelo PRODIST. A distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 4,53% está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.2.4.2 Resultados no PEE/HIP

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente no PEE/HIP e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 63 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente BC_HIP - Atual Sem Filtros - Contingência SR07 e SR08			
Nome do Elemento:	HP-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13435,72 [V]		
DHVtotal:	7,31 [%]		
Corrente			
Eficaz:	797,99 [A]		
DHItotal:	9,34 [%]		
Potência			
Ativa Total:	17673,47 [kW]	**Ativa Fund.:**	17671,54 [kW]
Reativa Total:	5151,81 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	5270,57 [kVAr]
Aparente Tot.:	18570,41 [kVA]	**Aparente Fund.:**	18440,78 [kVA]
Distorção	2442,86 [kVAd]		
FP Total:	0,952	**FP Fund.:**	0,958

Figura 64 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

Observa-se que o fator de potência de 0,952 no PEE/HIP está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. A distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 7,31% está acima do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.2.5 5º Caso – Anel Brasília Centro/Hípica Contingência: Situação Atual Com Filtros de 5ª, 7ª e 11ª ordem

As figuras abaixo apresentam o unifilar considerando as injeções de corrente harmônicas do Metrô-DF e residências alimentadas pela mesma barra das SEs e a distorção harmônica total de tensão em todas as barras do anel.

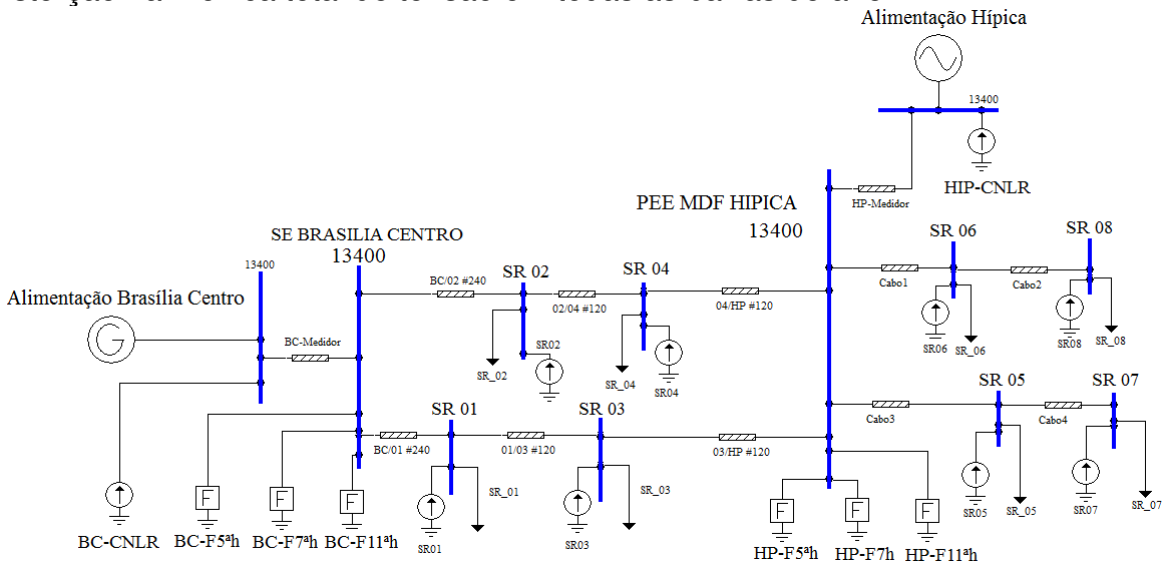


Figura 65 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas com filtros.

Onde:
BC-CNLR: Brasília Centro – Cargas Não Lineares Residenciais;
BC-F5ªh: Brasília Centro – Filtro de Quinta harmônica;
BC-F7ªh: Brasília Centro – Filtro de Sétima harmônica;
BC-F11ªh: Brasília Centro – Filtro de Décima Primeira harmônica;
HP-CNLR: Hípica – Cargas Não Lineares Residenciais;
HP-F5ªh: Hípica – Filtro de Quinta harmônica;
HP-F7ªh: Hípica – Filtro de Sétima harmônica;
HP-F11ªh: Hípica – Filtro de Décima Primeira harmônica;

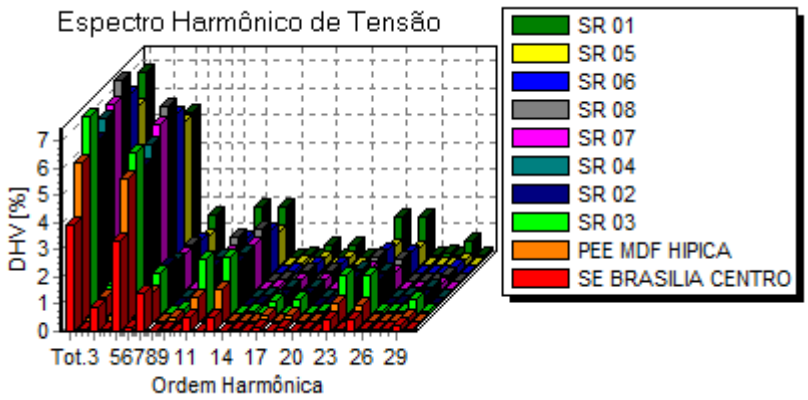
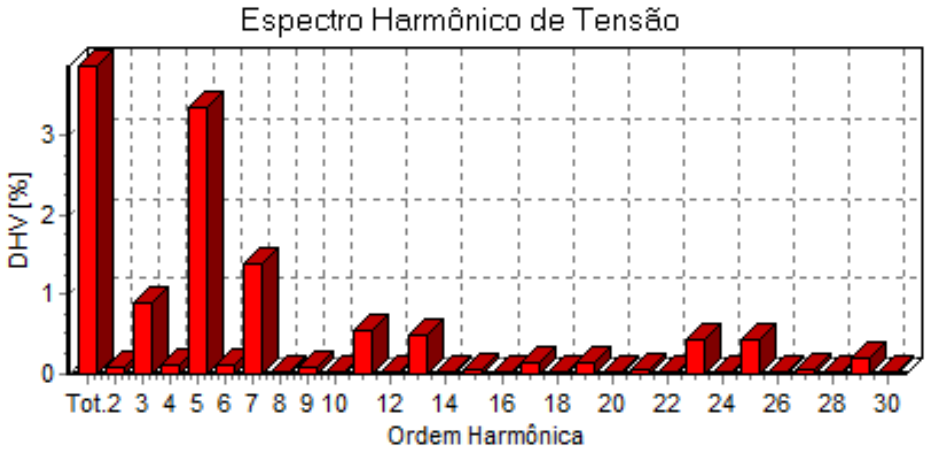


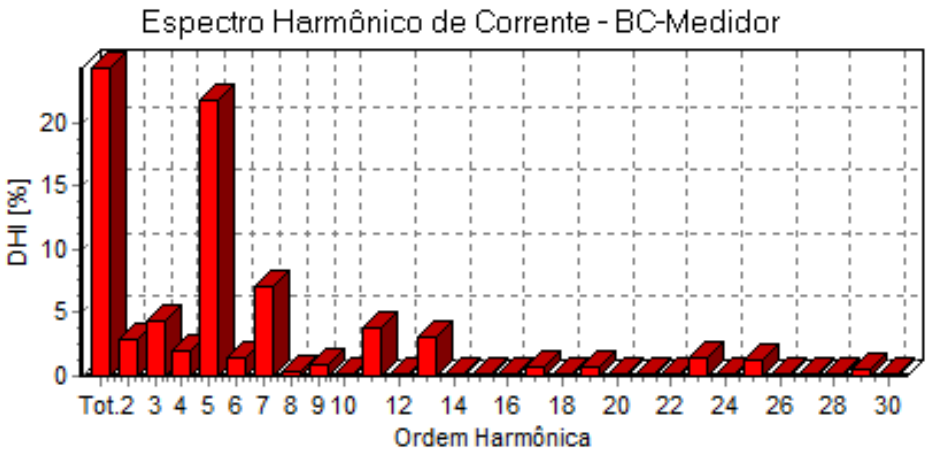
Figura 66 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras.

5.2.5.1 Resultados na SE Brasília Centro

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE BC e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 67 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente BC_HIP - Atual Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª - Contingência SR07 e SR08			
Nome do Elemento:	BC-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13410,03 [V]		
DHVtotal:	3,87 [%]		
Corrente			
Eficaz:	235,78 [A]		
DHItotal:	24,33 [%]		
Potência			
Ativa Total:	5304,96 [kW]	**Ativa Fund.:**	5299,09 [kW]
Reativa Total:	399,08 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	437,91 [kVAr]
Aparente Tot.:	5476,40 [kVA]	**Aparente Fund.:**	5317,15 [kVA]
Distorção	1299,67 [kVAd]		
FP Total:	0,969	**FP Fund.:**	0,997

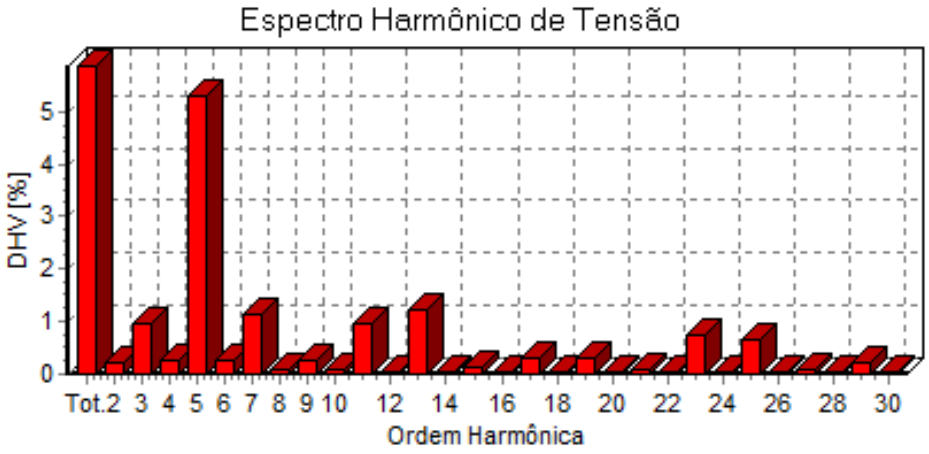
Página 1

Figura 68 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

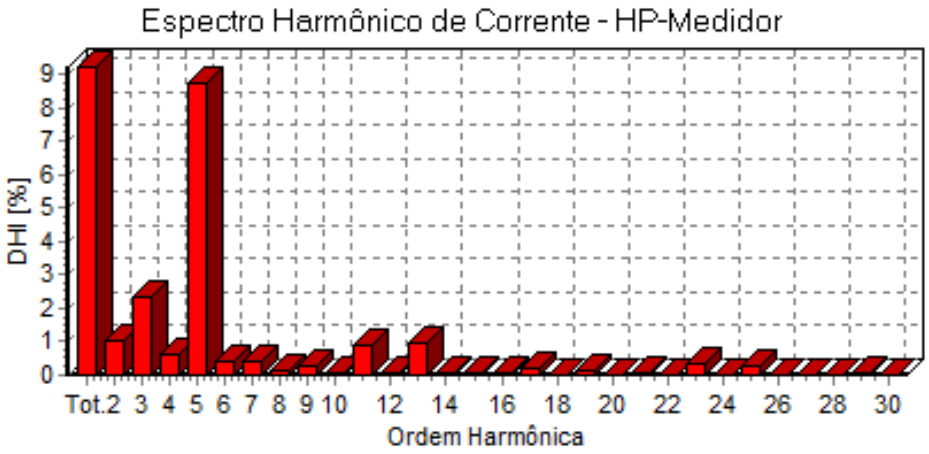
Observa-se que o fator de potência de 0,969 na SE BC está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. A distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 3,87% está abaixo do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.2.5.2 Resultados no PEE/HIP

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente no PEE/HIP e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 69 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente BC_HIP - Atual Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª - Contingência SR07 e SR08			
Nome do Elemento:	HP-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13423,03 [V]		
DHVtotal:	5,87 [%]		
Corrente			
Eficaz:	770,56 [A]		
DHItotal:	9,22 [%]		
Potência			
Ativa Total:	17693,85 [kW]	**Ativa Fund.:**	17691,56 [kW]
Reativa Total:	1946,09 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	2038,79 [kVAr]
Aparente Tot.:	17914,92 [kVA]	**Aparente Fund.:**	17808,65 [kVA]
Distorção	2021,12 [kVAd]		
FP Total:	0,988	**FP Fund.:**	0,993

Figura 70 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

Observa-se que o fator de potência capacitivo de 0,988 no PEE/HIP está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. A distorção harmônica total de tensão (DHTv%) de 5,87% está acima do limite de 5%, conforme IEEE519/2014.

5.2.6 6º Caso – Anel Brasília Centro/Hípica Contingência: Situação Futura Com Filtros de 5ª, 7ª e 11ª ordem

As figuras abaixo apresentam o unifilar considerando as injeções de corrente harmônicas do Metrô-DF e residências alimentadas pela mesma barra das SEs e a distorção harmônica total de tensão em todas as barras do anel. Para este caso, considera-se uma perspectiva de crescimento de carga de 100% durante de 20 anos.

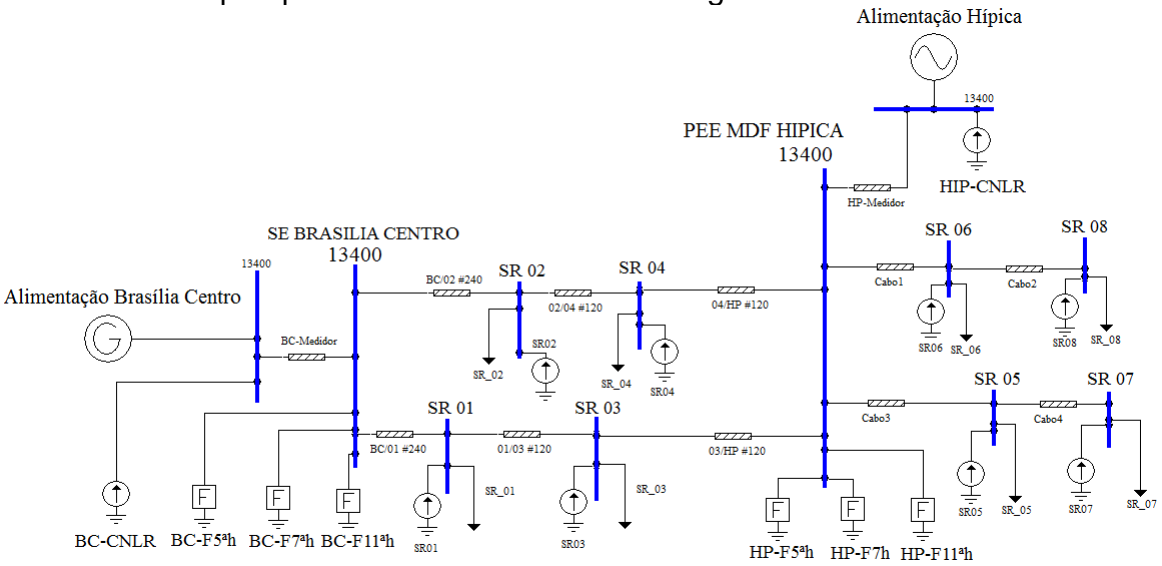


Figura 71 – Diagrama unifilar com as injeções de correntes harmônicas com filtros.

Onde:
BC-CNLR FUTURA: Brasília Centro – Cargas Não Lineares Residenciais Futuras;
BC-F5ªh: Brasília Centro – Filtro de Quinta harmônica;
BC-F7ªh: Brasília Centro – Filtro de Sétima harmônica;
BC-F11ªh: Brasília Centro – Filtro de Décima Primeira harmônica;
HP-CNLR FUTURA: Hípica – Cargas Não Lineares Residenciais Futuras;
HP-F5ªh: Hípica – Filtro de Quinta harmônica;
HP-F7ªh: Hípica – Filtro de Sétima harmônica;
HP-F11ªh: Hípica – Filtro de Décima Primeira harmônica;

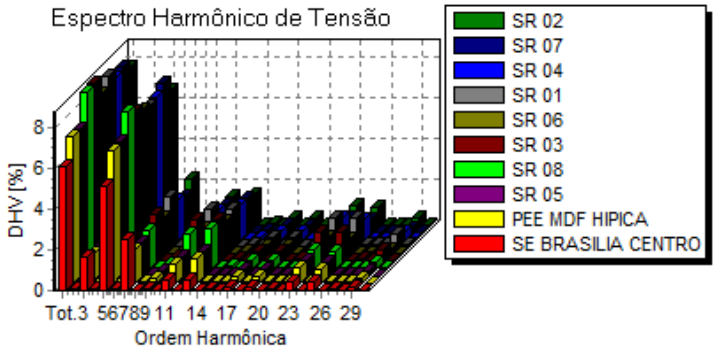
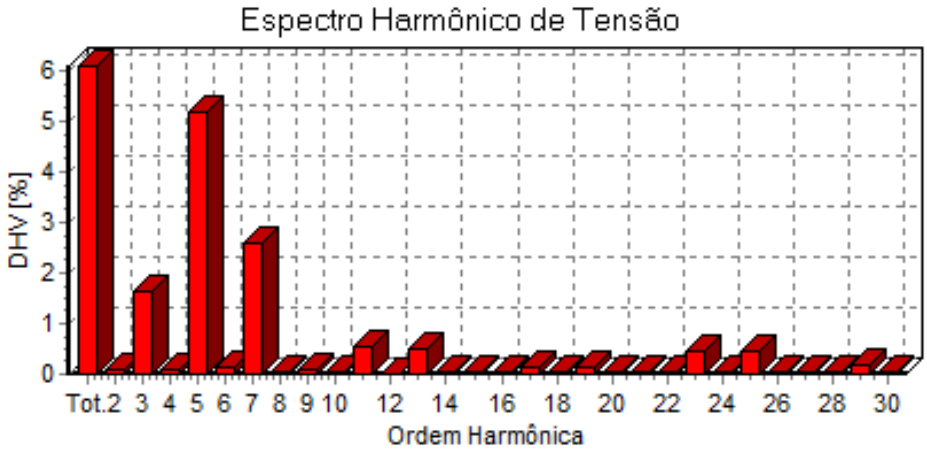


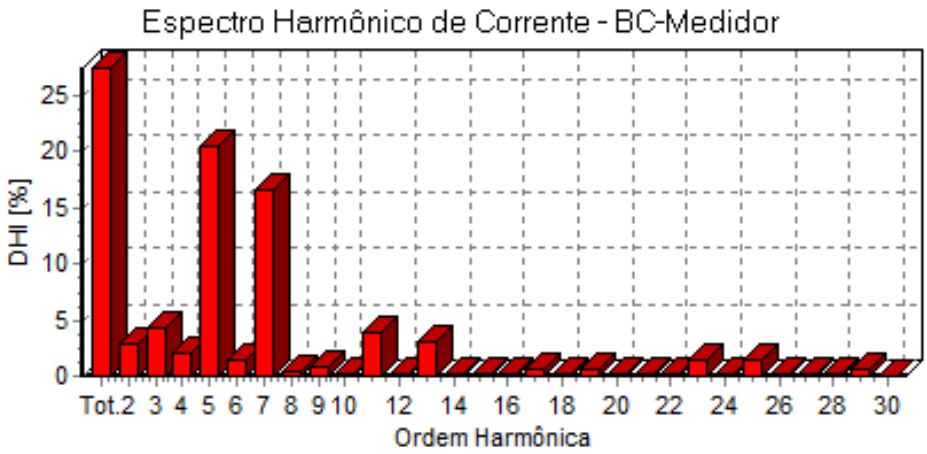
Figura 72 – Espectro Harmônico e Distorção Total de Tensão em todas as barras.

5.2.6.1 Resultados na SE Brasília Centro

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente na SE BC e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 73 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente BC_HIP - Futuro Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª - Contingência SR07 e SR08			
Nome do Elemento:	BC-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13424,67 [V]		
DHVtotal:	6,07 [%]		
Corrente			
Eficaz:	237,55 [A]		
DHItotal:	27,43 [%]		
Potência			
Ativa Total:	5320,22 [kW]	**Ativa Fund.:**	5299,06 [kW]
Reativa Total:	398,64 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	437,90 [kVAr]
Aparente Tot.:	5523,62 [kVA]	**Aparente Fund.:**	5317,13 [kVA]
Distorção	1430,63 [kVAd]		
FP Total:	0,963	**FP Fund.:**	0,997

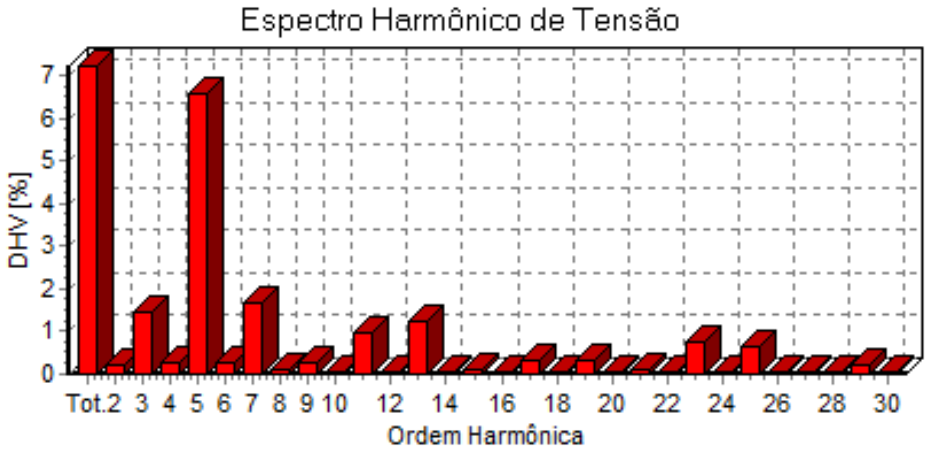
Página 1

Figura 74 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

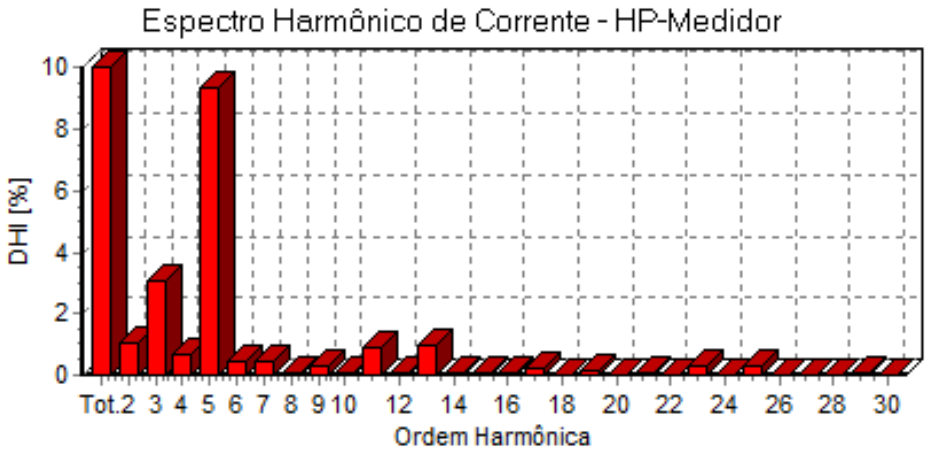
Observa-se que o fator de potência de 0,963 na SE BC está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. Em virtude do crescimento das cargas residenciais conectadas no SE BC a distorção harmônica total de tensão (DHTv%) atinge 6,07% e está acima do limite de 5%, conforme IEEE519/2014, mas tal situação não é de responsabilidade do Metrô-DF, pois as cargas não lineares que aumentarão ao longo dos anos são cargas da CEB.

5.2.6.2 Resultados no PEE/HIP

As figuras abaixo apresentam o Espectro Harmônico de Tensão e Corrente no PEE/HIP e os valores de Tensão, Corrente e Potência respectivamente.



(a)



(b)

Figura 75 – Espectro Harmônico e Distorção Total: (a) Tensão; (b) Corrente.

Existente BC_HIP - Futuro Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª - Contingência SR07 e SR08			
Nome do Elemento:	HP-Medidor		
Tensão			
Eficaz:	13434,84 [V]		
DHVtotal:	7,22 [%]		
Corrente			
Eficaz:	771,15 [A]		
DHItotal:	10,03 [%]		
Potência			
Ativa Total:	17699,43 [kW]	**Ativa Fund.:**	17691,55 [kW]
Reativa Total:	1916,16 [kVAr]	**Reativa Fund.:**	2038,79 [kVAr]
Aparente Tot.:	17944,46 [kVA]	**Aparente Fund.:**	17808,64 [kVA]
Distorção	2249,95 [kVAd]		
FP Total:	0,986	**FP Fund.:**	0,993

Figura 76 – Valores de Tensão, Corrente e Potência.

Observa-se que o fator de potência capacitivo no valor de 0,986 no PEE/HIP está dentro dos limites recomendados pelo PRODIST. Em virtude do crescimento das cargas residências conectadas ao PEE/HP a distorção harmônica total de tensão (DHTv%) atinge 7,22% e está acima do limite de 5%, conforme IEEE519/2014, mas tal situação não é de responsabilidade do Metrô-DF, pois as cargas não lineares que aumentarão ao longo dos anos são cargas da CEB.

6 ESPECIFICAÇÃO DOS FILTROS

O dimensionamento dos filtros segue alguns critérios primordiais baseados nas teorias de circuitos elétricos e exigências normativas existentes para manutenção do sistema elétrico de potência, tais como:

- ✓ Atendimento ao Fator de Potência de Referência (0,92ind < FP < 0,92cap) conforme legislação ANEEL;
- ✓ Limites de DHTv(%) (utilizamos como referência a norma IEEE 519/1992 DHTv < 5,0%);
- ✓ Suportabilidade térmica e dielétrica dos capacitores e reatores frente aos componentes harmônicos presentes;
- ✓ Crescimento das cargas geradoras de harmônicas do lado da CEB.
- ✓ Padronização dos equipamentos para maior facilidade de operação e manutenção;

A adoção de um equipamento com potência reativa igual a potência reativa demandada pela SE/PEE, implicaria em correção do fator de potência para valores unitários em condições de carga plena, o que poderia levar o sistema a operar de forma capacitiva quando o sistema estivesse com carregamento baixo. Assim, faz-se necessário conciliar a potência reativa necessária para se corrigir o fator de potência para valores superiores a 0,92 com a drenagem segura de até 100% de distorção harmônica total de corrente nos filtros e garantir a surportabilidade térmica e dielétrica dos seus componentes (capacitores + reatores), mantendo a distorção harmônica total de tensão dentro dos limites recomendados.

Portanto, com base em todas as premissas descritas acima, a potência reativa dos filtros de harmônicos atinge 2700 kVAr. Esta quantidade de reativos é suficiente para a correção do FP dentro dos limites impostos pela legislação, diminui as distorções harmônicas de tensão no PEE/SEs, conforme recomenda a IEEE 519/2014, suporta as condições térmicas e dielétricas imposta pelo conteúdo harmônico com drenagem do mesmo limitado a 100% e padronização para maior facilidade de operação e manutenção.

Filtros com valores de potência abaixo da especificação definida não serão eficientes para diminuir a distorção harmônica de tensão nos PEEs abaixo das recomendações da IEEE 519/2014.

6.1 PEE/HIP

A potência reativa especificada pelo estudo de fluxo de cargas é de 4200 kVAr, porém a potência necessária para filtragem é de 2700 kVAr divididos em:

- 900 kVAr para o filtro de 5ª harmônica sintonizado;
- 900 kVAr para o filtro de 7ª harmônica sintonizado;
- 900 kVAr para o filtro de 11ª harmônica amortecido.

A potência de 2700 kvar é suficiente pois permite a filtragem de um conteúdo harmônico de até 100% em cada freqüência de sintonia.

6.2 SE Ceilândia Sul

A potência reativa especificada pelo estudo de fluxo de cargas é de 4200 kVAr, porém a potência necessária para filtragem é de 2700 kVAr divididos em:

- 900 kVAr para o filtro de 5ª harmônica sintonizado;
- 900 kVAr para o filtro de 7ª harmônica sintonizado;
- 900 kVAr para o filtro de 11ª harmônica amortecido.

A potência de 2700 kvar é suficiente pois permite a filtragem de um conteúdo harmônico de até 100% em cada freqüência de sintonia.

6.3 SE Águas Claras

A potência reativa especificada pelo estudo de fluxo de cargas é de 6500 kVAr, porém a potência necessária para filtragem é de 2700 kVAr divididos em:

- 900 kVAr para o filtro de 5ª harmônica sintonizado;
- 900 kVAr para o filtro de 7ª harmônica sintonizado;
- 900 kVAr para o filtro de 11ª harmônica amortecido.

A potência de 2700 kvar é suficiente pois permite a filtragem de um conteúdo harmônico de até 100% em cada freqüência de sintonia.

6.4 SE Brasília Centro

A potência reativa especificada pelo estudo de fluxo de cargas é de 2800 kVAr, porém a potência necessária para filtragem é de 2700 kVAr divididos em:

- 900 kVAr para o filtro de 5ª harmônica sintonizado;
- 900 kVAr para o filtro de 7ª harmônica sintonizado;
- 900 kVAr para o filtro de 11ª harmônica amortecido.

A potência de 2700 kvar é suficiente pois permite a filtragem de um conteúdo harmônico de até 100% em cada freqüência de sintonia.

Observação:

a) Os filtros de harmônicos serão controlados por FP e/ou tempo, através de um relé digital que receberá um sinal de TP e TC instalado na barra do Painel de Entrada de Energia PEE/HIP e nas SEs

b) Os filtros deverão ter uma lógica crescente de entrada (5ª, 7ª e 11ª ordens) e decrescente de saída (11ª, 7ª e 5ª ordens) que estarão intertravados para evitar outros modos de operação.

Paralelamente, o estudo avalia as situações referentes às condições de cargas reativas e distorções harmônicas nas SEs CEB que alimentam os setores existentes (SE CS, SE AC e SE BC) e prevê a necessidade de filtragem similar a que estão sendo feitas nos PEEs dos trechos em expansão e no PEE/HIP.

Essa situação irá requerer tratativas especiais com a concessionária, pois por questões de regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em princípio, não há possibilidade de instalações de consumidores nas áreas da concessionária e, por outro lado, há de se considerar que parte significativa das distorções de harmônicas de 5ª e 7ª ordem tem origem no sistema da concessionária e, portanto, a implantação dos filtros nessas subestações requerem responsabilidades compartilhadas tanto do Metrô-DF como da concessionária.

7 CONCLUSÕES

Um resumo dos casos é apresentado nas tabelas abaixo, assim como outras possíveis configurações que vislumbram uma operação mais crítica.

Tabela 13 – Resumo da DHTv e DHTi e FP do Anel Ceilândia Sul/Águas Claras.

Configuração	SEs	Casos	THDv(%)	THDi(%)	FP
Anel Ceilândia Sul/Águas Claras	CS	Atual: Sem Filtro	3,78	14,22	0,92
		Atual: Com Filtro 5ª, 7ª e 11ª ordem	2,92	14,24	0,97
		Futuro: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem	3,21	14,13	0,97
		Atual Contingência: Sem Filtros	3,85	14,65	0,90
		Atual Contingência: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem	3,07	14,88	0,97
		Futuro Contingência: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem	3,30	14,79	0,97
	AC	Atual: Sem Filtro	5,06	11,88	0,95
		Atual: Com Filtro 5ª, 7ª e 11ª ordem	4,04	11,54	0,98
		Futuro: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem	4,28	11,50	0,98
		Atual Contingência: Sem Filtros	5,83	11,36	0,96
		Atual Contingência: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem	4,83	11,05	0,98
		Futuro Contingência: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem	5,02	11,01	0,98

Tabela 14 – Resumo da DHTv e DHTi e FP do Anel Brasília Centro/Hípica

Configuração	SEs	Casos	THDv(%)	THDi(%)	FP
Anel Brasília Centro/Hípica	BC	Atual: Sem Filtro	4,29	18,78	0,88
		Atual: Com Filtro 5ª, 7ª e 11ª ordem	3,66	21,25	0,98
		Futuro: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem	5,88	25,07	0,97
		Atual Contingência: Sem Filtros	4,53	21,85	0,88
		Atual Contingência: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem	3,87	24,33	0,97
		Futuro Contingência: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem	6,07	27,43	0,96
		* Futuro Contingência: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem e Filtro 5ª (2000kVAr) da CEB	3,64	21,25	0,97
	HP	Atual: Sem Filtro	6,15	10,36	0,95
		Atual: Com Filtro 5ª, 7ª e 11ª ordem	4,95	10,28	0,99
		Futuro: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem	6,33	11,51	0,99
		Atual Contingência: Sem Filtros	7,31	9,34	0,95
		Atual Contingência: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem	5,87	9,22	0,99
		Futuro Contingência: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem	7,22	10,03	0,99
		* Futuro Contingência: Com Filtros 5ª, 7ª e 11ª ordem e Filtro 5ª (2000kVAr) da CEB	4,56	13,06	0,98

*** Esta solução é de responsabilidade da CEB, visto que mesma é responsável pelas cargas residências, comerciais e industriais conectadas na barra. Neste caso utilizou-se outro filtro de 2000kVAr sintonizado na 5ª harmônica conectado na barra da SE BC e SE HIP para o futuro crescimento das cargas em 20 anos.**

O Filtro de Harmônica tem como função filtrar as harmônicas provenientes do circuito de tração do Metrô-DF para a rede de corrente alternada da CEB, a fim de evitar problemas decorrentes dessas harmônicas na rede, bem como evitar ressonâncias indesejadas.

Em função de estudos preliminares o projeto dos Filtros de Harmônicas para a modernização do Metrô-DF no trecho Anel Ceilândia Sul/Águas Claras e Anel Brasília Centro/Hípica devem filtrar três harmônicas diferentes, 5ª, 7ª e 11ª harmônicas, sendo denominado filtro de tripla sintonia que visam amortizar também os efeitos das harmônicas geradas pelas cargas não lineares existentes na CEB.

Apesar da presença dos Retificadores de 12 pulsos, os resultados obtidos em campo em várias destas aplicações têm mostrado que a resultante harmônica de 13° ordem, quando da instalação filtros de 11° ordem de forma amortecida, não ofende os limites prescritos na IEEE 519 (norma mais rígida referente ao controle das interferências harmônicas). Contudo, essa solução deverá ser confirmada pelo fornecedor dos equipamentos de filtragem harmônica considerando a avaliação/medição de toda rede de alimentação das SE/PEEs do Metrô-DF em 13,8 kV, as impedâncias dos cabos da rede e as respectivas cargas aplicadas através da realização de novas simulações computacionais.

Cada um dos filtros de harmônicos acima será composto por um banco de capacitores em série com reatores sintonizados na frequência desejada. Apenas o filtro de harmônicos de 11ª ordem é que será amortecido com um resistor instalado em paralelo com o reator.

A operação dos sistemas sem um equipamento de filtragem de harmônicos pode comprometer o funcionamento do Metrô-DF, em virtude dos altos índices de distorção no PEE HIP que estão acima dos limites recomendadas pela norma IEEE 519/2014 (DHTv < 5%).

Recomenda-se a aplicação de filtros sintonizados na 5ª, 7ª e 11ª ordem, que reduz os níveis de distorção harmônica total de tensão dentro dos limites recomendados pela norma em 13,8 kV (IEEE 519/2014).

Os filtros de harmônicos serão controlados por FP e/ou tempo, através de relé digital que receberá um sinal de TP e TC instalado na barra de alimentação das SEs/PEE.

Os filtros de harmônicos deverão possuir dispositivos (com TCs e multimedidores por fase) que limitem a distorção harmônica total de corrente (DHTi%) por fase devido às fortes influências das harmônicas advindas do sistema elétrico da CEB e que tendem a crescer com o aumento da demanda ao longo dos anos.

Os filtros deverão ter uma lógica crescente de entrada (5ª, 7ª e 11ª ordens) e decrescente de saída (11ª, 7ª e 5ª ordens) que estarão intertravados para evitar outros modos de operação. Os filtros de maior ordem não podem de forma alguma operar sem os filtros de menor ordem, ou seja, o filtro de 11ª ordem não pode operar sem os filtros de 5ª e 7ª ordem e o filtro de 7ª ordem não pode operar sem o filtro de 5ª ordem, para evitar problemas sérios de anti-ressonâncias.

Observa-se que o crescimento das cargas residenciais, comerciais e industriais durante os anos aumenta o valor da distorção harmônica total de tensão nas barras assim como a distorção total de corrente no transformador. Entende-se que o

aumento das distorções supracitadas é de responsabilidade da concessionária (CEB) e assim a mesma deve realizar operações para filtragem do correspondente conteúdo harmônico de tais cargas.

Com o crescimento das cargas os filtros passarão a drenar mais correntes harmônicas até atingir seu limite de suportabilidade podendo danificar o equipamento. Assim, os filtros de harmônicos deverão possuir dispositivos (com TCs e multimedidores por fase) que limitem a distorção harmônica total de corrente (DHTi%).

Para o anel Brasília Centro/Hípica, a pior condição de funcionamento será em contingência, ou seja, quando o anel alimentar também a SR07 e SR08, tanto para o caso atual quanto para o futuro com filtros. Apenas nestes casos, a DHTv atinge 5,87% e 7,22% na SE Hípica e 3,87% e 6,07% na SE Brasília Centro. Assim, recomenda-se que a operação de contingência do Anel Brasília Centro/Hípica seja realizada por tempo determinado para evitar danos de isolação, térmico e de má operação no sistema elétrico do Metrô-DF.

Para o futuro, recomenda-se a realização de uma nova medição e estudo de fluxo harmônico para analisar o aumento do conteúdo harmônico, em virtude do crescimento das cargas alimentadas pela CEB, para dimensionamento de uma solução que atenda aos requisitos da qualidade de energia. Caso as cargas do Metrô-DF venham a aumentar com os anos, a mesma também deve seguir as recomendações acima e se responsabilizar pelo conteúdo harmônico produzido.

Recomenda-se tratativas com a CEB para substituição dos filtros existentes sintonizados na 11ª ordem pela solução proposta neste trabalho, visto que os mesmo devem estar com a vida útil avançada, já apresentaram problemas de amplificação harmônica devido ao efeito da anti-ressonância gerada por estes filtros em frequências harmônicas de menor ordem e a redução do fator de potência no ponto de aplicação (efeito contrário ao esperado) quando este equipamentos eram energizados.

Do ponto de vista da qualidade da energia elétrica, sobretudo harmônicos, os resultados evidenciam que a maior parte da distorção harmônica de tensão nas barras de alimentação é de responsabilidade da CEB, em virtude da presença de carga residenciais, comerciais e industriais e o crescimento das mesmas. Até então, não houve aumento da carga do Metrô-DF que produziria o aumento de distorção harmônica de tensão relatada.

Em vista do exposto acima, apresenta-se uma ideia de solução técnica com objetivo de separar as responsabilidades quanto à geração de conteúdo harmônico no sistema elétrico: Alimentação independente para o Metrô-DF em 138kV. Essa condição resultaria nas seguintes vantagens:

- ✓ Redução dos valores de correntes harmônicas a serem drenadas pelos filtros de harmônicos, visto a separação dos barramentos da CEB e do Metrô-DF, com redução significativa dos valores nominais dos filtros de harmônicos;

- ✓ Redução de custos de implantação e manutenção dos filtros harmônicos;
- ✓ Os valores atuais e futuros de distorção harmônica de total de tensão seriam praticamente os mesmos, caso a carga do Metrô-DF não seja alterada, mesmo havendo alteração do quantitativo de carga da CEB;
- ✓ Redução da fatura mensal de energia, pois no 138kV o valor é significativamente inferior aos custos tarifários praticados no 13,8kV;
- ✓ Aumento da estabilidade do sistema elétrico do Metrô-DF e redução da oscilação da energia na ocorrência de faltas em alimentadores da CEB em 13,8kV;
- ✓ Diminuição da interrupção do funcionamento do Metrô-DF em virtude de possíveis defeitos ocorridos no sistema elétrico da CEB, aumentando a qualidade do serviço prestado ao usuário;

ANEXO I - TEORIA DE CÁLCULO DE FILTROS DE HARMÔNICOS PASSIVOS

1 INTRODUÇÃO

Diante do crescente emprego das cargas elétricas especiais (também denominadas de fontes harmônicas), e dos efeitos prejudiciais dos harmônicos para as instalações elétricas em geral, impõe-se a necessidade de adotar medidas de controle e redução dos níveis de "poluição" harmônica nessas instalações. Dentre as medidas possíveis, uma das mais eficazes e importantes consiste da instalação de filtros harmônicos em derivação nos circuitos de potência.

O objetivo fundamental de um filtro harmônico consiste em reduzir a amplitude de uma ou mais correntes ou tensões harmônicas, em uma determinada parte do sistema. Todavia, já que as instalações que apresentam problemas de perturbações harmônicas normalmente também necessitam de compensação reativa, os filtros, conectados em paralelo com o sistema e próximos às fontes harmônicas, poderão também servir à tarefa adicional de prover potência reativa a frequência fundamental. Isto significa que dois aspectos se entrelaçam na determinação de filtros harmônicos: o desempenho de filtragem e a compensação reativa.

Quanto à filtragem, as correntes oriundas das cargas especiais fluirão para o interior dos filtros e também penetrarão o sistema CA, em magnitudes que dependerão da relação entre suas respectivas admitâncias, para as frequências consideradas. O padrão desejado da admitância do circuito de filtragem pode ser obtido através da apropriada combinação de elementos capacitivos, indutivos e resistivos, formando, por exemplo, braços de filtros sintonizados ou amortecidos, em combinações variadas.

2 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS FILTROS DE HARMÔNICOS

Filtros são circuitos capazes de separar sinais elétricos (correntes e tensões), alterando as características de amplitude e fase desses sinais. Este processo de separação dos sinais elétricos ou, simplesmente, filtragem, ocorre graças às diversas características das curvas de impedância dos diferentes filtros com relação ao espectro de frequências.

Desse modo, de acordo com o tipo de filtro, a finalidade de filtragem e a característica de frequência do filtro empregado, rejeitam-se sinais de frequências indesejáveis ou, contrariamente, deixam-nos passar.

Os filtros são primordialmente classificados conforme suas características de impedância com a frequência. Assim, estes filtros podem ser agrupados em duas categorias, a saber:

I) Filtros sintonizados.

II) Filtros amortecidos.

Os filtros sintonizados são circuitos ressonantes formados por elementos R, L e C em série ou combinações série-paralela destes elementos de circuito. Nestes filtros, os

elementos capacitivos e indutivos são escolhidos de modo que os circuitos apresentem uma, duas ou três frequências de ressonância.

Os filtros amortecidos são circuitos formados por capacitores, indutores e resistores em diversas combinações. São circuitos capacitivos à frequência fundamental, como os filtros sintonizados, e apresentam baixa impedância predominantemente resistiva, para frequência, denominada frequência de sintonia.

2.1 FILTROS PASSIVOS SINTONIZADOS

Os filtros sintonizados são circuitos ressonantes série que, na frequência de sintonia ou de ressonância, apresentam baixa impedância resistiva. Para frequências menores que a frequência de sintonia são capacitivos, e para as frequências superiores àquela frequência são indutivos. Portanto, para a frequência fundamental, estes filtros podem funcionar como compensadores de reativo.

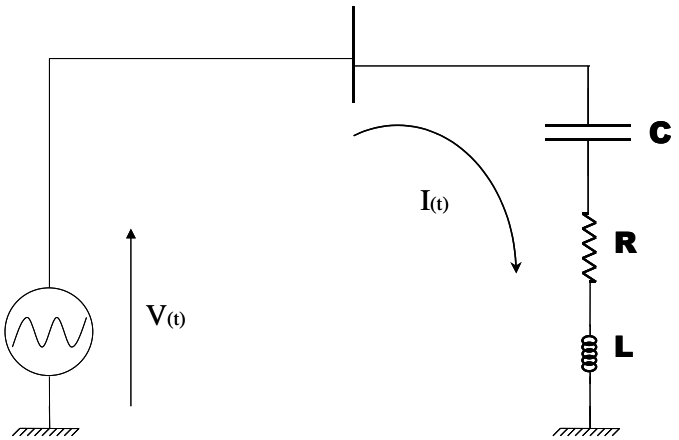


Figura 1- Diagrama de um circuito RLC série (filtro).

Apesar da definição de ressonância série em capítulo anterior, esta será revista do ponto de vista de filtro. Pode-se dizer que a ressonância série é uma condição na qual um circuito contendo pelo menos um indutor e um capacitor apresentará uma impedância de entrada puramente resistiva.

Consequentemente, aplicando-se este conceito ao circuito série da figura 1, cuja impedância complexa é dada pela equação 1, observa-se que, ajustando-se a frequência da fonte, existirá um valor de frequência em que esta impedância será puramente resistiva.

$$Z(w) = R + j.[w.L - \frac{1}{w.C}] \qquad [1]$$

Onde, w é a frequência angular da fonte de alimentação, e R, L e C são os valores dos componentes indicados na figura 6.1.

A condição de ressonância, conforme estabelecida acima, aplicada à equação 1 possibilitará a determinação da frequência que anulará a parte imaginária de Z(w):

$$[w.L - \frac{1}{wC}] = 0 \qquad [2]$$

Assim, explicitando-se a frequência w na equação 2 obtém-se a frequência angular de ressonância do circuito série, que é dada por:

$$w_o = \frac{1}{\sqrt{L.c}} = 2.\pi.f_o = \frac{2.\pi}{T_o} \qquad [3]$$

Onde, w_O é a frequência angular de ressonância do circuito RLC.

Observa-se na equação 3 que w_O é função, apenas, dos componentes L e C do circuito. Portanto, esta frequência (w_O) é uma característica do circuito RLC série. Isto significa que, se a fonte de alimentação (de pulsação w variável) coincidir sua frequência com a frequência w_O própria do circuito, o fará entrar em ressonância série. Procurando então ilustrar, graficamente, as condições de ressonância série, serão tomados o módulo e o ângulo de fase da impedância do circuito da figura 1, conforme indicam as equações 4 e 5:

$$Z(w) = \sqrt{R^2 + [w.L - \frac{1}{w.C}]^2} \qquad [4]$$

$$\phi(w) = tg^{-1}[\frac{w.L - 1/w.C}{R}] \qquad [5]$$

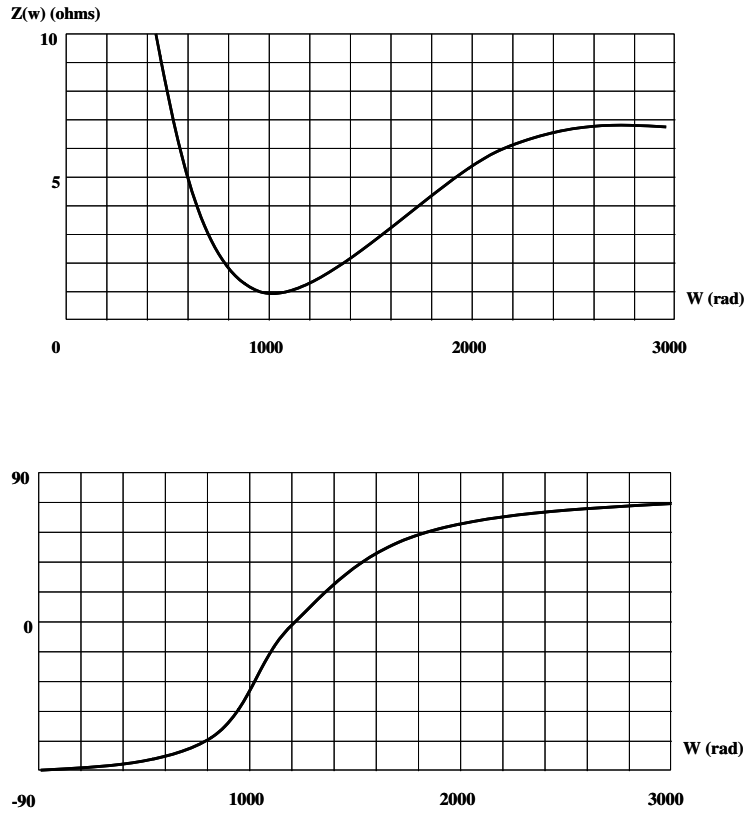
Onde:

Z(w): É o módulo da impedância complexa dada por (1), em função da frequência w;

φ(w): É o ângulo da impedância Z(w), em função de w. Este ângulo difere de φ, apenas, pelo sinal oposto, tomando-se na referência a tensão da fonte dada por 6.

$$V(t) = \sqrt{2}V\cos(wt) \qquad [6]$$

As representações gráficas das equações 4 e 5, respectivamente, estão ilustradas nas figuras 44 e 45, para um dado circuito RLC série de resistência R = 1 Ω, capacitância C= 100 μF e indutância L = 10 mH, cuja frequência angular ressonante (w_O) é 1000 rad/s.



Figuras 2 e 3 - Impedância de um circuito RLC série versus frequência. (3) Módulo. (4) Ângulo.

Pela observação da figura 2 verifica-se que, na frequência de ressonância, a impedância é mínima. Verifica-se também que o módulo de Z(w) aumenta indefinidamente quando w tende para zero ou infinito. Por outro lado, da figura 3, conclui-se que o ângulo de Z(w) anula-se para w = w_O. Este fato demonstra que, na ressonância série, o circuito será puramente resistivo. Observa-se também que aumentando a frequência além do w_O, os ângulos da impedância serão positivos e cada vez mais próximos de +90º. Isto implicará que a impedância será predominantemente indutiva nas altas frequências. Inversamente, para frequências baixas e inferiores a frequência de ressonância, o circuito será predominantemente capacitivo.

Uma outra forma de ilustrar a ressonância série consiste em analisar o módulo da corrente elétrica que atravessa os elementos R, L e C. Considerando-se, então, o

circuito da figura 1, sua corrente será dada em função da frequência w, para uma tensão de alimentação de amplitude constante, conforme indica a relação 7.

$$I(w) = \frac{V(w)}{\sqrt{R^2 + (w.L - 1/w.C)^2}} = V(w).Y(w) \qquad [7]$$

Onde:

I(w) e V(w): São, respectivamente, os módulos da corrente e da tensão de alimentação, em função de w;

Y(w): É o módulo da admitância do circuito RLC série, que equivale ao inverso de Z(w).

2.1.1 Comportamento da Energia

O circuito RLC série, conforme ilustrado na figura é composto de elementos que armazenam a energia elétrica (capacitor e indutor) e um elemento que dissipa essa energia sob a forma de calor (resistor).

Por conseguinte, é útil avaliar estas energias quando da condição de ressonância, sendo que elas poderão trazer informações importantes sobre o funcionamento do circuito.

A energia armazenada no capacitor é dada pela equação 8:

$$W_C(t) = \frac{1}{2}.C.v_C^2(t) = \frac{I^2}{w_o^2.C}.\cos^2(w_o.t - 90°) \qquad [8]$$

Já no indutor, a energia armazenada é dada pela equação 9.

$$W_L(t) = \frac{1}{2}.L.i_L^2(t) = L.I^2.\cos^2(w_o.t) \qquad [9]$$

A energia total instantânea armazenada é, portanto, constante e este valor é também o valor máximo, conforme indica a equação 10.

$$W(t) = W_L(t) + W_C(t) = L.I^2 = \frac{1}{w_o^2.C}.I^2 \qquad [10]$$

Por outro lado, a energia perdida no resistor, durante um período, será obtida multiplicando-se a potência média no resistor pelo período correspondente à condição de ressonância:

$$W_{dissipada} = p_{dissipada} T_o = R.I^2.\frac{2.\pi}{w_o} \qquad [11]$$

Onde, w_O é a frequência angular de ressonância definida pela equação 3.

Considerando-se os dois aspectos de um circuito ressonante, que são: (1) - a máxima energia que é capaz de armazenar e; (2) - as perdas elétricas de energia apresentadas, verifica-se, experimentalmente, que o "afunilamento" ou o pronunciamento das suas curvas de resposta (corrente, impedância, ou admitância versus frequência) será determinado pela relação dessas grandezas. Desta constatação resulta a definição de um parâmetro muito importante, denominado fator de qualidade, o qual será descrito a seguir.

2.1.2 Fator de Qualidade

O fator de qualidade é um parâmetro adimensional definido (tanto para circuitos como para componentes) através da relação entre a máxima energia armazenada e a energia total dissipada por período. Assim, designando-se tal parâmetro pelo símbolo Q, sua definição, conforme a referência é dada por 12:

$$Q = 2.\pi.[\frac{máxima energia armazenada no circuito}{energia total dissipada por período}] \qquad [12]$$

O fator Q, conforme será demonstrado significa uma medida de grau de pronunciamento das curvas de resposta dos circuitos ressonantes.

Consequentemente, dada à importância do fator de qualidade no estudo de filtros, a partir da definição 12, serão obtidas relações úteis que envolvem a frequência de ressonância e os parâmetros do circuito. Considerando-se, então, o circuito ressonante série da figura 1 e as deduções feitas sobre energia (armazenada e dissipada), pode-se expressar o fator de qualidade, à frequência de ressonância (w_O), em função dos valores dos componentes, conforme mostra a equação 13.

$$Q = \frac{Z_o}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} \qquad [13]$$

Onde:

Q = Fator de qualidade

Zo = Impedância natural do sistema

L, C e R = Elementos do filtro.

Entretanto, vale ressaltar que é comum referir-se a fatores de qualidade de reatores, ou de capacitores, como elementos isolados, sendo, portanto outra equação.

O fator de qualidade dos filtros sintonizados também pode ser visto com uma medida do grau de seletividade desses circuitos, quanto às frequências harmônicas. Quanto maior for o fator Q mais seletivo será o filtro, ou seja, ele impedirá cada vez mais a absorção das correntes harmônicas de frequências diferentes daquela de sintonia.

2.1.3 Dessintonia

Variações de frequência ocorrem em qualquer sistema elétrico devido às pequenas modificações de carga e geração. Nos sistemas elétricos reais, variações da ordem de ± 0,15 Hz podem ser observadas.

Os filtros sintonizados, em especial, são sensíveis a estas variações que ocorrem na frequência do sistema elétrico, como também a quaisquer outros fatores que tenham alguma influência sobre os valores dos seus componentes. Assim, se um filtro sintonizado é dimensionado para ter uma impedância mínima para uma dada frequência, três fatores independentes contribuem para dessintonizar o circuito para a harmônica correspondente:

a) variação da frequência do sistema c.a;

b) erro de sintonia inicial, devido ao degrau mínimo de sintonia do reator do filtro, dada à própria característica discreta de seus enrolamentos, e também devido aos erros inerentes à medição;

c) variação da capacitância total, devido à variação da temperatura, ou devido à falha de um ou mais elementos de capacitor, bem como variações entre o valor projetado com o valor obtido após a fabricação (tipicamente entre +2,5% à +7,5 %).

Pode-se também calcular o desvio equivalente de frequência (dessintonia) pela relação 14.

$$\delta = \frac{w - w_o}{w_o} \qquad [14]$$

2.2 FILTROS PASSIVOS AMORTECIDOS

Os filtros amortecidos são circuitos formados por elementos R, L e C, em diferentes combinações, que oferecem baixa impedância sobre uma larga faixa de frequência. Estes circuitos, quando são empregados para filtrar correntes de ordens harmônicas elevadas são denotados por filtros passa - alta.

Na frequência fundamental, a exemplo dos filtros sintonizados, os filtros amortecidos também apresentam impedância predominantemente capacitiva. Já nas frequências superiores, eles são essencialmente resistivos.

Os modelos dos filtros amortecidos são basicamente de quatro tipos: os filtros amortecidos de primeira, segunda e terceira ordens, e o filtro tipo "C". Estes modelos estão ilustrados na figura 4.

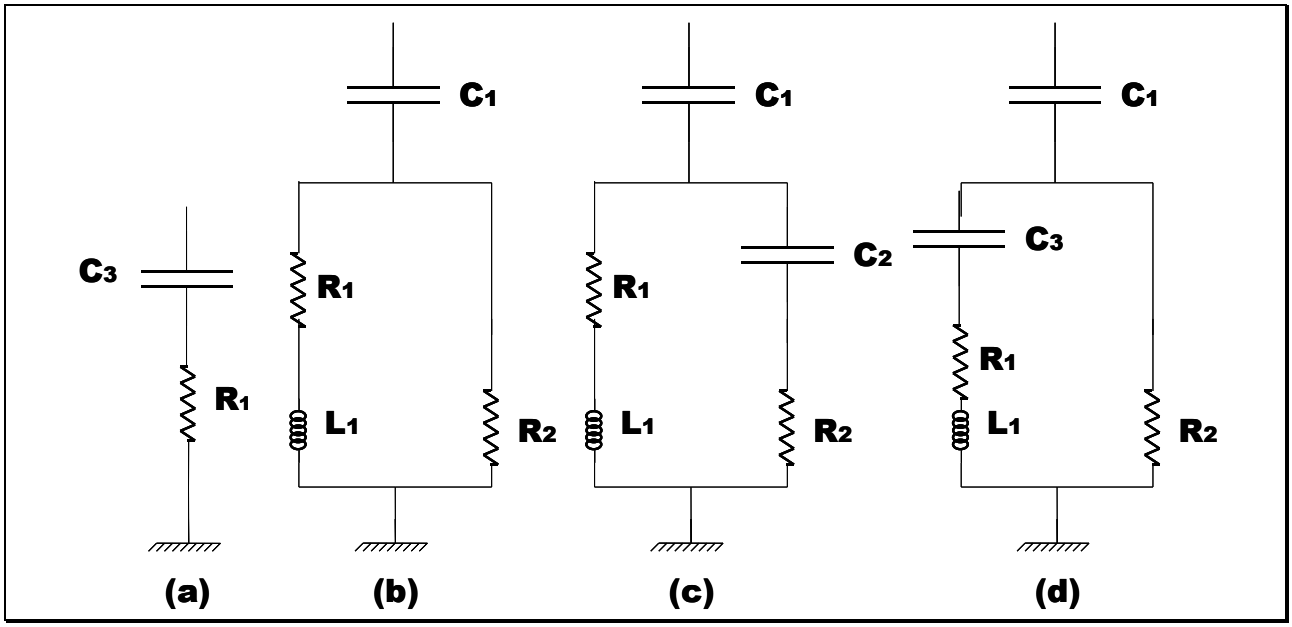


Figura 4 - Filtros amortecidos: (a) 1ª Ordem (b) 2ª Ordem (c) 3ª Ordem (d) Tipo "C".

Dentre os filtros amortecidos, o de 1ª ordem, ilustrado na figura 4a, não é utilizado em aplicações práticas por requerer um grande capacitor e por apresentar excessivas perdas de energia à frequência fundamental. Já os demais filtros amortecidos são largamente utilizados nos sistemas elétricos, e a escolha entre os modelos prende-se aos requisitos de desempenho de filtragem e de perdas de energia.

Por conseguinte, dada à diversidade de modelos de filtros amortecidos e em consideração às peculiaridades de cada modelo, notadamente, no que se referem aos parâmetros característicos, eles serão, então, analisados separadamente.

2.2.1 Filtro Amortecido de 2ª Ordem

Inicialmente, definem-se as grandezas frequência característica, impedância natural e fator de amortecimento, conforme indicam as equações 15, 16 e 17:

- frequência característica:

$$w_o = \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot C_1}} \qquad [15]$$

- impedância natural:

$$Z_o = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = w_o \cdot L_1 = \frac{I}{w_o \cdot C_1} \qquad [16]$$

- fator de amortecimento:

$$d = \frac{R_2}{Z_o} \qquad [17]$$

A impedância complexa do filtro amortecido de 2ª ordem, para uma frequência w genérica, foi calculada com base nas grandezas características já definidas, desprezando-se a resistência R1. O componente R1, nesta fase do estudo, será desprezado para propiciar a interpretação do significado das grandezas Wo, Zo e d, anteriormente definidas. Tendo em vista também que R1 (a qual geralmente corresponde à resistência própria do reator L1) normalmente possui valor relativamente baixo.

Assim, sendo a equação 18 expressa **Z**f(w) em função de Wo, Z_O e d.

$$Z_f(w) = Z_o \cdot \{ \frac{d + j.(\frac{1}{x}).[d^2 - 1 - (\frac{d}{x})^2]}{1 + (\frac{d}{x})^2} \} \qquad [18]$$

Onde:

$$X = \frac{w_o}{w} \qquad [19]$$

Sendo assim, com base nas grandezas características do filtro amortecido de 2ª ordem, e nas suas expressões de impedância como função da frequência harmônica (equação 18), poder-se-á extrair as propriedades básicas deste tipo de filtro, como também esboçar sua curva característica de impedância versus frequência.

Em primeiro lugar, verifica-se da equação 18 que, para "d" fixo, à medida que a frequência aumenta (ou seja, para valores elevados de "x"), a impedância do filtro tenderá ao valor (Zo x d), que equivale a R2. Este efeito será mais ou menos acentuado dependendo do valor do parâmetro "d".

Já para as ordens harmônicas baixas e, principalmente, à frequência fundamental (ou seja, valores reduzidos de "x"), o filtro de 2ª ordem será predominantemente capacitivo, independentemente do valor de "d".

Assim, de acordo com o que está indicado nas relações 20, 21 e 22, admitindo-se exclusivamente d > 1, ter-se-á comportamento capacitivo, resistivo ou indutivo para este tipo de filtro.

$$w < w_o \cdot \sqrt{\frac{d^2}{d^2 - 1}} \rightarrow Z_f(w) capacitiva \qquad [20]$$

$$w = w_o \cdot \sqrt{\frac{d^2}{d^2 - 1}} \rightarrow Z_f(w) resistiva \qquad [21]$$

$$w > w_o \cdot \sqrt{\frac{d^2}{d^2 - 1}} \rightarrow Z_f(w) indutiva \qquad [22]$$

No caso contrário, isto é, para valores de "d" menores ou iguais à unidade (d=1), o filtro será sempre capacitivo, independentemente da frequência.

Finalmente, a partir dessas considerações, pode-se representar graficamente a magnitude da impedância do filtro amortecido de 2ª ordem como função da frequência, conforme ilustra a figura 5.

Diante do exposto, conclui-se que o filtro amortecido de 2ª ordem tem sua característica em função da frequência, efetivamente, governada pelos parâmetros d, w_O e Zo. Isto significa que, definindo-se convenientemente os valores desses parâmetros, poder-se-á obter um filtro capacitivo à frequência fundamental, e que, simultaneamente, ofereça impedâncias suficientemente baixas (tendendo ao valor de R2) para as frequências maiores do que uma dada frequência escolhida.

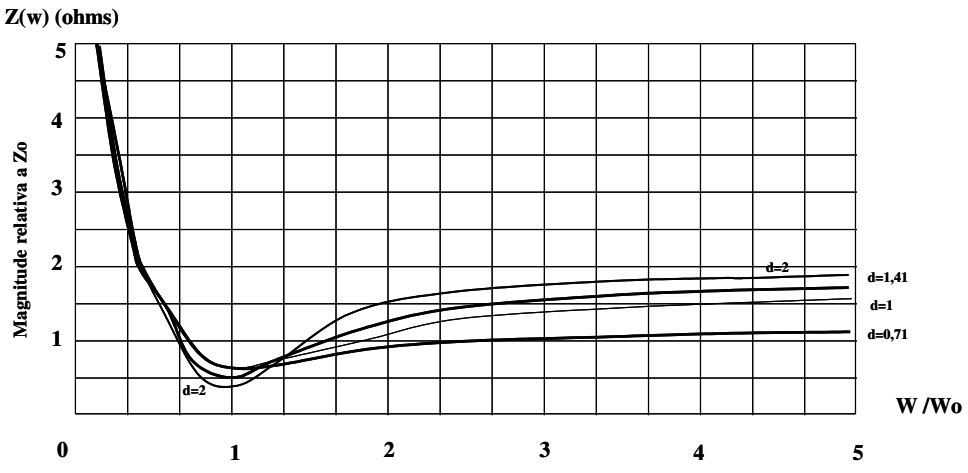


Figura 5 - Magnitudes da impedância do filtro amortecido de 2ª ordem versus frequência, para diferentes valores de "d".

2.2.2 Filtro Amortecido de 3ª Ordem

Baseando-se no circuito da figura 4.c, e desprezando-se a resistência R1, definem-se as grandezas características do filtro amortecido de 3ª ordem, para o caso particular em que C1 = C2, de maneira similar às equações 15, 16 e 17.

Ressalta-se que, a condição C1 = C2 será destacada porque a consideração de C1= C2 implicaria na existência de duas frequências características distintas, conforme será discutido posteriormente. Além disso, os filtros amortecidos de 3ª ordem usualmente empregados em sistemas de filtragem possuem C1 = C2.

Consequentemente, procedendo-se de modo análogo ao caso do filtro de 2ª ordem, obtém-se a equação 23. Esta equação fornece a impedância do filtro de 3ª ordem em termos de frequência w e dos seus parâmetros característicos.

$$Z_f(w) = Z_o.[\frac{1}{j.x} + (\frac{1}{d + \frac{1}{j.x}} + \frac{1}{j.x})^{-1}] \qquad [23]$$

Onde, "x" é a variável definida anteriormente através da relação [19]

Da equação 23, tomando-se o limite de **Z**F(w) quando "x" tende a valores muito altos, verifica-se que a impedância do filtro convergirá para o valor (Zo x d) que equivale a R2, em conformidade com a equação 17. Contrariamente, para valores muito reduzidos de "x", ou seja, para frequências baixas e inferiores à frequência w_O ter-se-á uma elevada impedância.

Além disso, ainda com base na equação 23 verifica-se que, para a frequência harmônica coincidente com a frequência característica (w_O), o filtro de 3ª ordem apresentará impedância puramente resistiva, independentemente do valor do parâmetro "d". Desse modo, nesta frequência (w = w_O), o valor da impedância do filtro será dado pela equação 24, obtida da substituição de x=1 em 23.

$$Z_f(w = w_o) = \frac{Z_o}{d} \text{ (para qualquer 'd')} \qquad [24]$$

Assim, com base na equação 23, as curvas de magnitude da impedância deste tipo de filtro, em função da frequência, para diversos valores do fator de amortecimento (d), como ilustra a figura 6.

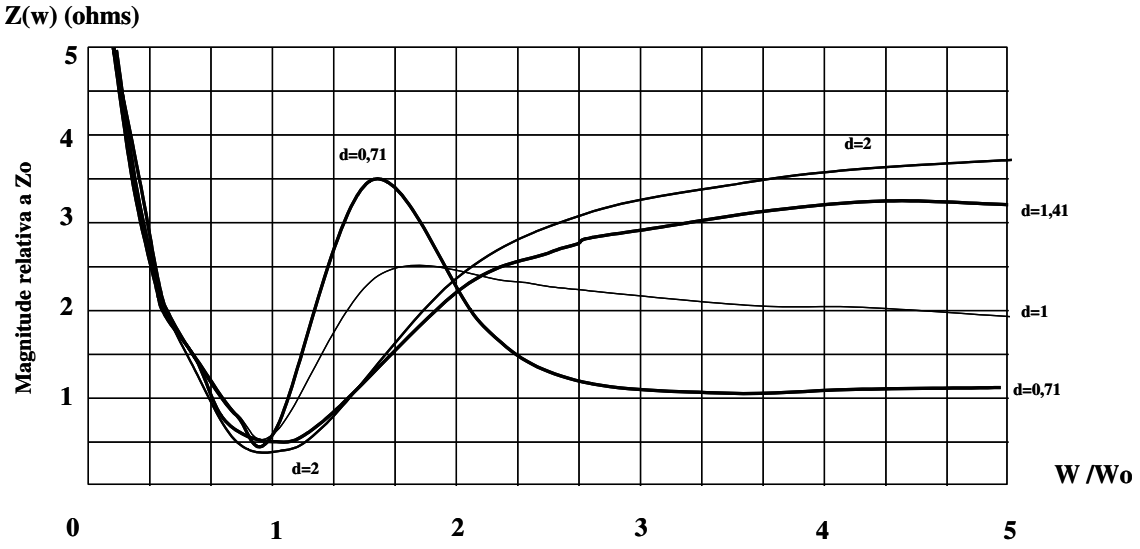


Figura 6 - Magnitudes da impedância do filtro amortecido de 3ª ordem versus frequência, para diferentes valores de "d".

Neste ponto, ressalta-se que o fator de amortecimento (d), definido para os filtros amortecidos, e o fator de qualidade (Q) dos filtros sintonizados guarda uma relação de semelhança pelo menos no que se refere ao significado físico (apesar de serem definidos por expressões inversas).

Nos filtros sintonizados, como foi demonstrado, quanto menor for a resistência (que fica em série com o indutor ou do próprio indutor) mais seletivo será o circuito. Já para os filtros amortecidos, por causa do resistor em paralelo com o indutor (no caso, R2), quanto mais alto for R2 mais "aguda" será a sintonia do circuito. Isto é, em ambos os casos estes parâmetros (d e Q) representam a seletividade dos filtros. No entanto, para o filtro de 3ª ordem, embora a definição adotada para "d" seja a mesma do filtro de 2ª ordem, o efeito do aumento deste fator será o de intensificar a ressonância, e também tornar a anti-ressonância mais acentuada.

Regra geral, o filtro amortecido de 3ª ordem apresenta duas frequências características. Todavia, essas duas frequências serão distintas exclusivamente no caso em que C1 diferente de C2. Neste caso, entre essas duas frequências, a impedância harmônica do filtro será indutiva.

Em qualquer outra parte do espectro a impedância será capacitiva. Por outro lado, à medida que o valor da capacitância C2 se aproxima do valor de C1, o trecho indutivo da impedância tende a desaparecer até que, quando C1 = C2, somente uma frequência característica existirá, tal como foi estudado a partir da equação 23. Nesta situação, a impedância será capacitiva sobre uma larga faixa de frequência, inclusive próximo à frequência característica. Esta situação corresponde ao arranjo mais conveniente, por isso, é o mais enfocado nos estudos.

2.2.3 Filtro Amortecido Tipo "C"

O filtro tipo "C" difere dos outros filtros amortecidos por apresentar o ramo RLC série (constituído pelos elementos C3, L1 e R1, indicados na figura 4 sintonizado à frequência fundamental. Isto implicará que, em condições normais, para esta frequência o ramo RLC sintonizado apresentará uma impedância resistiva de valor R1, que, em vista do alto fator de qualidade do circuito ressonante, é normalmente escolhido de valor baixo. Assim a impedância deste filtro será dada, tão somente, pela reatância do capacitor (C1) combinada com o equivalente paralelo de R1 e R2 (Equação 25). Na prática, esta impedância será determinada pela capacitância C1, conforme indica (26).

$$Z_f(w = w_1) = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} - j.\frac{1}{w_1 \cdot C_1} \qquad [25]$$

$$Z_f(w = w_1) = j.\frac{1}{w_1 \cdot C_1} \qquad [26]$$

Esta característica do filtro amortecido tipo "C" implicará que as perdas elétricas resistivas, à frequência fundamental serão menores que aquelas verificadas nos demais filtros amortecidos.

Por outro lado, nas frequências superiores à fundamental, o filtro amortecido tipo "C" terá um comportamento muito parecido com aquele descrito para o filtro de 2ª ordem, tendo em vista a semelhança de seus circuitos. Neste caso, será então possível definir para este tipo de filtro os parâmetros característicos d, Wo e Zo. Do mesmo modo que no caso do filtro de 2ª ordem, à medida que a frequência aumenta, acima da frequência característica, o filtro tipo "C" tenderá a apresentar uma impedância igual a R2.

Em vista do exposto, conclui-se que, todos os filtros amortecidos são predominantemente capacitivos à frequência fundamental, e suas curvas características de impedância variam com a frequência e em função dos parâmetros d, Wo e Zo. Além disso, tais filtros, para as frequências maiores que uma dada frequência de sintonia escolhida (dependente de Wo), oferecerão uma impedância baixa praticamente resistiva, tendendo ao valor R2. Verifica-se também que, nas frequências inferiores àquela escolhida como a de sintonia, a impedância do filtro será relativamente elevada, portanto, absorvendo pouquíssima ou quase nenhuma corrente harmônica.

Todavia, os filtros amortecidos, em geral, apresentam vantagens e desvantagens. A principal vantagem é que esses filtros, durante a operação, não são sensíveis aos desvios de frequência até mesmo para as frequências próximas à de sintonia, exceto o filtro amortecido tipo "C", cujo ramo sintonizado sofrerá a ação da dessintonização. Uma desvantagem dos filtros amortecidos é que, normalmente, tais filtros requerem

maior potência reativa fundamental para alcançar o mesmo desempenho de filtragem que se conseguiria com filtros sintonizados de menor capacidade reativa.

3 PROCEDIMENTO BÁSICO DE CÁLCULO DE FILTROS HARMÔNICOS

Demonstra-se a seguir os passos para o projeto de filtros de harmônicos sintonizados ou amortecidos:

a) Definição da necessidade de reativos a ser fornecida por cada filtro em kVAr, normalmente obtida via simulação do fluxo de carga;

b) Definição tensão nominal rms e da tensão máxima de operação da barra onde o filtro de harmônicos vai ser conectado;

c) Definição da frequência de sintonia a ser adotada para a drenagem da corrente harmônica desejada, obtida através das medições e dos estudos de fluxo de harmônicos.

d) Cálculo da capacitância com base nos itens a, b e c, definidos acima:

$$C = \frac{Q_f}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V_n^2} \cdot \frac{h^2 - 1}{h^2} \qquad [27]$$

Onde:

Q_f = Potência do Filtro;

V_n = Tensão Nominal do Sistema;

h = Ordem harmônica do filtro

e) Definição da indutância de forma a atender a ressonância série entre o reator e o banco de capacitores na frequência de sintonia escolhida:

$$Fs = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}} \quad \rightarrow \quad L = \frac{1}{(2\pi * Fs)^2 * C} \qquad [28]$$

f) Definição através de programa computacional de fluxo de harmônicos dos seguintes parâmetros:

- ✓ Fator de Qualidade do reator e do filtro de harmônicos;

30 < FQ < 150 (fator de qualidade do filtro de harmônicos)

$$FQ_R = \frac{X_L}{R_L} \qquad [29]$$

$$FQ_F = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{R_L} \qquad [30]$$

Obs: O fator de qualidade do filtro definido é igual a 50.

✓ O Fator de amortecimento para o filtro de 11ª ordem é definido conforme equação abaixo.

$$D = \frac{R_2}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \qquad [31]$$

- ✓ Máxima dessintonia permitida para ajuste da proteção de desbalanço do equipamento, em valores percentuais de perda de capacitância, definidas pelo fornecedor do filtro de harmônicos;
- ✓ Conteúdo harmônico máximo a ser drenado pelo filtro de harmônicos, após a simulação computacional. Para os 20 anos previstos de operação dos filtros foi definido o conteúdo harmônico máximo igual 120% de In. aa CEB deverá providenciar filtros para a drenagem destas correntes harmônicas crescentes devido o aumento anual das suas cargas elétricas.
- ✓ Definição da tensão fase-fase máxima a ser suportada e da potência total do filtro pelos critérios de tensão máxima e ampacidade, em regime permanente:

$$V_{RMS} = \sum_{V_h=1}^{h\to 51} V_h \qquad [32]$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{V_h=1}^{h\to 51} I_h^2} \qquad [33]$$

- ➢ Em caso de filtro amortecido, escolha do tipo de filtro para definição dos componentes (capacitores, reatores e resistores) bem como do fator de amortecimento desejado.

ANEXO II - POTÊNCIA DE CURTO CIRCUITO

JOAO WELLISCH

De: Nelson Miranda <#47236@ceb.com.br>
Enviado em: sexta-feira, 4 de abril de 2014 11:23
Para: JOAO WELLISCH
Assunto: ENC: Projeto Básico do MEtrô-DF - Potência de Curto nas barras das SEs CEB

Prezado João Wellisch,

Seguem as informações solicitadas. Os curtos estão na base de 100MVA e 13,8kV na configuração dez/2016. Os valores podem sofrer alterações de acordo com as mudanças de configuração do sistema CEB definidas por nossa área de Planejamento.

Entretanto, procurei estimar a configuração que resultaria nos maiores valores de curto.

RELATORIO DE NIVEIS DE CURTO-CIRCUITO CONFIG DEZ/2016

IDENTIFICACAO NUM.	NOME	VBAS	TRIFASICO MOD(MVA)	TRIFASICO ANG(gr)	MONOFASICO MOD(MVA)	MONOFASICO ANG(gr)	
17382	SE-SO 13.8kV	13.8	320.78	-89.41	328.42	-89.59	(Samambaia Oeste)
17112	SE-AC 13.8kV	13.8	421.34	-88.12	450.80	-88.66	(Águas Claras)
17122	SE-BC 13.8kV	13.8	473.11	-89.34	486.52	-89.55	(Brasília Centro)
17152	SE-CN 13.8kV	13.8	316.78	-89.27	324.42	-89.50	(Ceilândia Norte)
17162	SE-CS 13.8kV	13.8	365.80	-89.39	374.65	-89.58	(Ceilândia Sul)
17422	SE-EN 13.8kV	13.8	256.10	-89.58	260.66	-89.72	(Estádio Nacional)
17372	SE-HP 13.8kV	13.8	253.12	-89.36	258.59	-89.56	(Hípica)

Faixas de Tensão [kV]

SE	TENSÃO NOMINAL	CARGA PESADA MÁX.	CARGA PESADA DESEJ.	CARGA PESADA MÍN.	CARGA MÉDIA MÁX.	CARGA MÉDIA DESEJ.	CARGA MÉDIA MÍN.	CARGA LEVE MÁX.	CARGA LEVE DESEJ.	CARGA LEVE MÍN.
SO	13,8	14,2	14,0	13,8	14,2	13,9	13,6	13,9	13,7	13,5
AC	13,8	14,2	14,0	13,7	14,2	13,9	13,6	14,2	13,9	13,6
CS	13,8	14,2	14,0	13,7	14,2	13,9	13,6	14,2	13,9	13,6
CN	13,8	14,2	14,0	13,9	13,9	13,8	13,6	13,9	13,8	13,6
BC	13,8	13,7	13,4	13,2	13,7	13,4	13,2	13,2	13,0	12,8
HP	13,8	13,6	13,4	13,3	13,6	13,4	13,3	13,6	13,2	13,1
EN	13,8	13,6	13,4	13,2	13,5	13,4	13,1	13,5	13,3	13,1

Informamos ainda que estamos à disposição para quaisquer esclarecimentos adicionais.

Atenciosamente,

Nelson Miranda
CEB Distribuição S/A
Gerência de Engenharia do Sistema-GRES

Antes de imprimir pense em seu compromisso com o Meio Ambiente.

De: Nelson Miranda
Enviada em: segunda-feira, 31 de março de 2014 14:24
Para: 'JOAO WELLISCH'
Assunto: RES: Projeto Básico do MEtrô-DF - Potência de Curto nas barras das SEs CEB

Prezado João,

Tivemos outra prioridade de tabalho aqui na CEB, por isso não pude levantar as informações. Acredito que até sexta-feira, 04/04/2014, encaminharei as informações solicitadas.

Certo de vossa compreensão,

Atenciosamente,

Nelson Miranda
CEB Distribuição S/A
Gerência de Engenharia do

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.

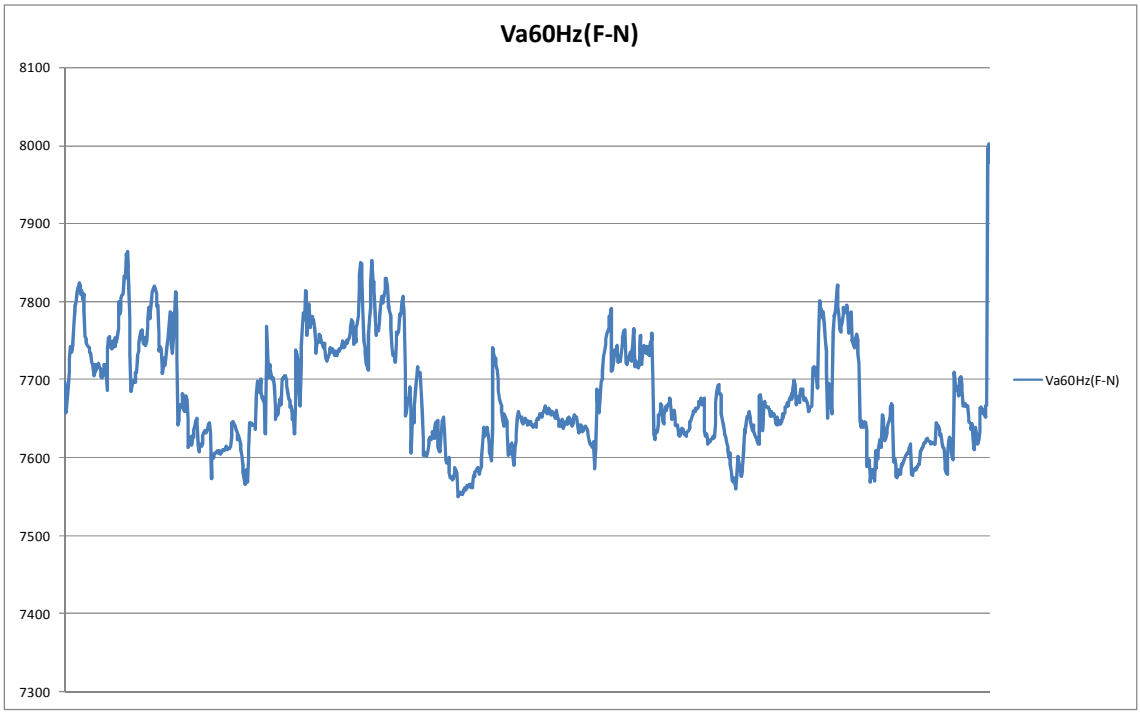
Também ter por objetivo a especificação técnica dos equipamentos de compensação reativa e filtragem de harmônicos que deverão ser instalados em cada subestação do Metrô - DF, visando atender aos limites de correção do FP e os limites de distorção de tensão recomendado pela norma IEEE 519/1992.

2 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM CAMPO

3 Subestação Brasília Centro

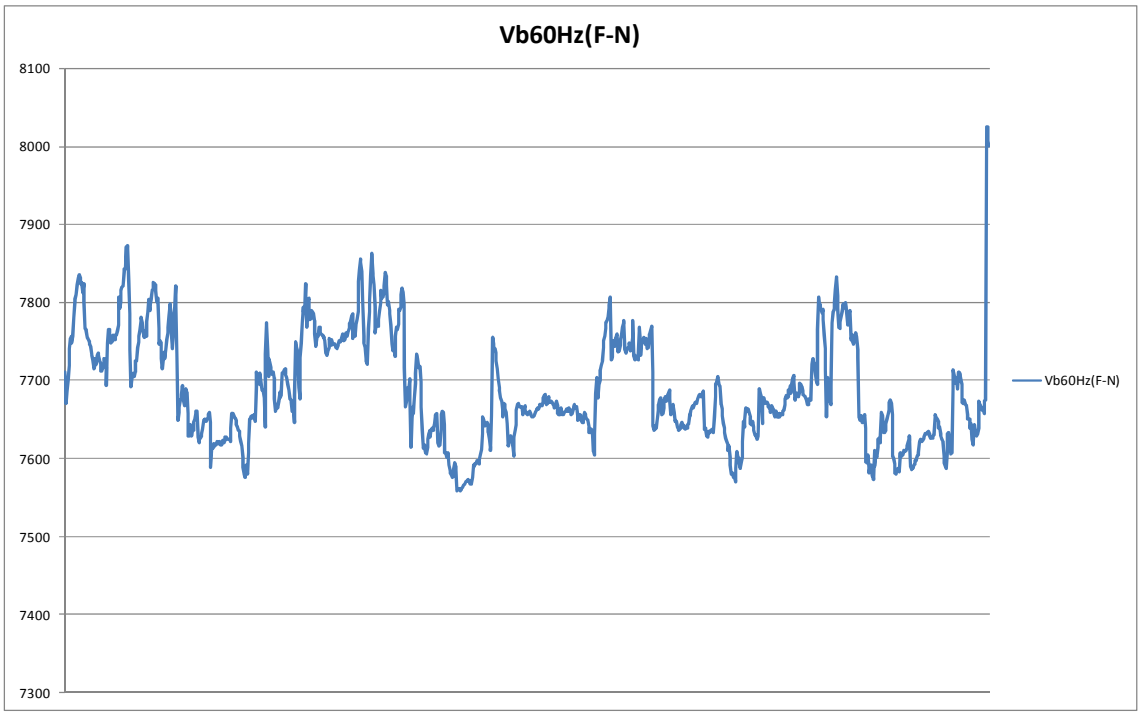
a) Tensões RMS Fase-Neutro em Volts:

- Fase A:



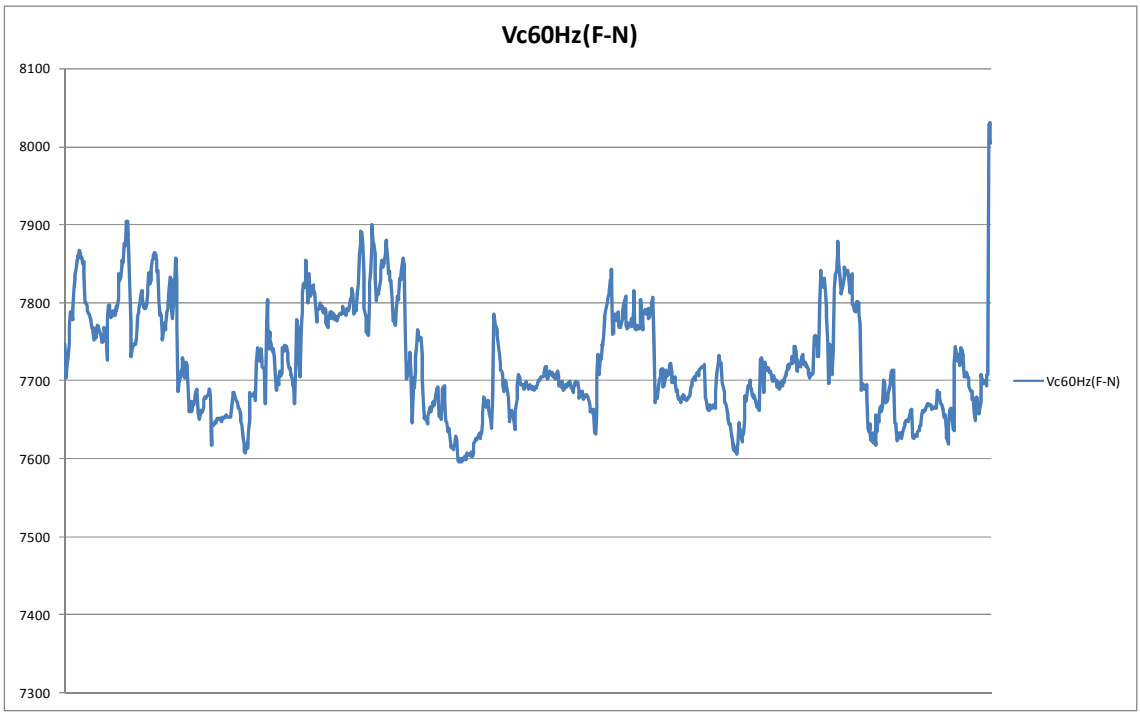
Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

- Fase B:



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

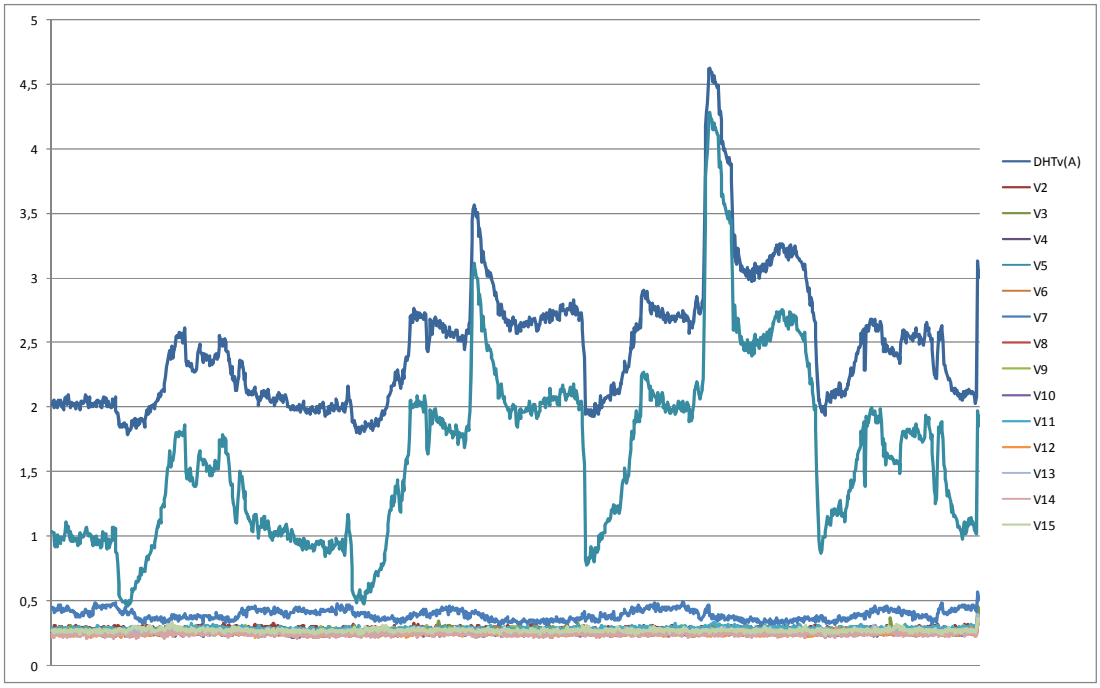
- Fase C:



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

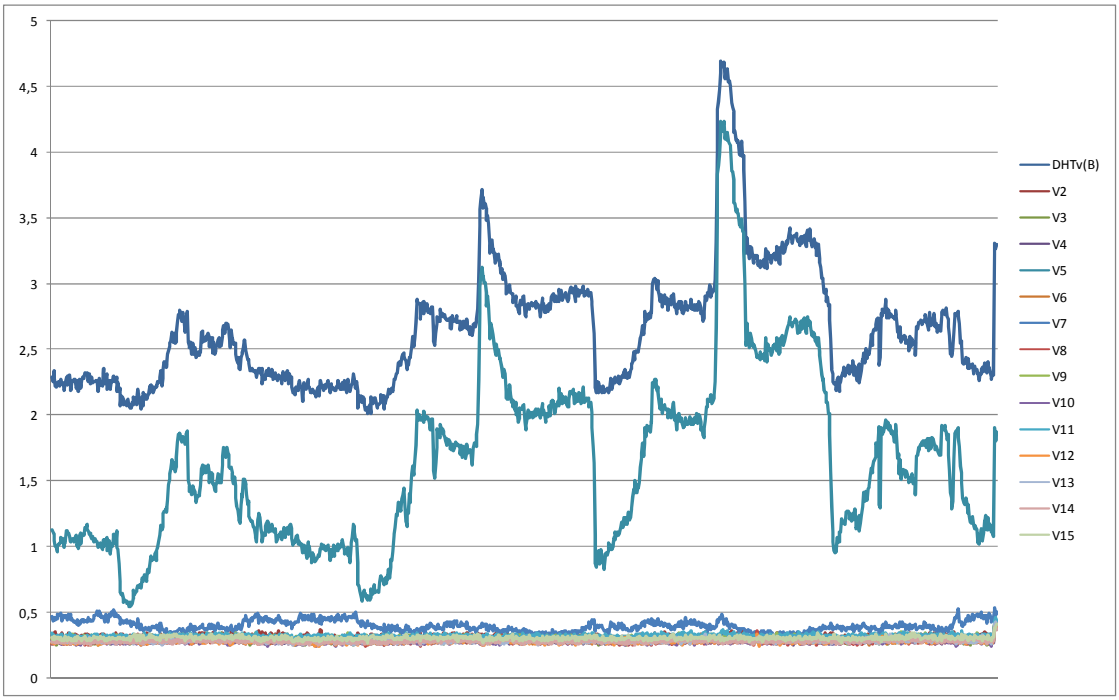
b) Distorções de Tensão Fase-Neutro Totais e Individuais (DHTv e Vh) em %:

- Fase A:



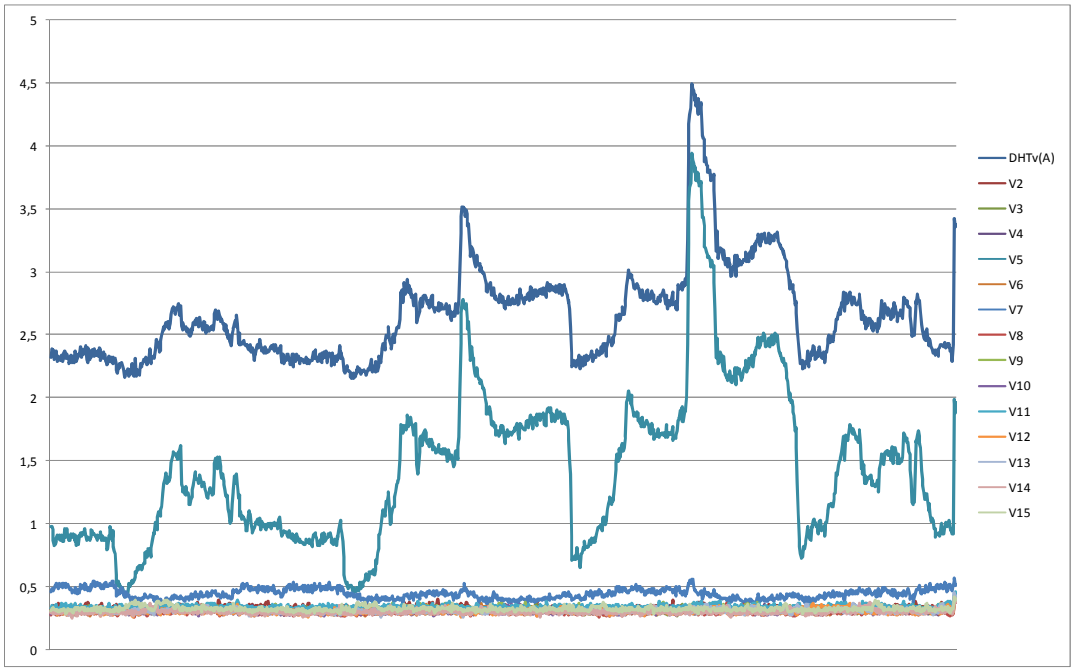
Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH)

- Fase B:



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

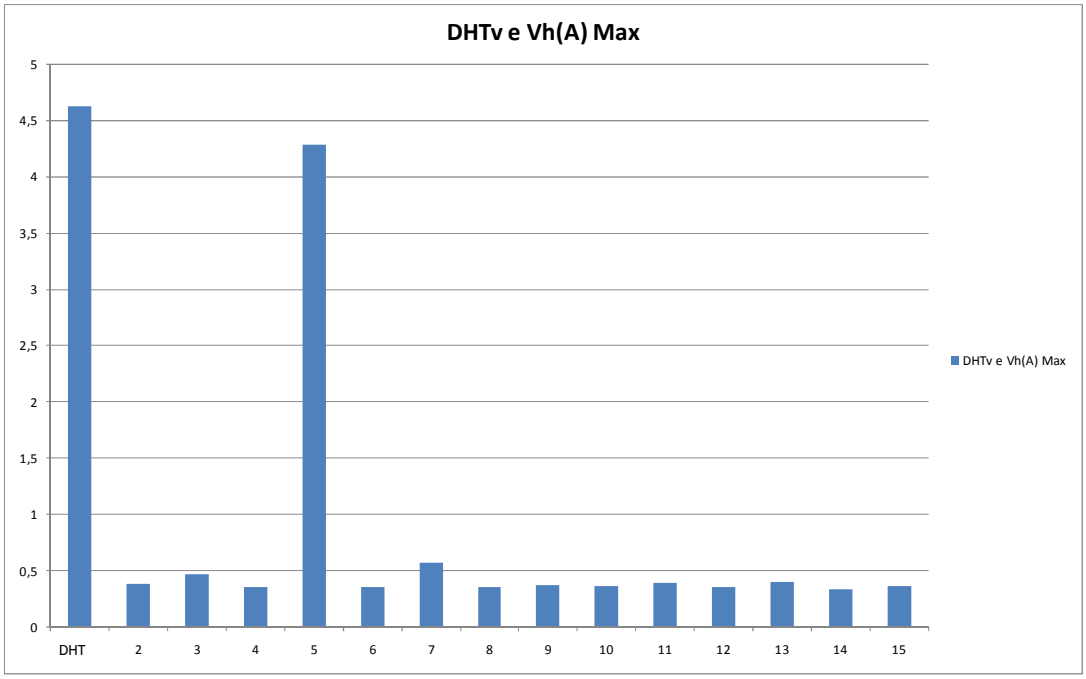
- Fase C:



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

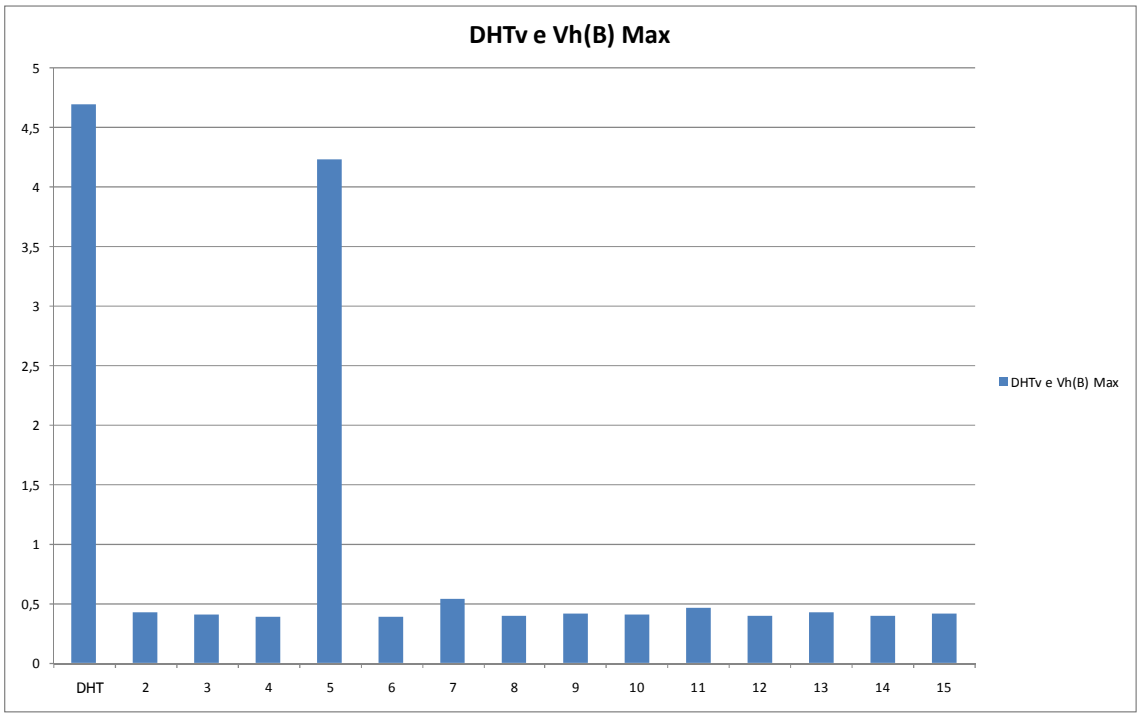
c) Espectro Harmônico Máximo de Tensão:

- Fase A:



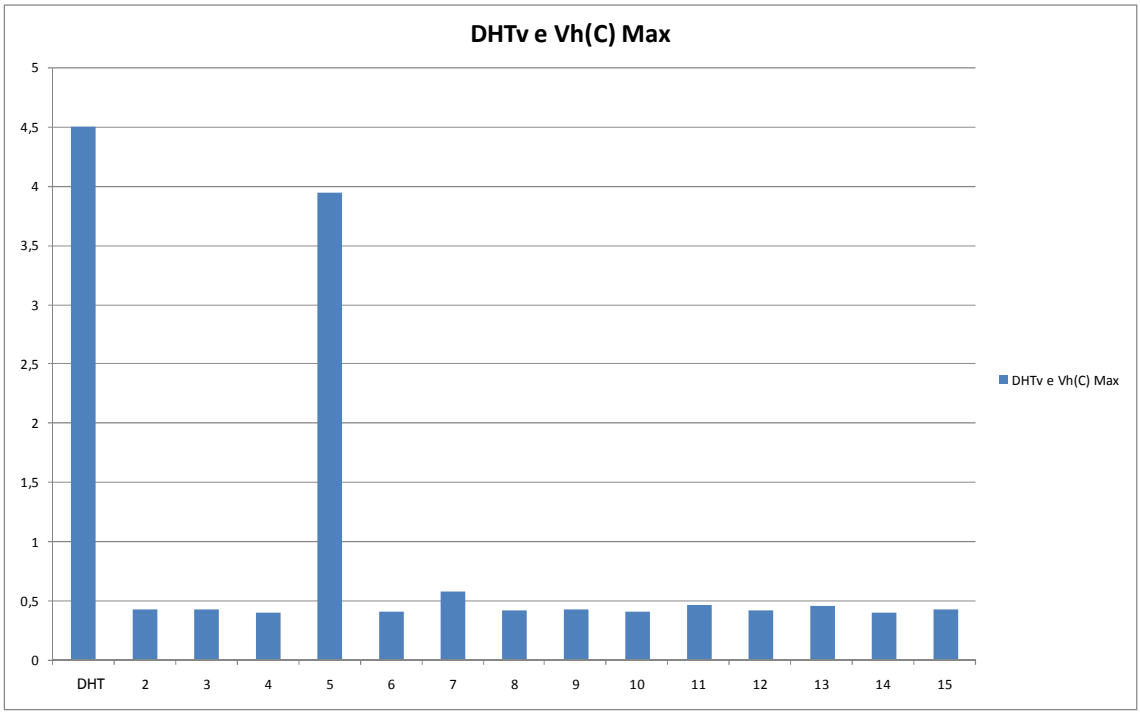
Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

- Fase B:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

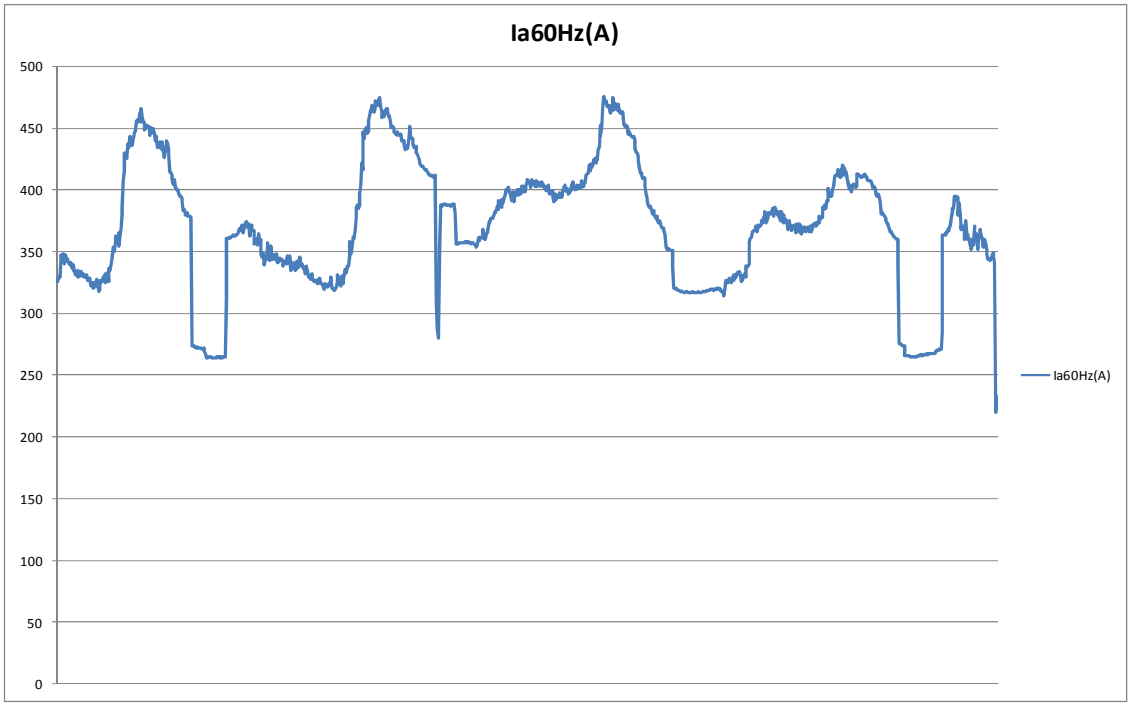
- Fase C:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

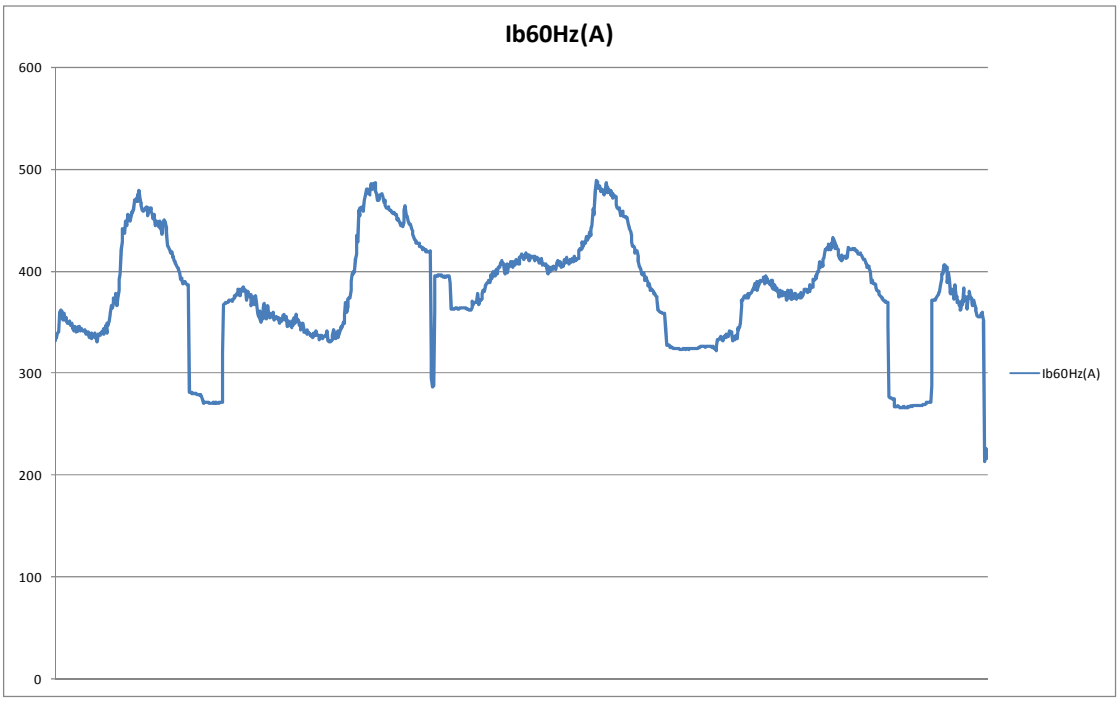
d) Correntes RMS em Amperes:

- Fase A:



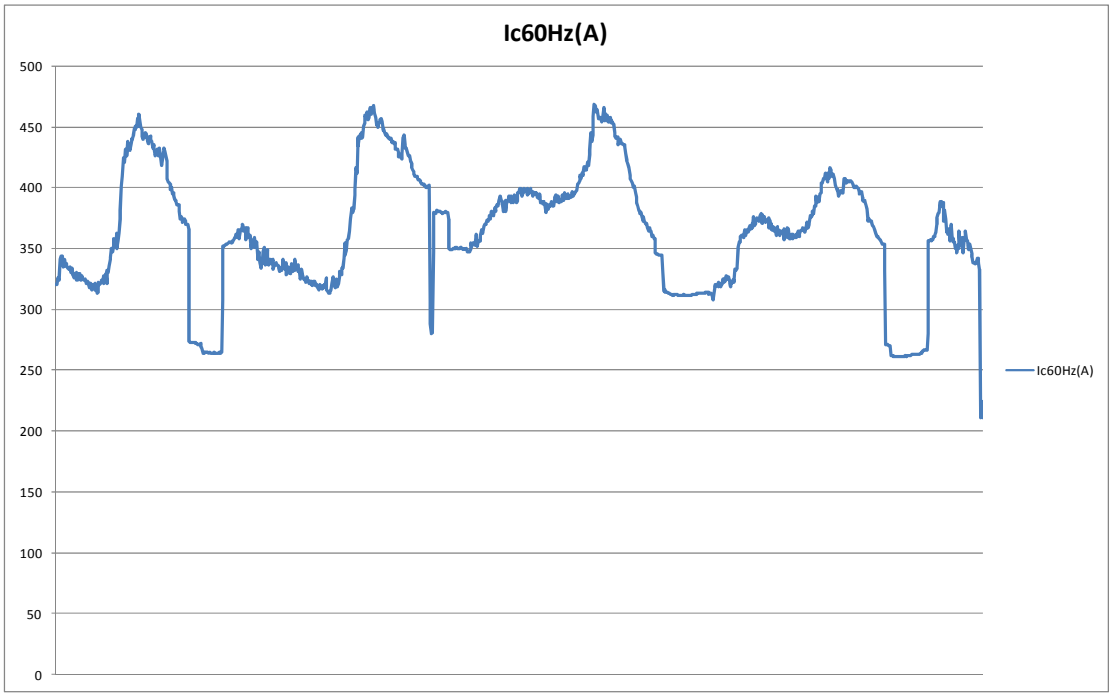
Observação: Variação da corrente rms com a carga.

- Fase B:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

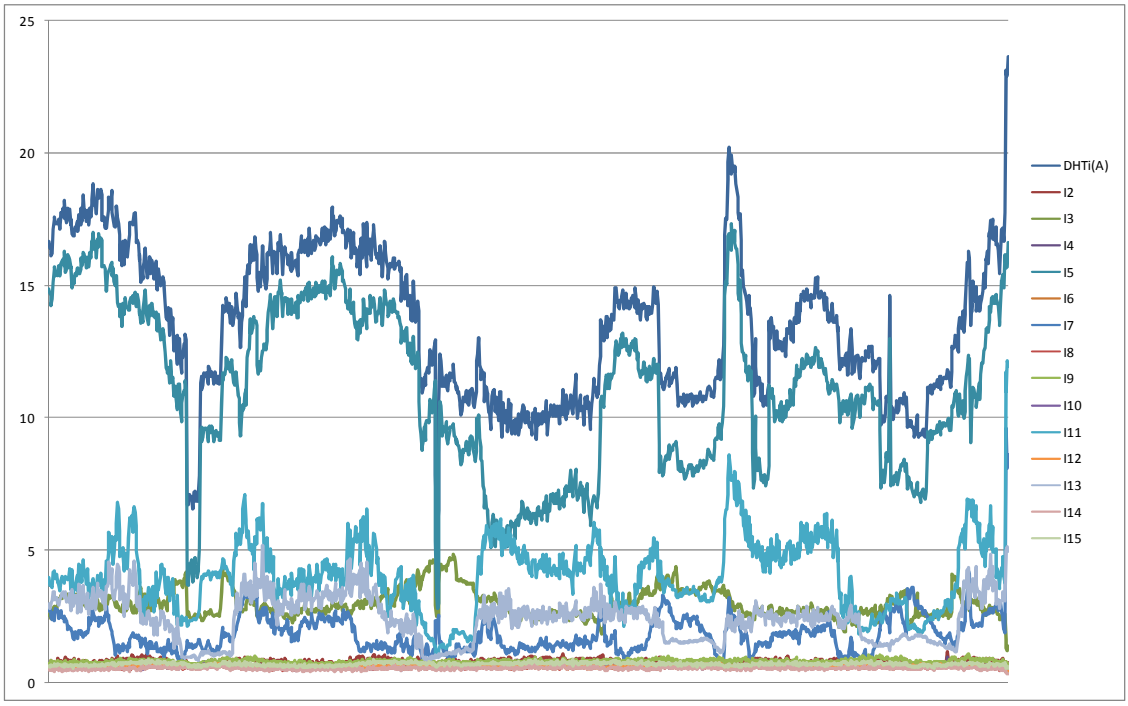
- Fase C:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

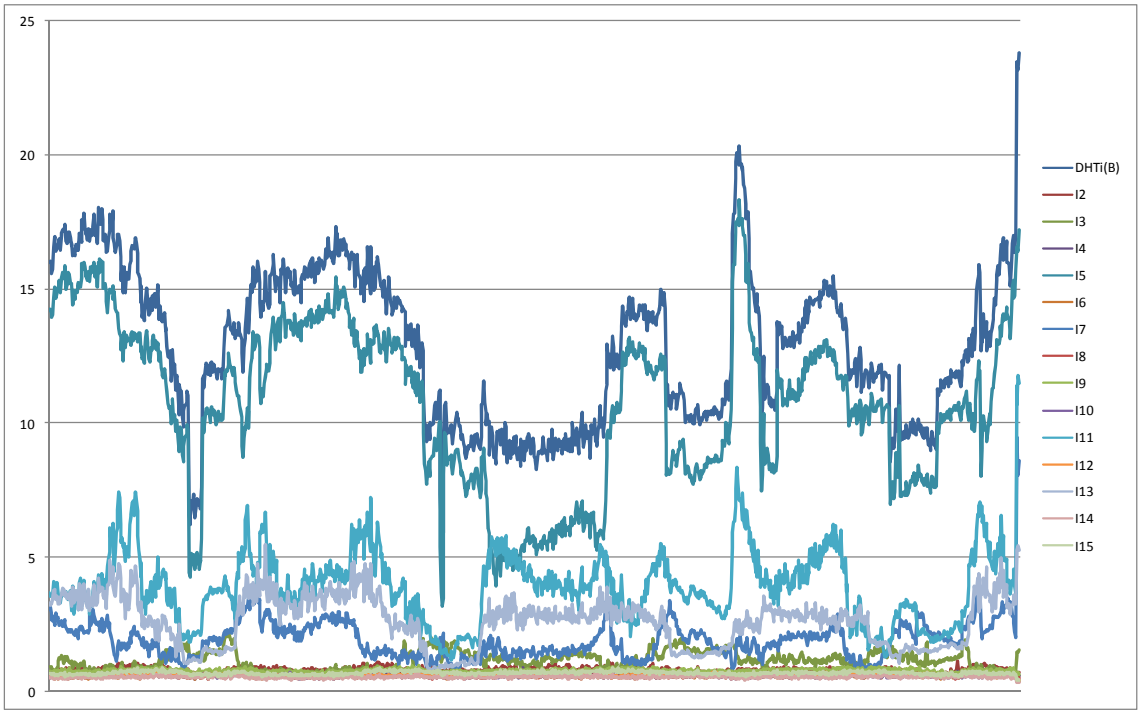
e) Distorções de Corrente Totais e Individuais (DHTi e Ih) em Amperes:

- Fase A:



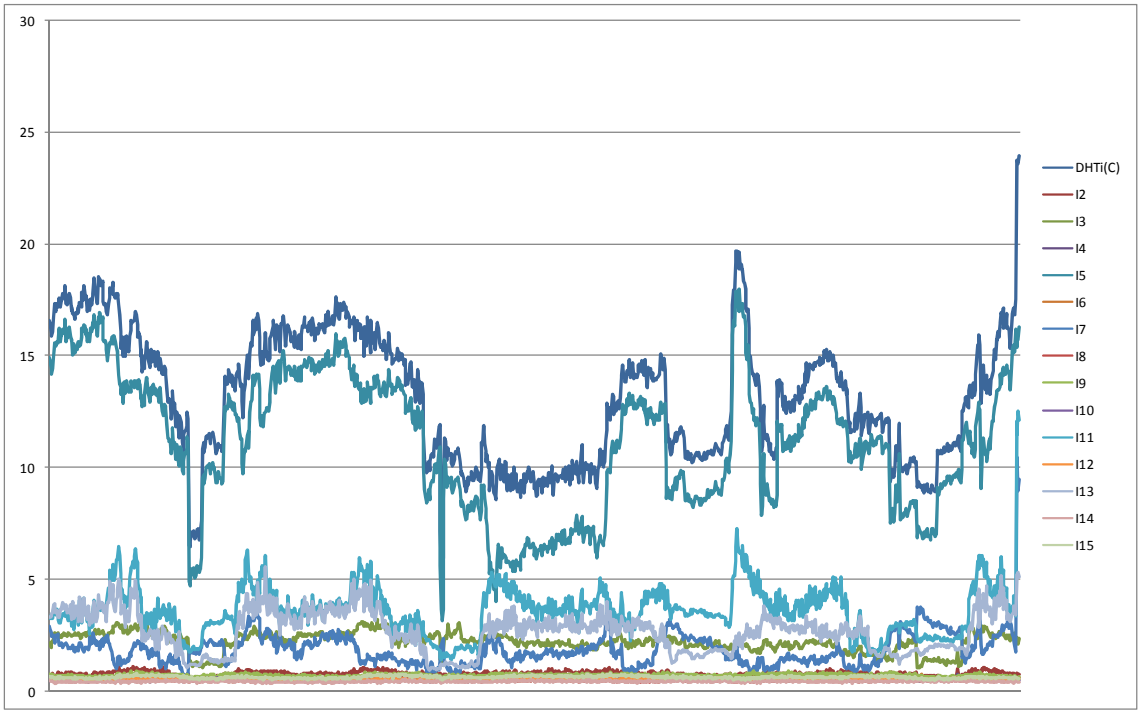
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens

- Fase B:



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

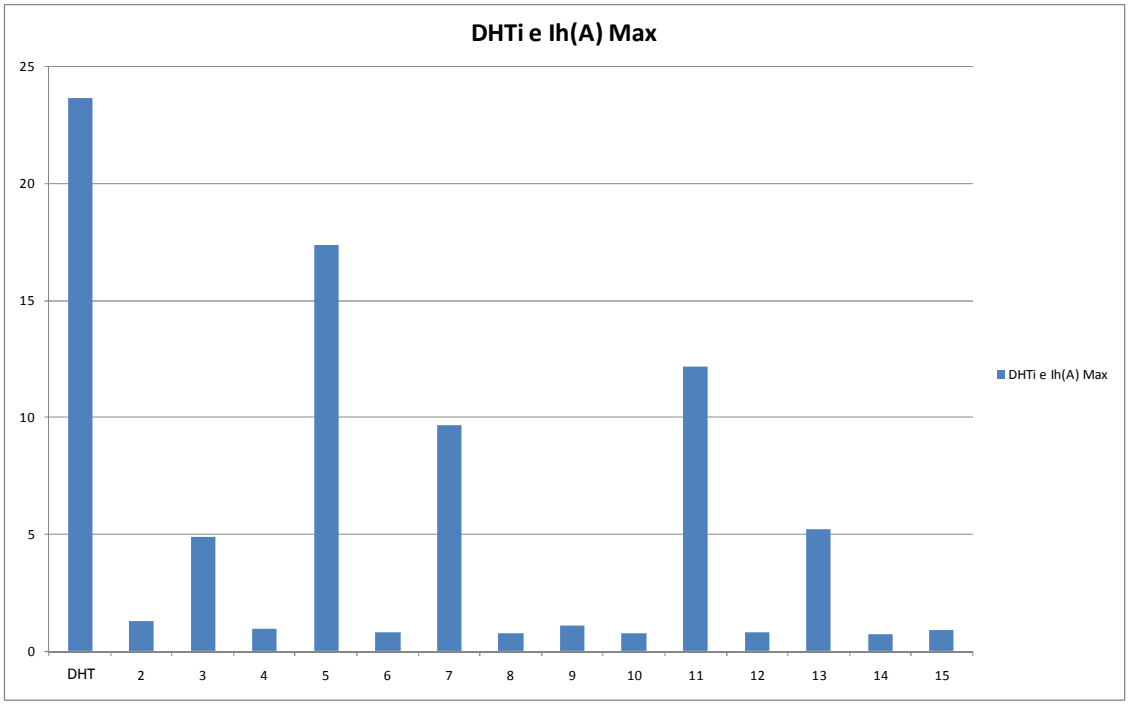
- Fase C:



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

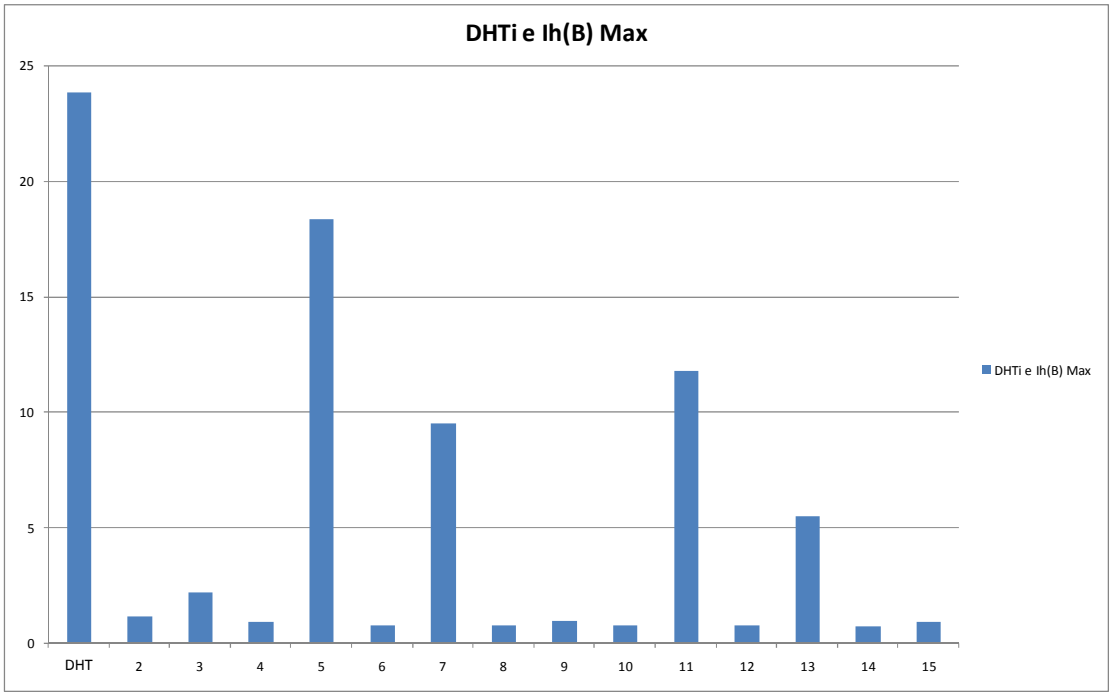
f) Espectro Harmônico Máximo de Corrente em Amperes:

- Fase A:



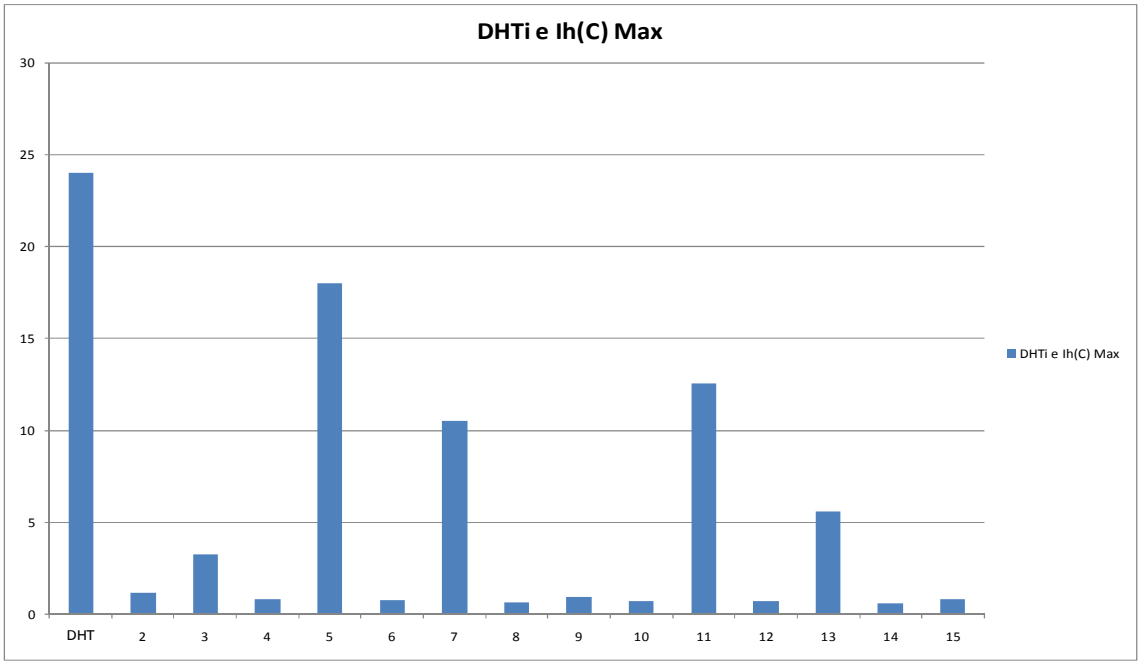
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens

- Fase B:



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

- Fase C:

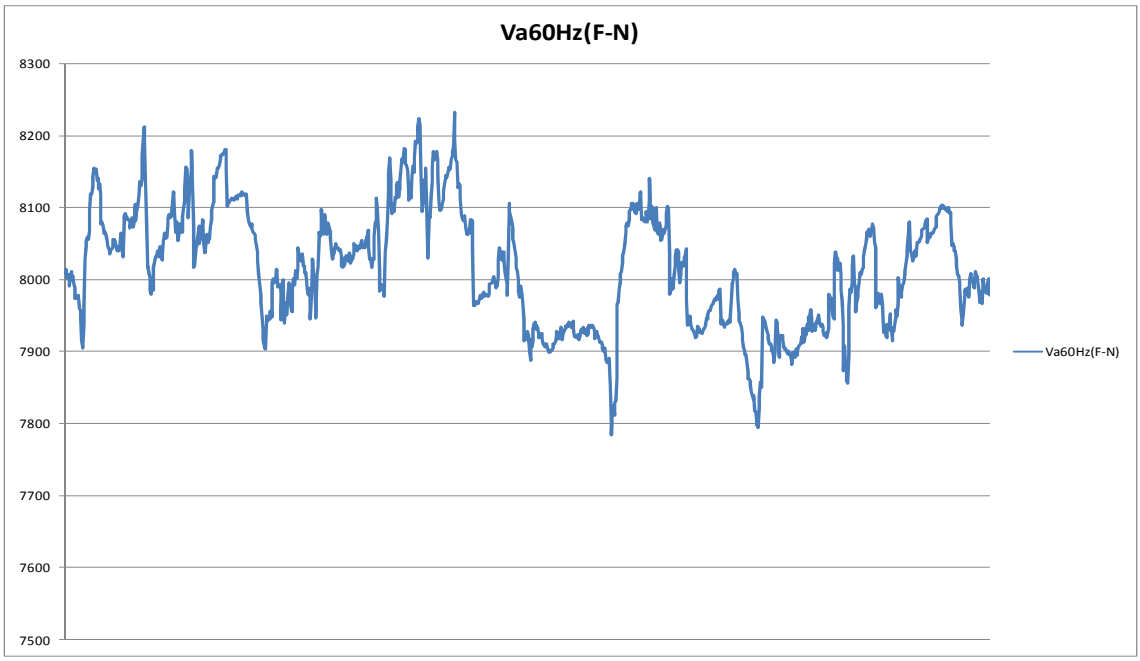


Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens

4 Subestação Águas Claras

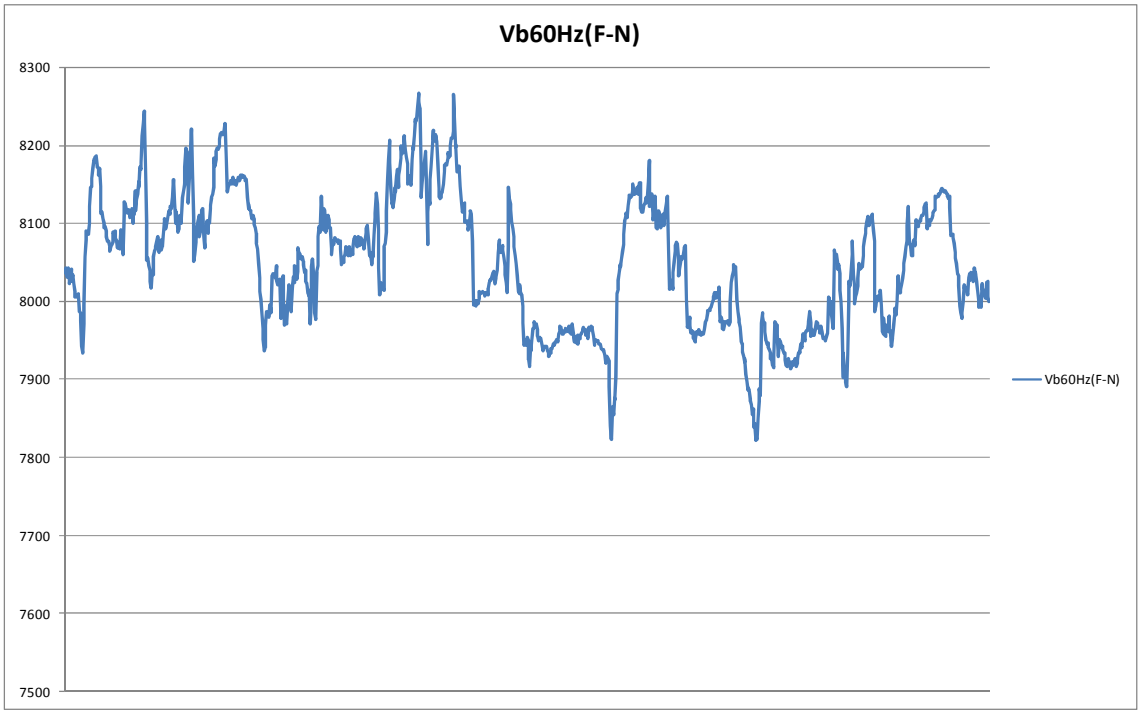
a) Tensões RMS Fase-Neutro em Volts:

- Fase A:



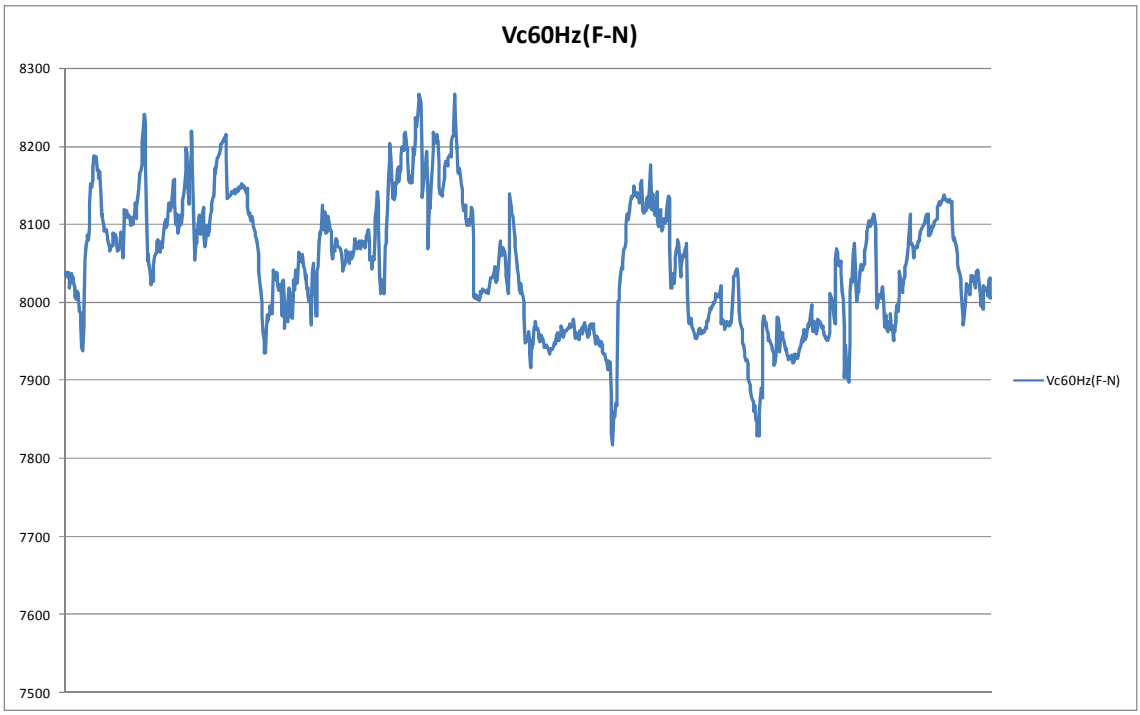
Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

- Fase B:



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

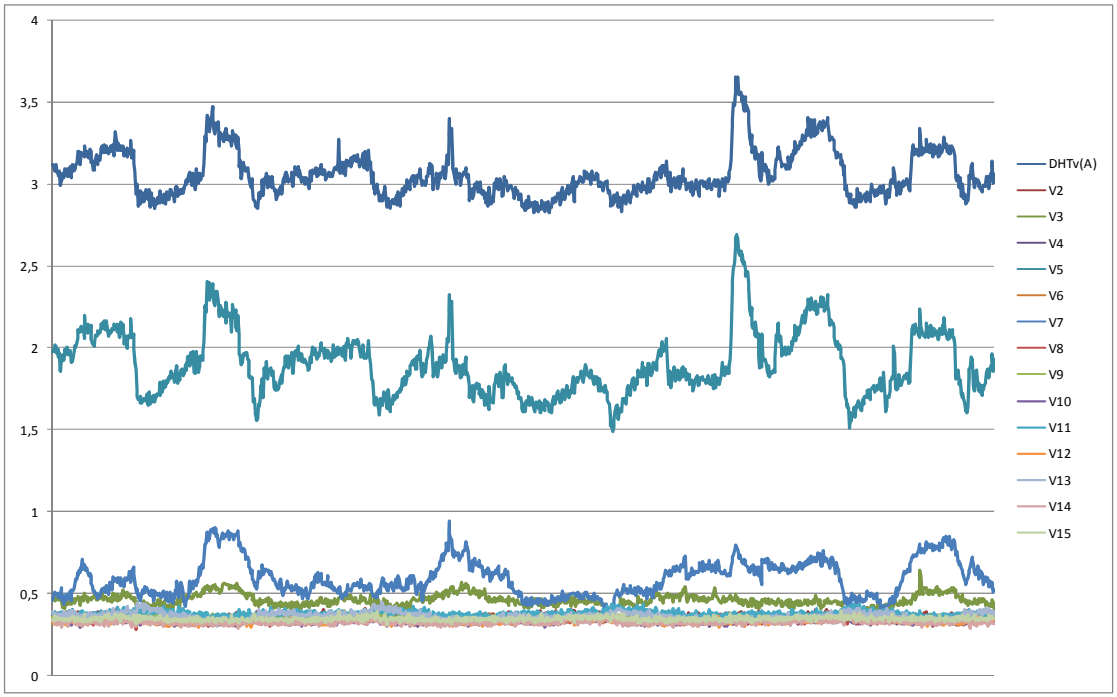
- Fase C:



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

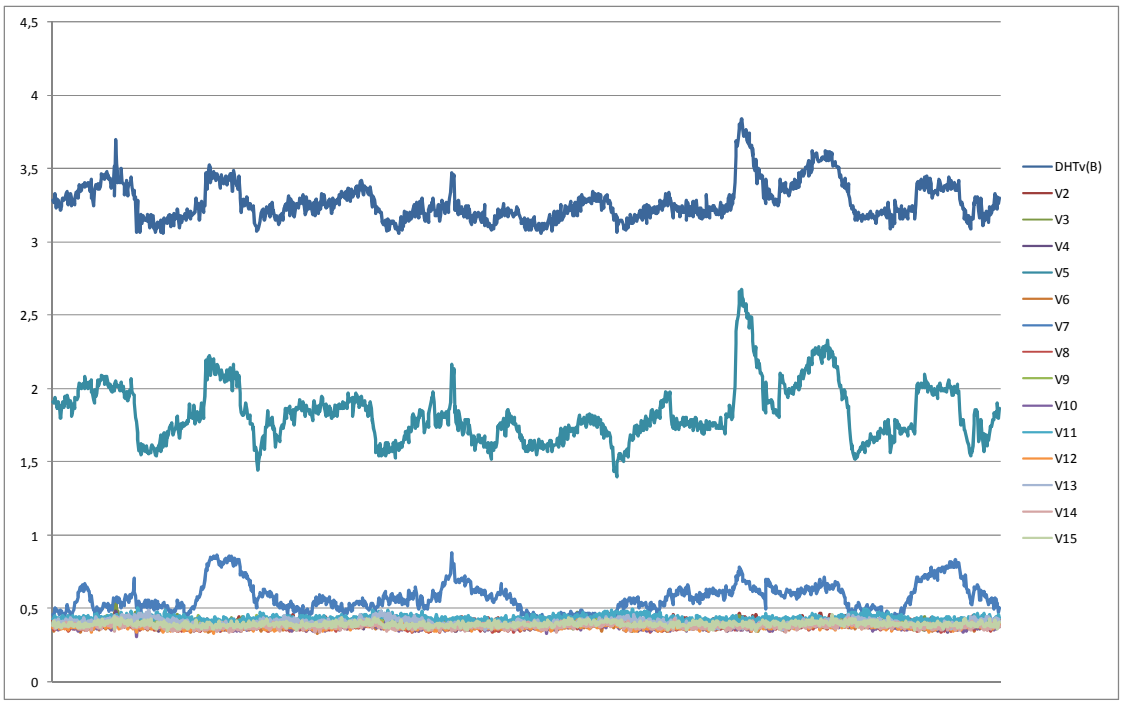
b) Distorções de Tensão Fase-Neutro Totais e Individuais (DHTv e Vh) em %:

- Fase A:



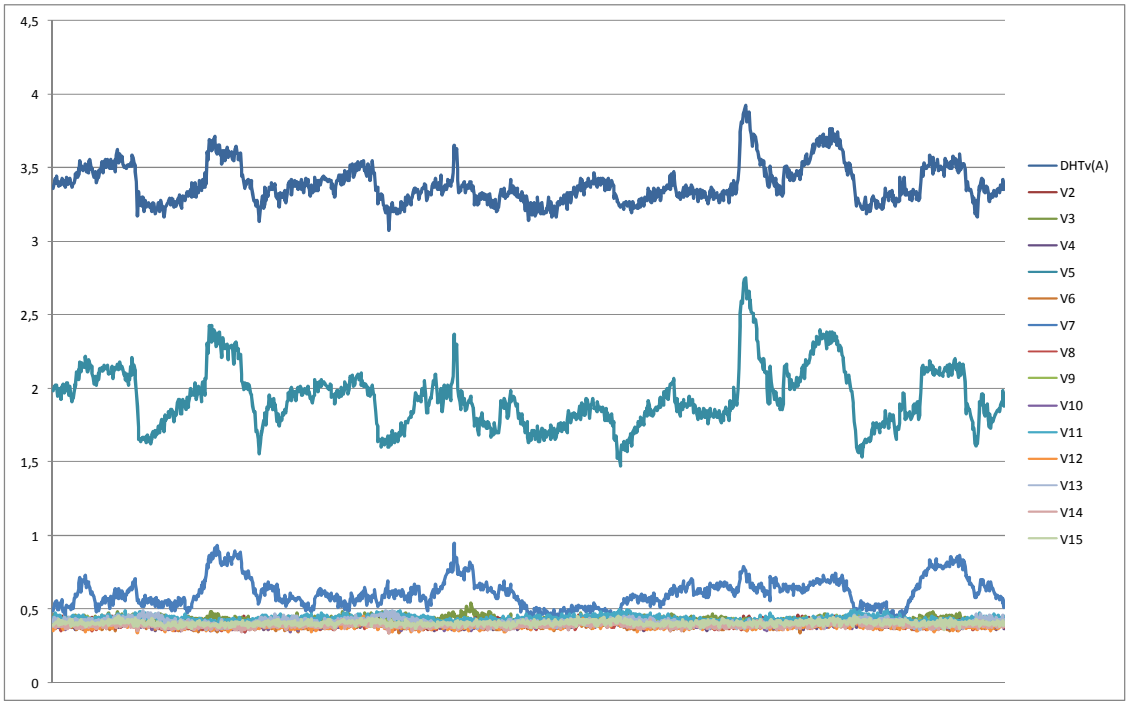
Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

- Fase B:



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

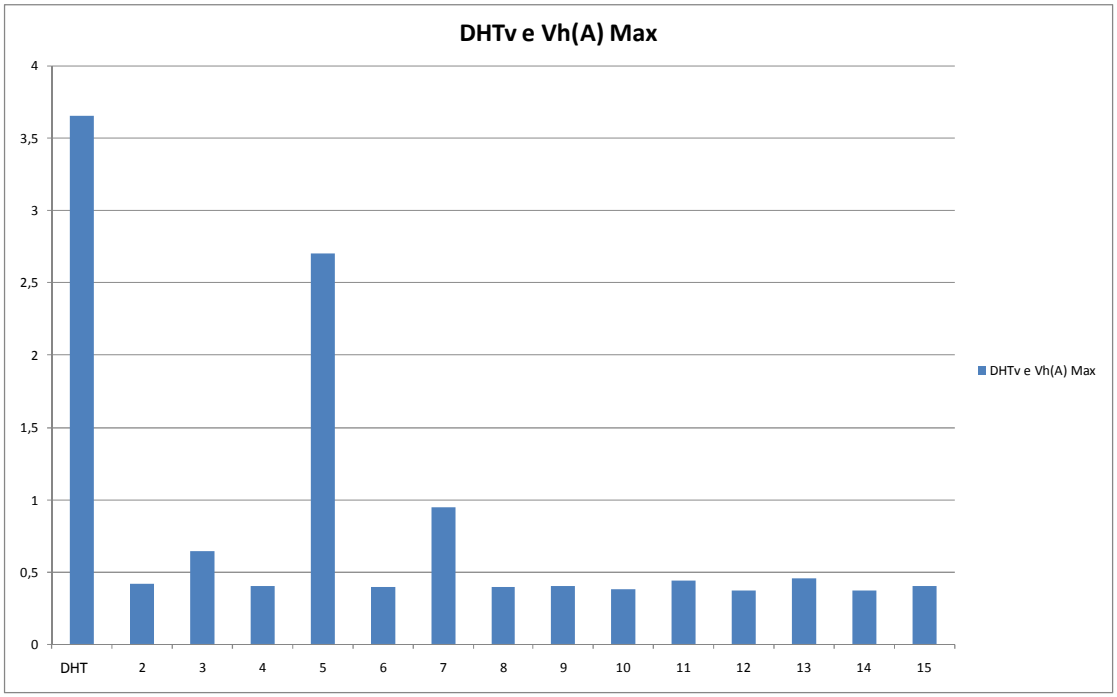
- Fase C:



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

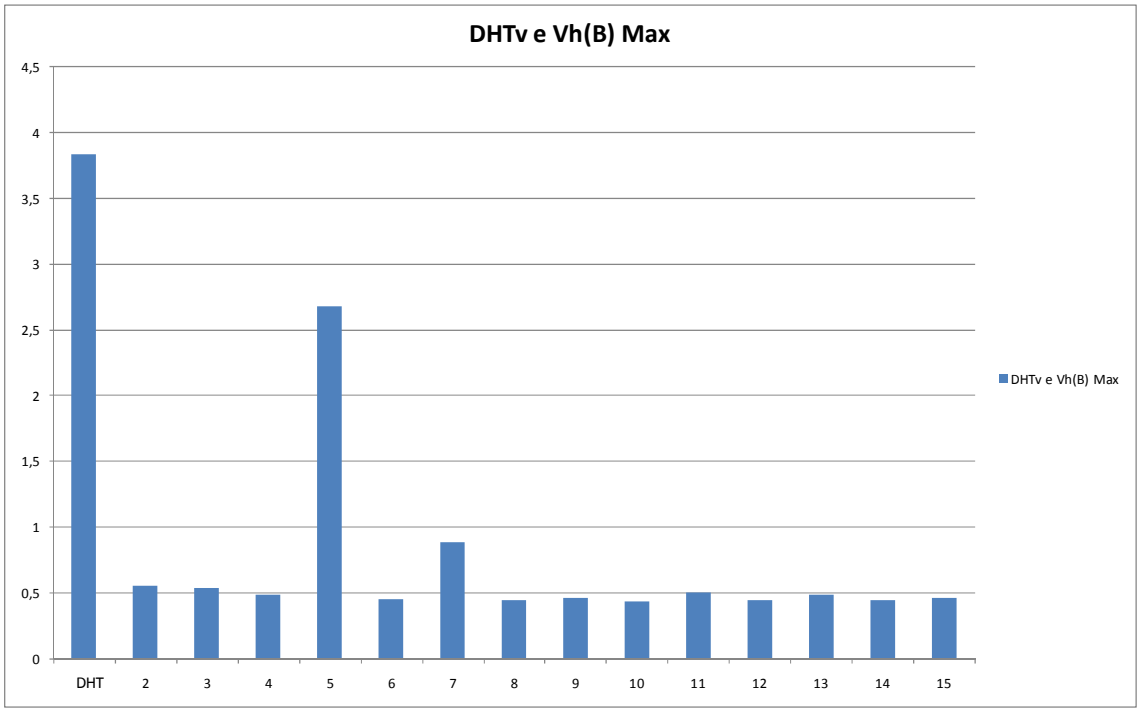
c) Espectro Harmônico Máximo de Tensão:

- Fase A:



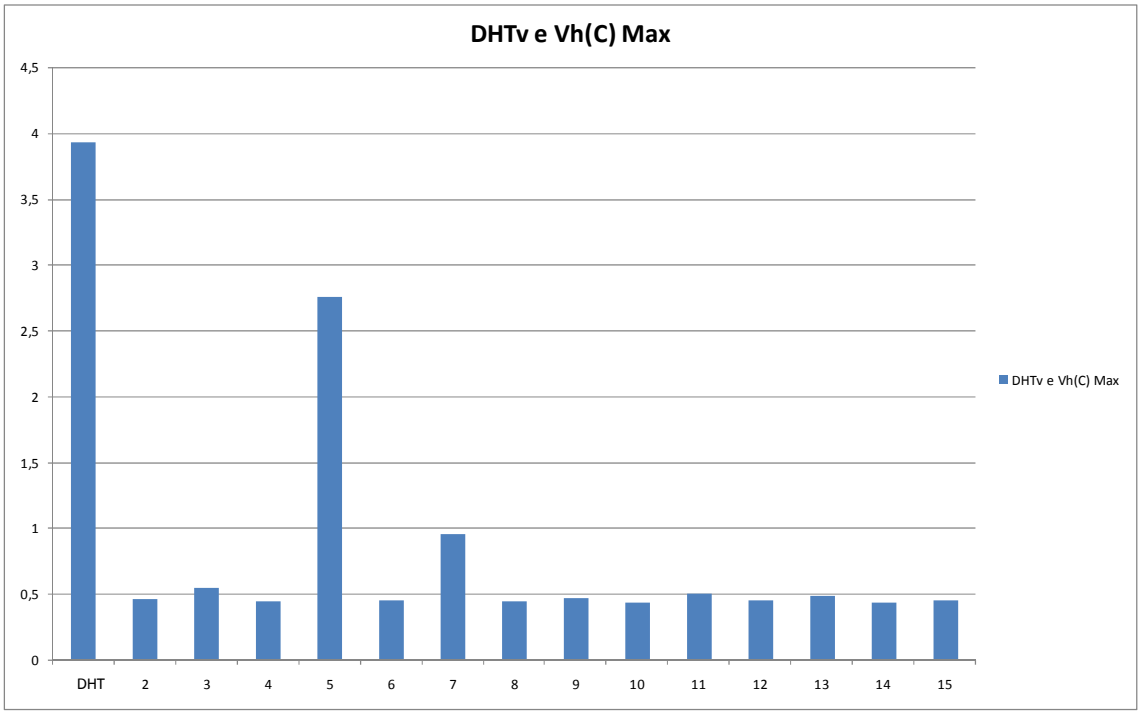
Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

- Fase B:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

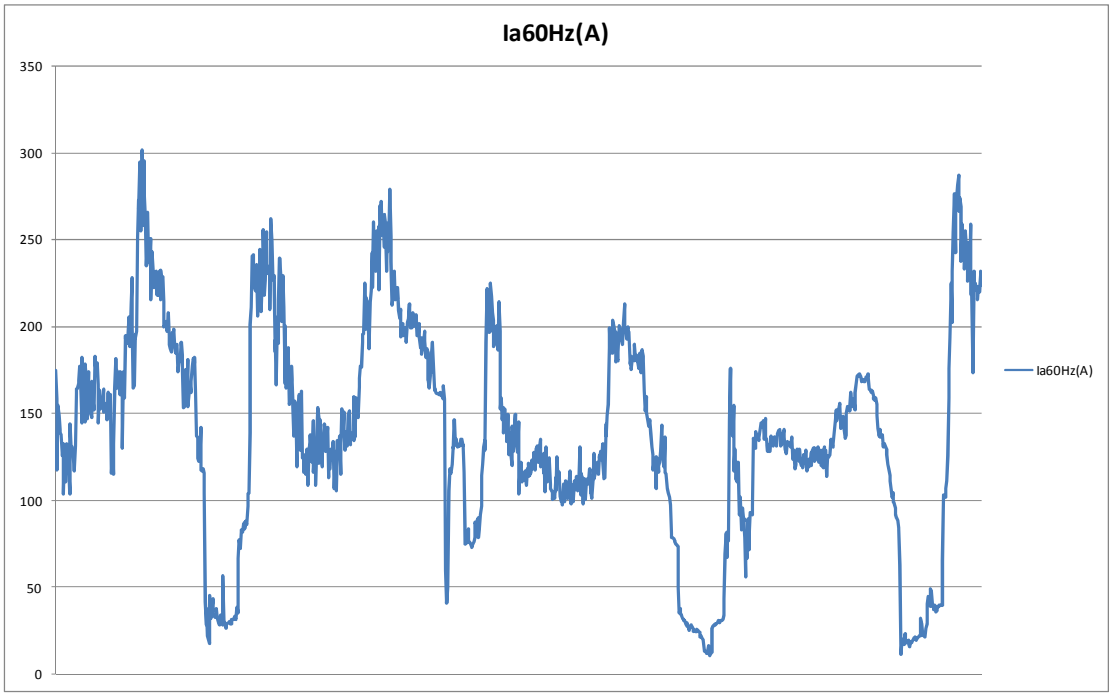
- Fase C:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

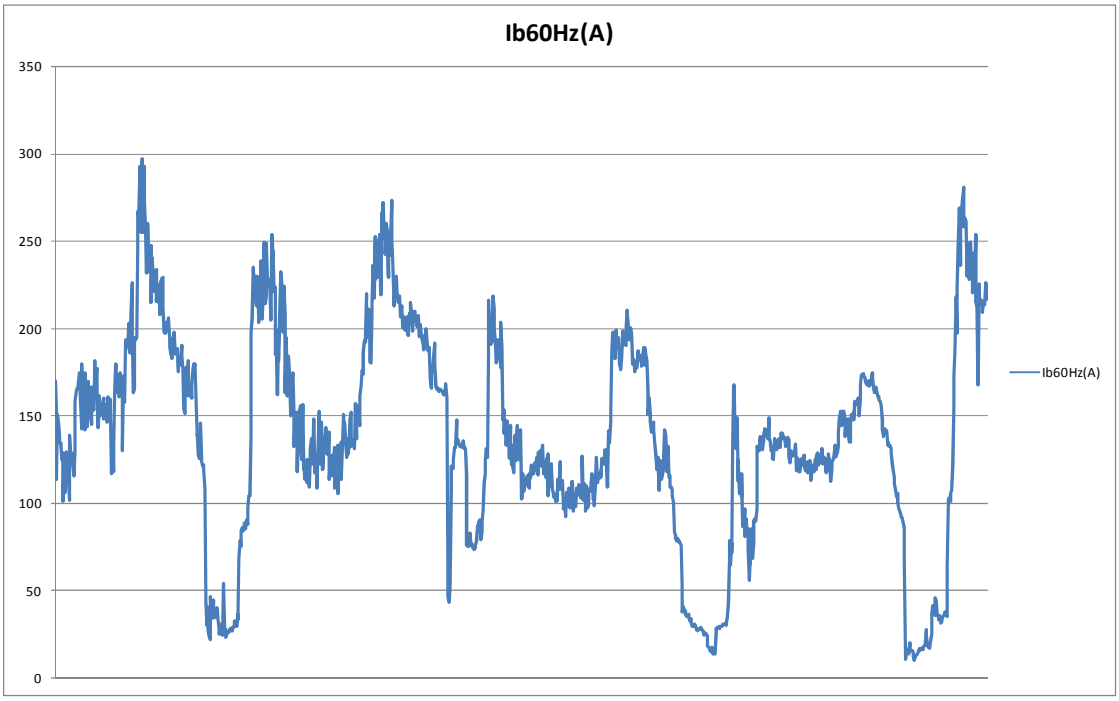
d) Correntes RMS em Amperes:

- Fase A:



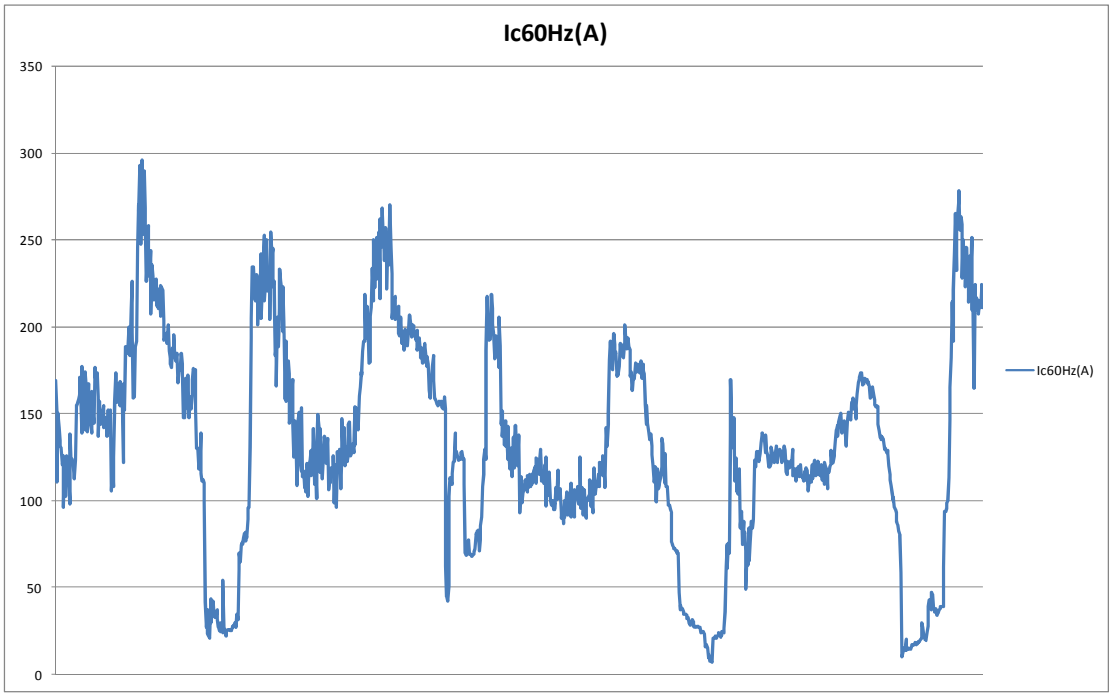
Observação: Variação da corrente rms com a carga.

- Fase B:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

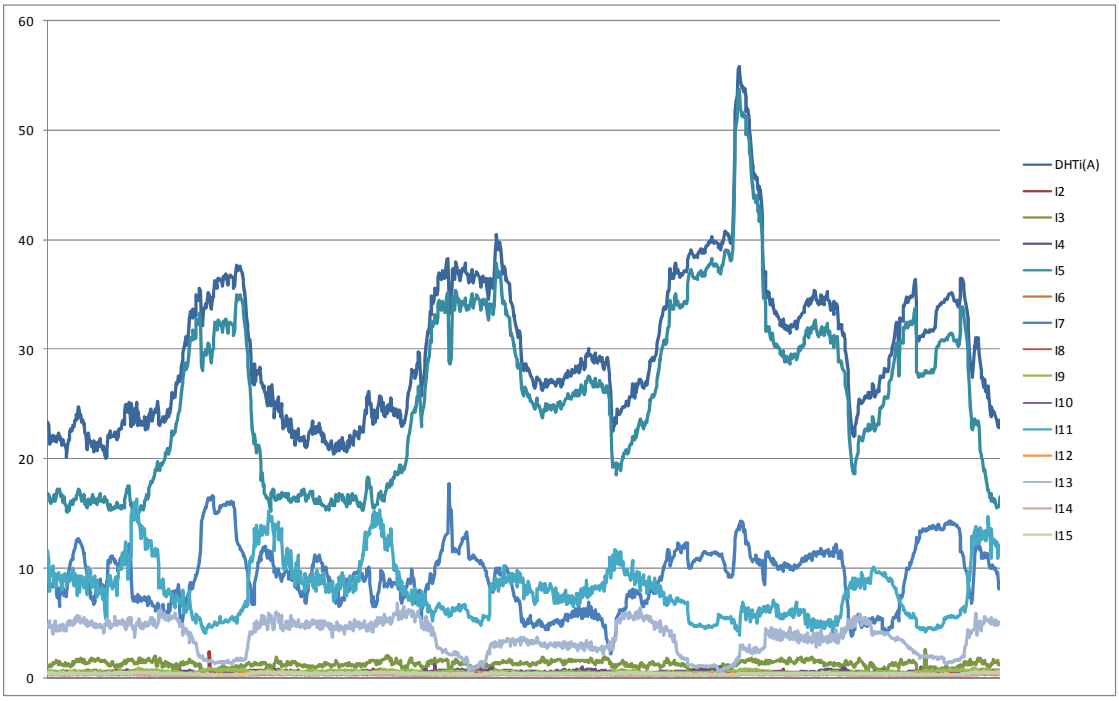
- Fase C:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

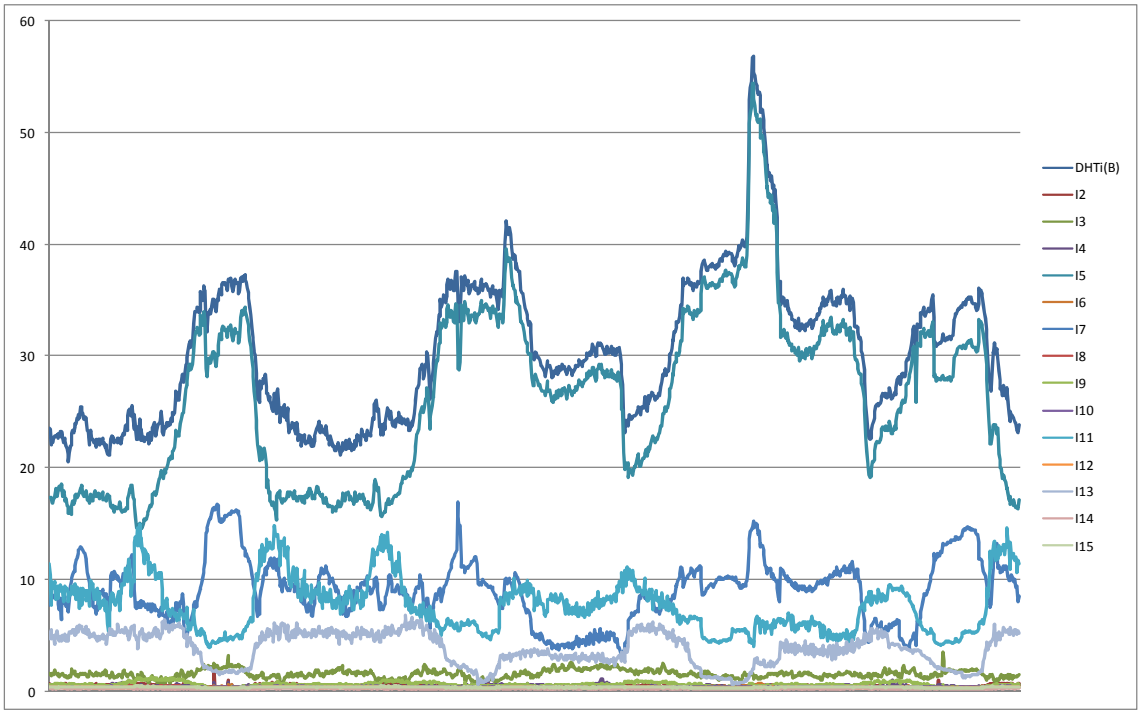
e) Distorções de Corrente Totais e Individuais (DHTi e Ih) em Amperes:

- Fase A:



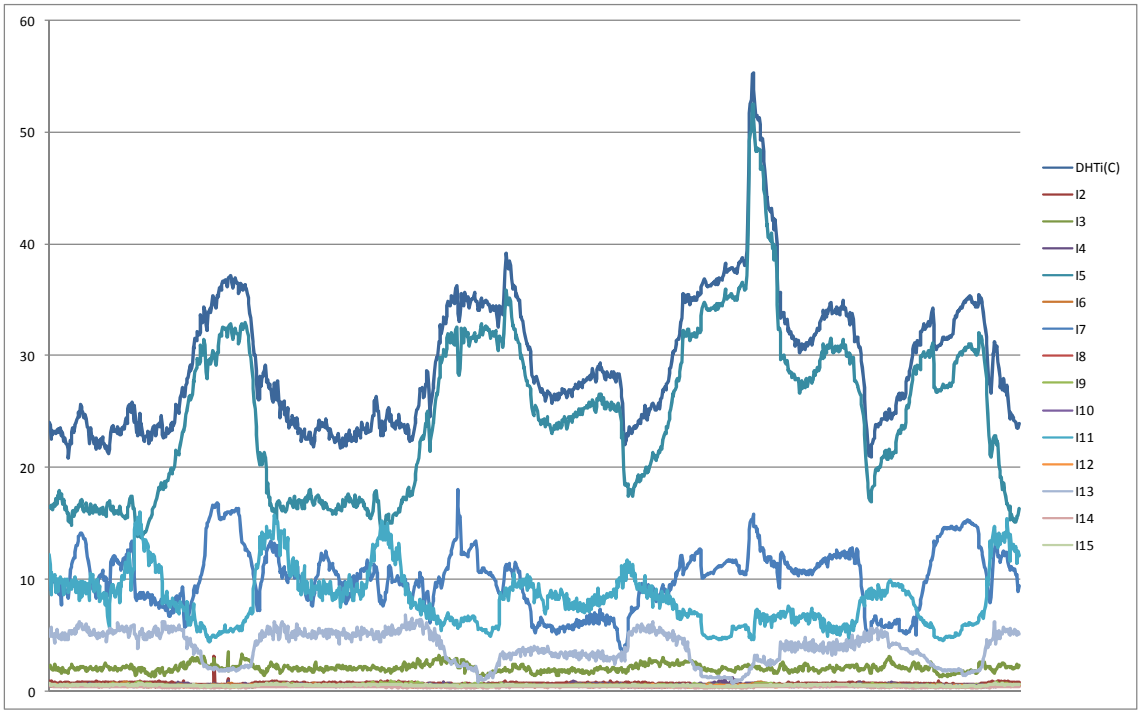
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase B:



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

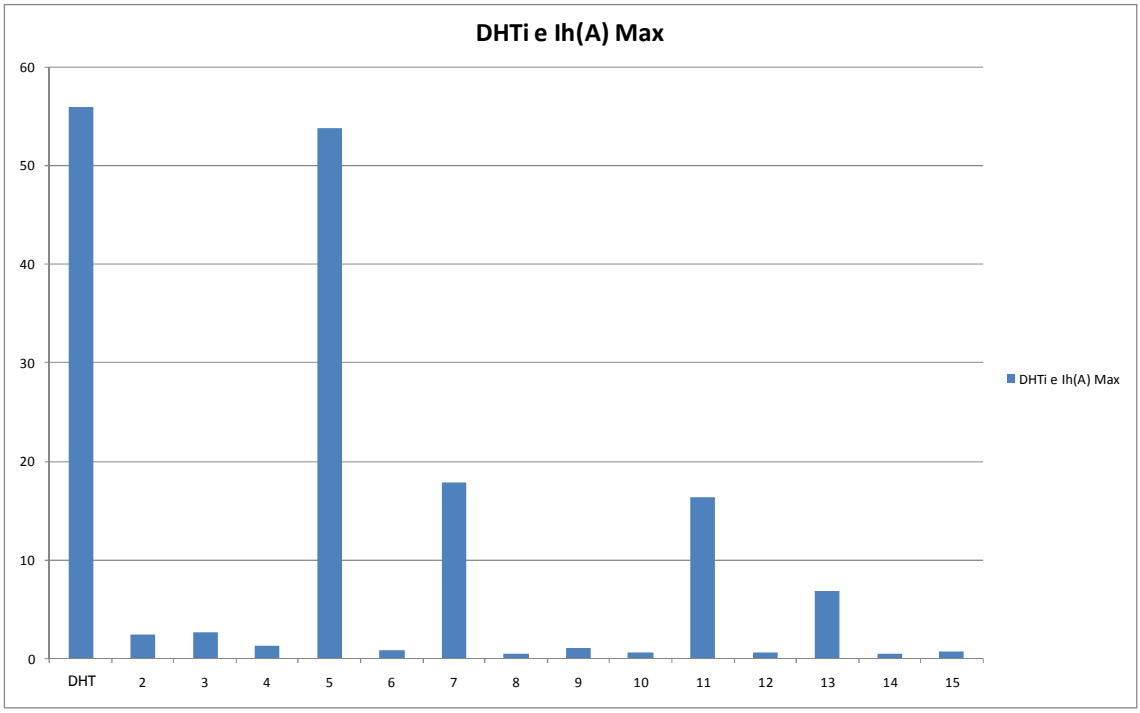
- Fase C:



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

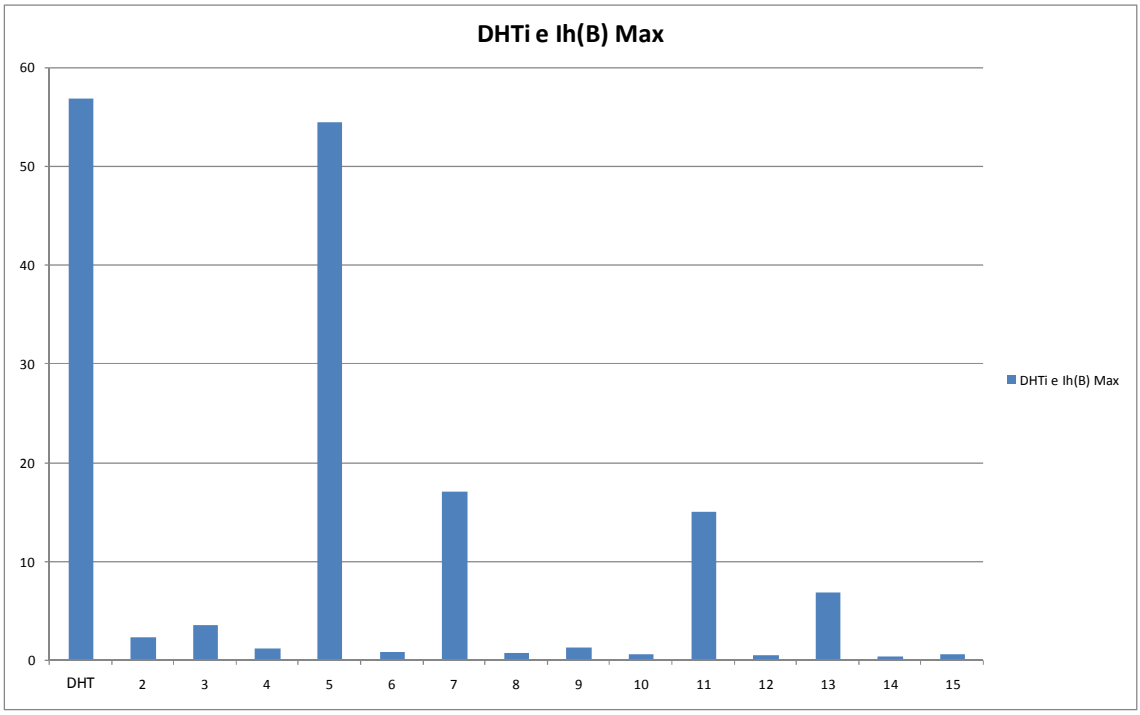
f) Espectro Harmônico Máximo de Corrente em Amperes:

- Fase A:



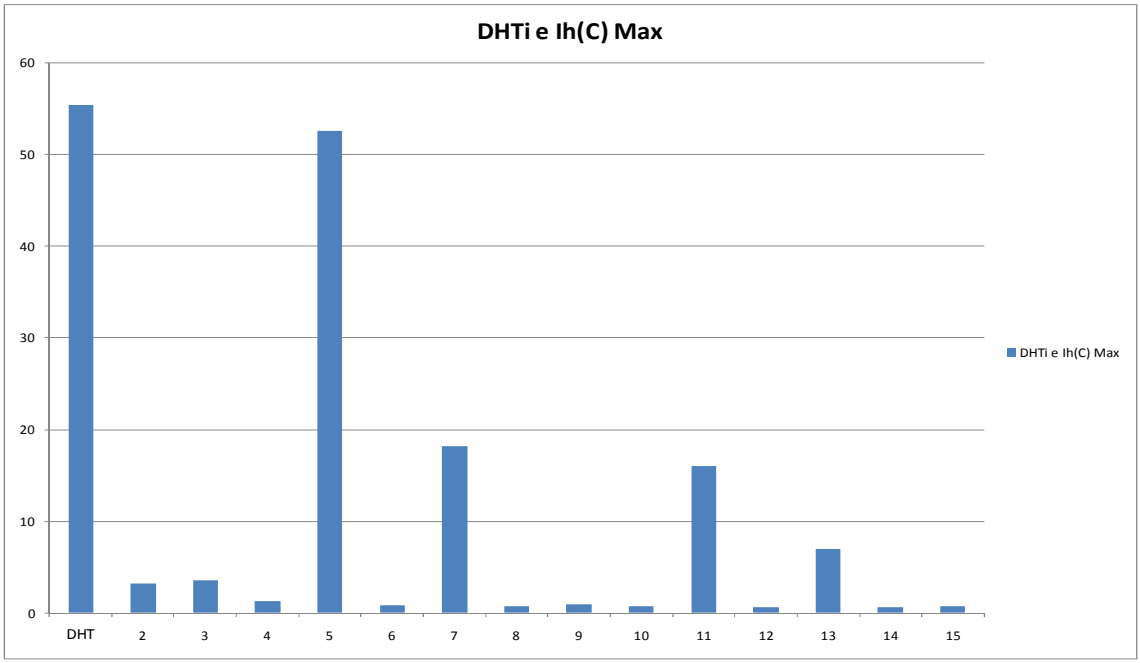
Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

- Fase B:



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

- Fase C:

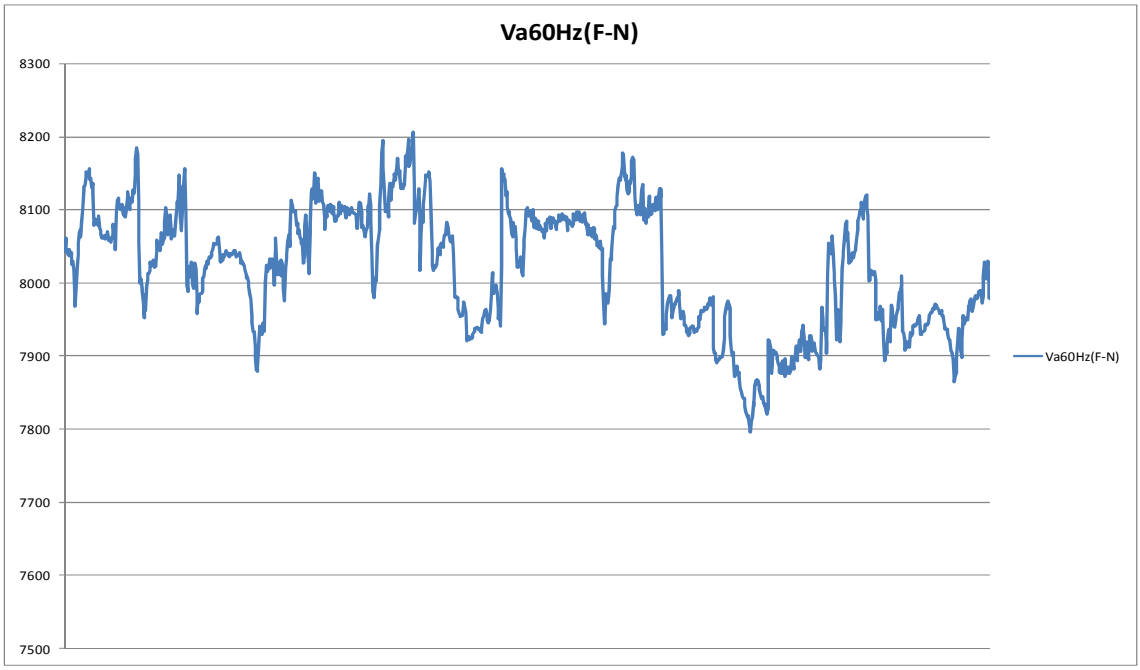


Observação: Principais harmônicas existentes de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens.

5 Subestação Ceilândia Sul

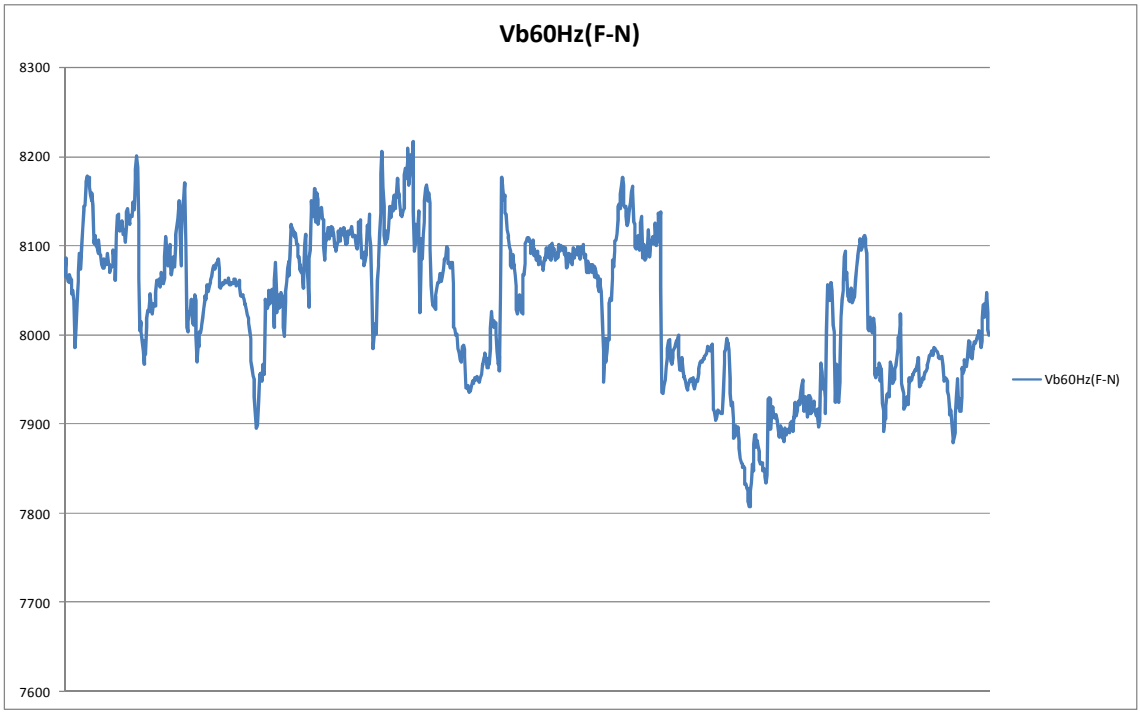
a) Tensões RMS Fase-Neutro em Volts:

- Fase A:



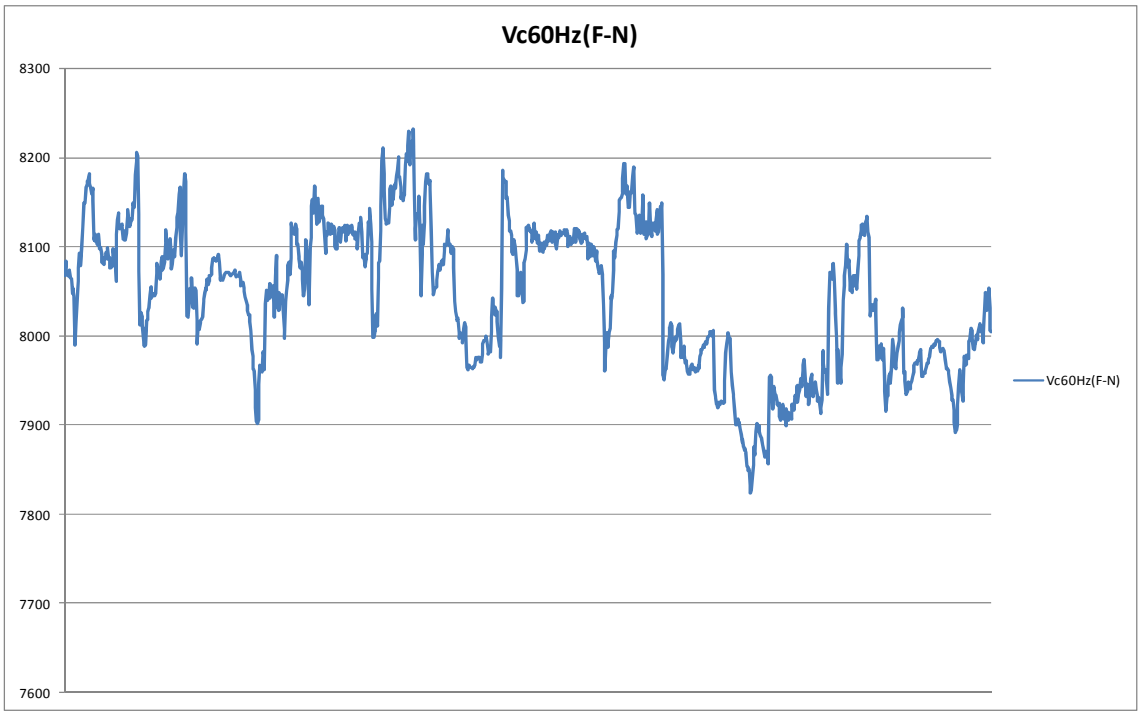
Observação: 95% ≤ Vrms ≤ 105%, ou seja, dentro da faixa recomendada.

- Fase B:



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

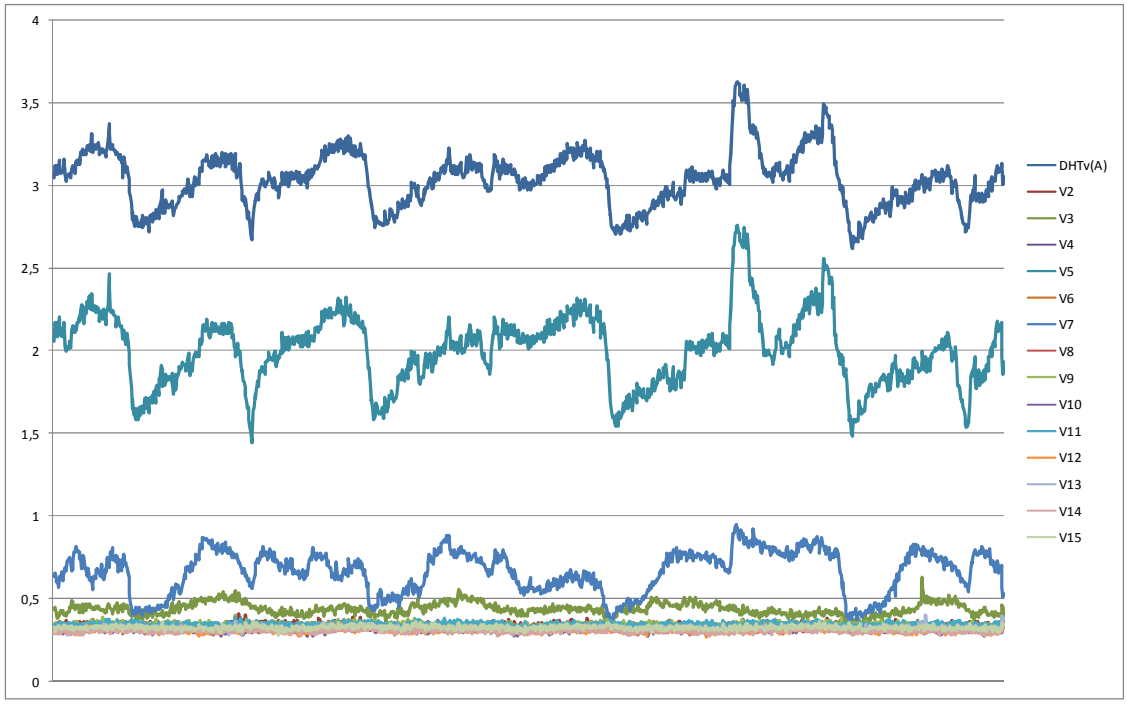
- Fase C:



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

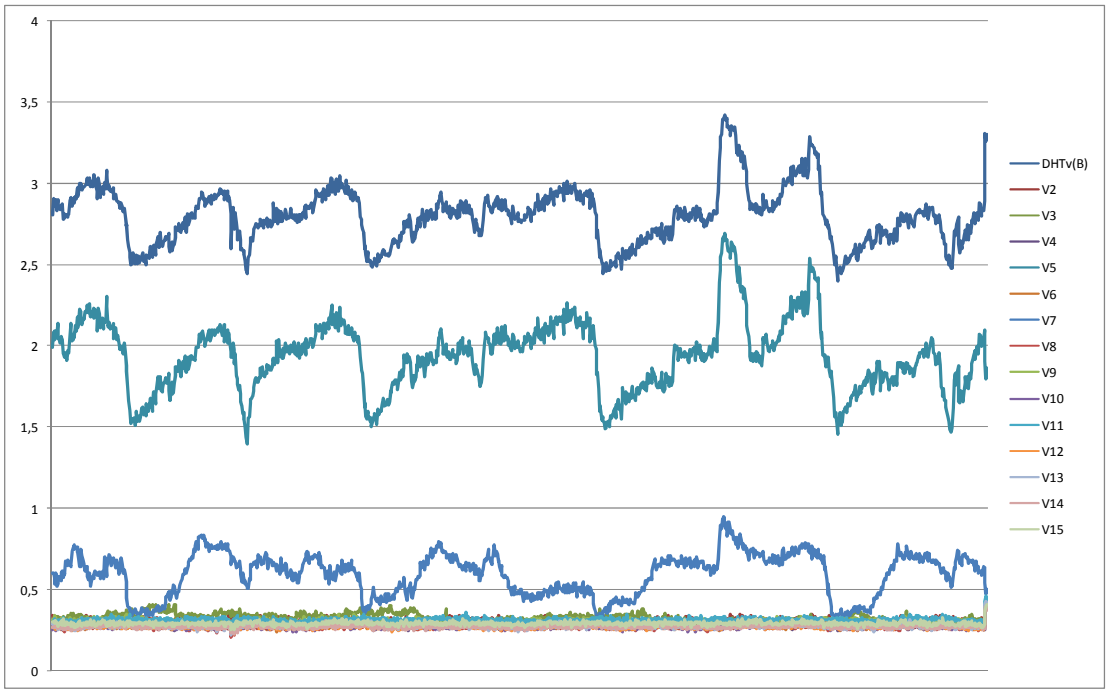
b) Distorções de Tensão Fase-Neutro Totais e Individuais (DHTv e Vh) em %:

- Fase A:



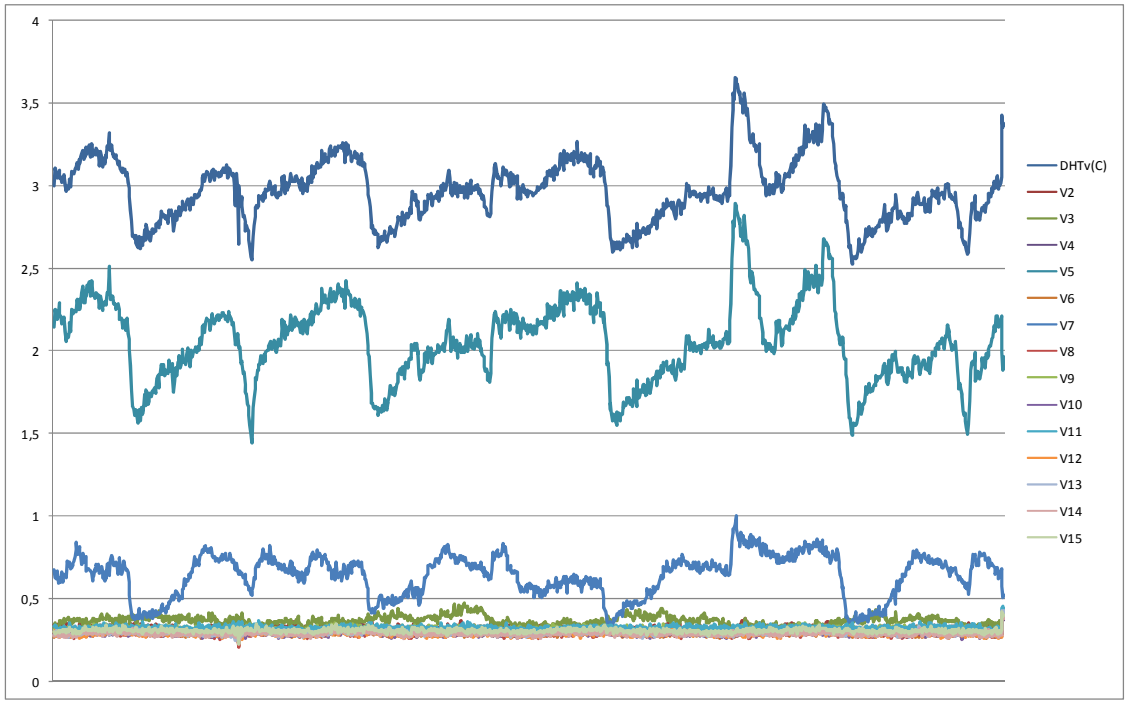
Observação: THDv < 5,0% recomendados pela IEEE 519/2014 (principalmente 5ªH).

- Fase B:



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

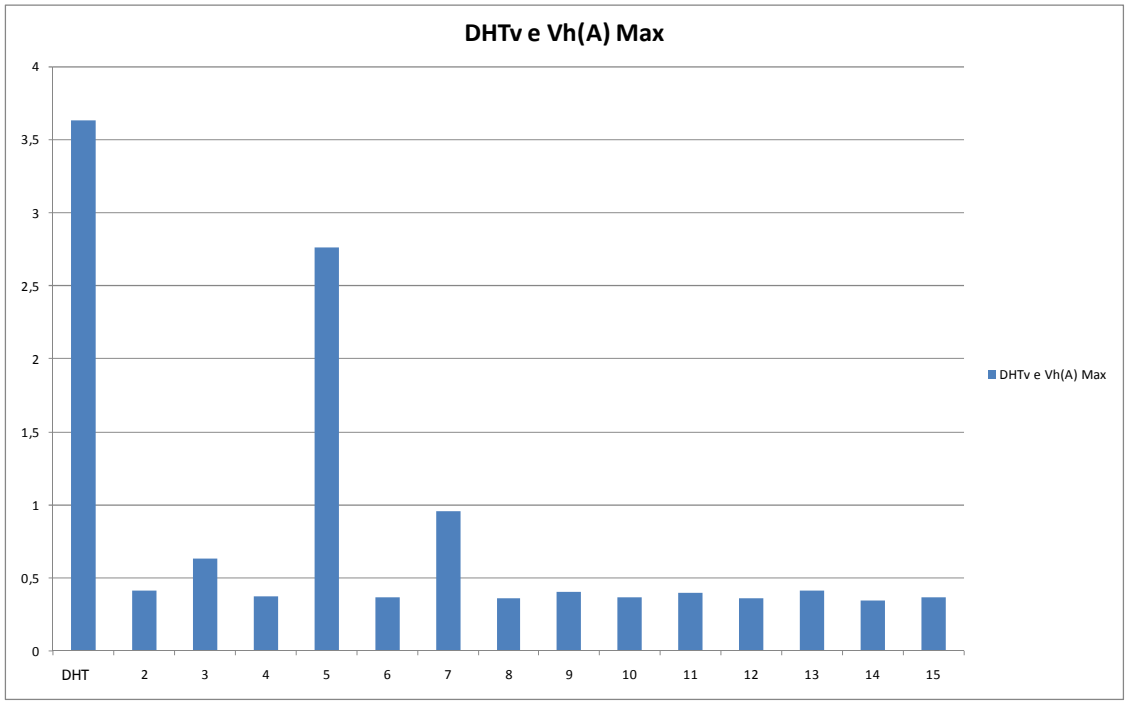
- Fase C:



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

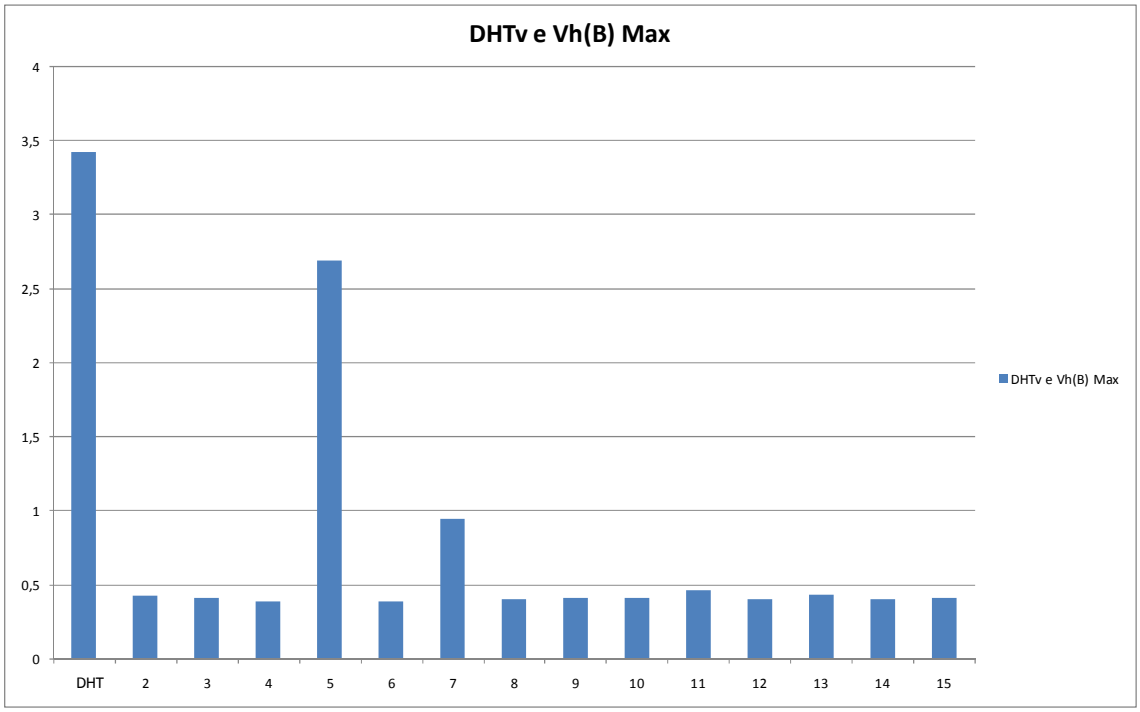
c) Espectro Harmônico Máximo de Tensão:

- Fase A:



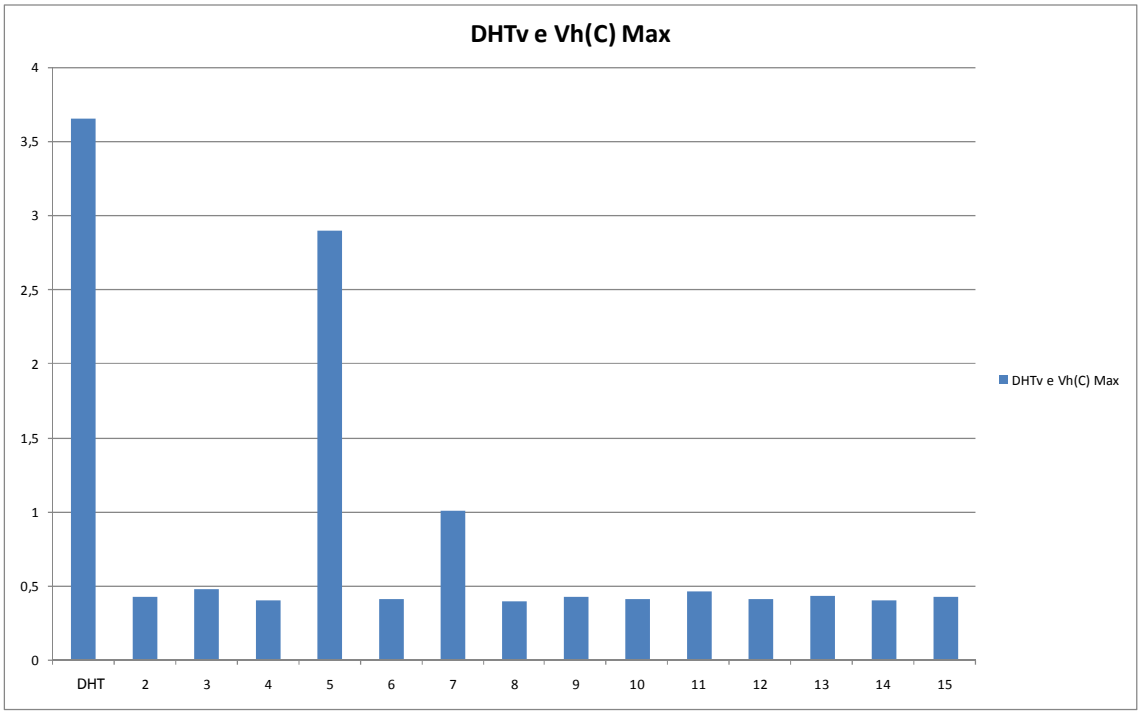
Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

- Fase B:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

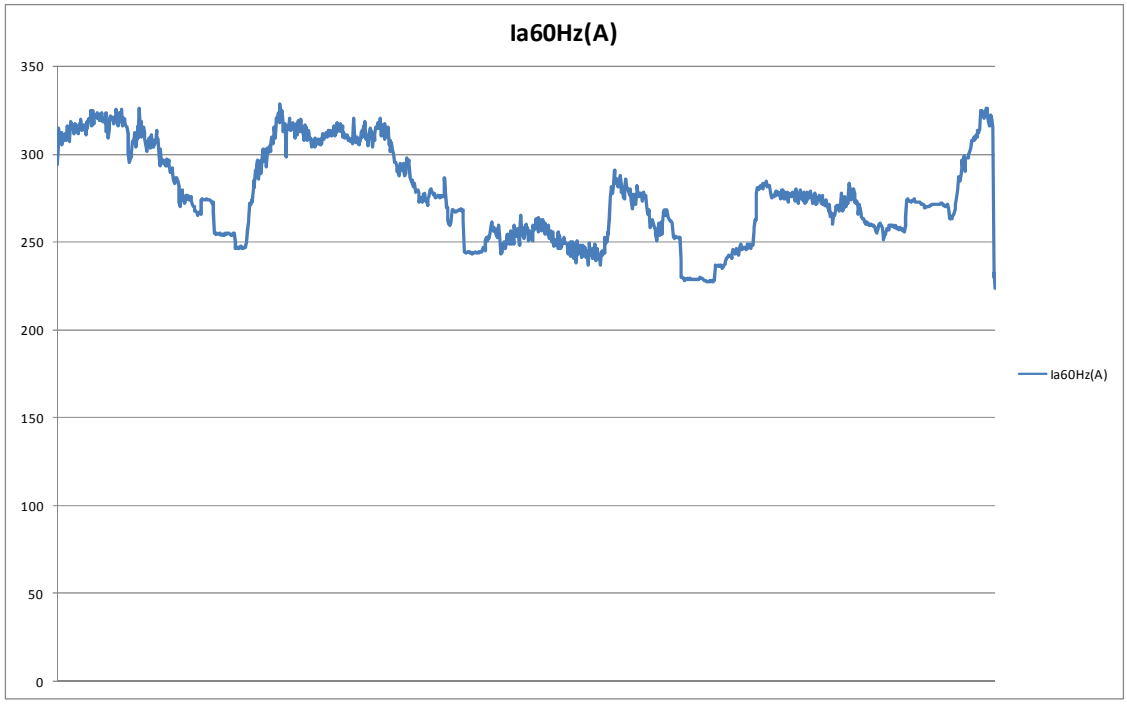
- Fase C:



Observação: Principal harmônica monitorada é a 5ª ordem.

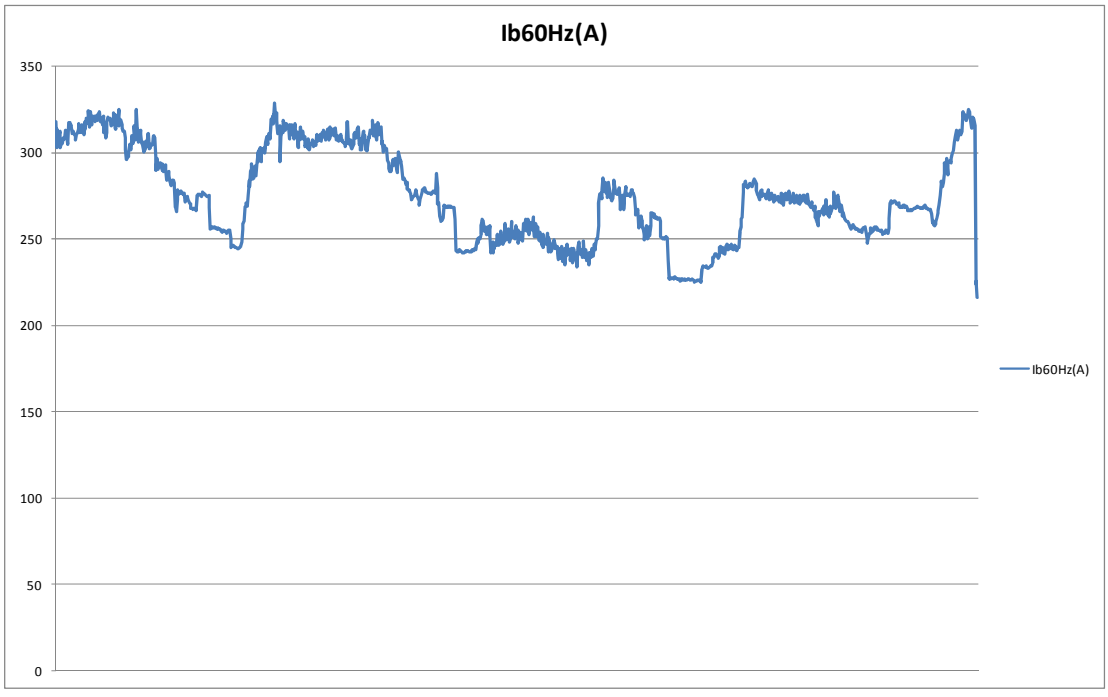
d) Correntes RMS em Amperes:

- Fase A:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.

- Fase B:



Observação: Variação da corrente rms com a carga.