

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E**  
**AUTOMAÇÃO ELÉTRICA**

**EDISON PIRES DE MORAES**

**DISTRIBUIÇÃO DE CORRENTE ENTRE SEMICONDUTORES EM**  
**RETIFICADORES DE ALTA CORRENTE – ESTUDO DE CASOS**  
**REAIS**

**São Paulo**

**2008**

**EDISON PIRES DE MORAES**

**DISTRIBUIÇÃO DE CORRENTE ENTRE SEMICONDUTORES EM  
RETIFICADORES DE ALTA CORRENTE – ESTUDO DE CASOS  
REAIS**

**Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo, para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia.**

**Área de concentração: Sistemas de  
Potência.**

**Linha de pesquisa: Eletrônica de  
Potência.**

**Orientador:**

**Prof. Dr. Walter Kaiser**

**São Paulo**

**2008**

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO OU PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.**

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 21 de outubro de 2008.

Assinatura do Autor \_\_\_\_\_

Assinatura do orientador \_\_\_\_\_

Moraes, Edison Pires de.

Distribuição de corrente entre semicondutores em retificadores de alta corrente – Estudo de Casos Reais / E. P. de Moraes. – edição revisada – São Paulo, 2008.

63 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1. Retificadores I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II. t.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha esposa Mariléia e aos meus filhos Vitor e Felipe, pelo carinho, apoio e incentivo na elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Walter Kaiser, meu orientador, pela dedicação e paciência no desenvolvimento desta dissertação e ao longo de todo curso.

Aos professores Wilson Komatsu, Jose Aquiles Baesso Grimoni, Lourenço Matakas Junior, Luiz Cera Zanetta Junior, Jose Roberto Cardoso, Luiz Natal Rossi e Clovis Goldemberg, pela colaboração e ensinamentos ao longo do curso.

Aos meus amigos, pelas palavras de incentivo e apoio.

Aos meus colegas de trabalho na ABB, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, que direta e indiretamente, contribuíram para tornar realidade este objetivo.

## RESUMO

*Moraes, E. P. Distribuição de Corrente entre Semicondutores em Retificadores de Alta Corrente – Estudo de Casos reais. 2008. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Potência.*

Nos processos industriais envolvendo eletrólise, como na produção de alumínio, cobre, zinco, níquel, manganês, carbeto de silício, cloro e seus derivados, as correntes envolvidas em geral atingem patamares que excedem o valor nominal de um único semicondutor, exigindo a associação de componentes em paralelo com uma distribuição de corrente equilibrada.

Este trabalho apresenta uma análise comparativa da distribuição de corrente em associações de semicondutores em paralelo em vinte retificadores de alta potência com diferentes tipos de arquitetura física de barramentos.

A particularidade deste estudo é a medição simultânea das correntes em todos os semicondutores de todos os ramos do retificador obtendo-se uma imagem da distribuição real de correntes do conversor.

## ABSTRACT

*Moraes, E. P., Current Distribution in High Current Rectifier Semiconductors – Real Case Study. 2008. Master Science dissertation in Electrical Power Systems.*

The industrial electrolytic processes to produce, aluminum, copper, zinc, nickel, manganese, silicon carbide, chlorine and its derivative, require current values which greatly exceed the capability of single rectifying devices and paralleled combinations of semiconductors or equipments are necessary.

This study evaluated through a comparative analyzes twenty rectifiers, with different busbar geometries, in order to verify the current distribution in paralleled devices.

The differential of this study is the simultaneous measurement of currents in all semiconductors of each branch in order to obtain a real representation of the rectifiers' current distribution.

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	11
2	Retificadores de Alta Corrente.....	14
2.1	Topologias de circuitos retificadores .....	16
2.2	Tipos de barramento.....	17
3	Medições e Resultados.....	19
3.1	Técnica de Medição .....	19
3.2	Sumário dos Casos Estudados.....	22
3.3	Resultado das Medições.....	23
3.3.1	Retificadores com barramento vertical – Grupo A .....	23
3.3.2	Retificadores com barramento vertical – Grupo B .....	26
3.3.3	Retificadores com barramento horizontal – Grupo C .....	28
3.3.4	Retificadores com barramento graticulado – Grupo D .....	30
4	Discussão dos Resultados .....	32
4.1	Ensaio Experimental .....	33
4.2	Análise das Medições.....	35
5	Considerações Finais.....	40
6	Referências.....	42
7	Anexos .....	43

## Índice de Figuras

Figura 1.1: Tempo de operação dos retificadores da base instalada brasileira.....	12
Figura 2.1: Diagrama unifilar típico de um sistema de retificação.....	15
Figura 2.2: Exemplo de topologias com conexão em ponte e em estrela.....	16
Figura 2.3: Retificador tipo DB com barramento horizontal.....	17
Figura 2.4: Retificador tipo DSS com barramento vertical.....	18
Figura 2.5: Retificador tipo DSS com barramento graticulado.....	18
Figura 3.1: Diagrama esquemático de um grupo retificador em ponte de Graetz.....	19
Figura 3.2: Diagrama geral de configuração do equipamento RCEM.....	21
Figura 3.3: Planilha Excel do RCEM.....	21
Figura 3.4: Distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo A.....	25
Figura 3.5: Curva média da distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo A.....	25
Figura 3.6: Distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo B.....	27
Figura 3.7: Curva média da distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo B.....	27
Figura 3.8: Distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo C.....	29
Figura 3.9: Curva média da distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo C.....	29
Figura 3.10: Distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo D.....	31
Figura 3.11: Curva média da distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo D.....	31
Figura 4.1: Diagrama ilustrativo do acoplamento magnético entre ramos em paralelo.....	32
Figura 4.2: Circuito do modelo de teste.....	33
Figura 4.3: Gráfico da distribuição de corrente no modelo de teste.....	34
Figura 4.4: Distribuição de corrente nos retificadores estudados com barramento vertical e número elevado de elementos em paralelo – GRUPO A.....	35
Figura 4.5: Distribuição de corrente nos retificadores estudados com barramento vertical e número reduzido de elementos em paralelo – GRUPO B.....	35



Figura 4.6: Distribuição de corrente nos retificadores estudados com barramento horizontal e número reduzido de elementos em paralelo – GRUPO C. ....	36
Figura 4.7: Distribuição de corrente nos retificadores estudados com barramento graticulado e número reduzido de elementos em paralelo – GRUPO D. ....	36
Figura 4.8: Distribuição de corrente nos quatro Grupos.....	36
Figura 4.9: Foto de bobina de reatância. ....	37
Figura 4.10: Foto da extremidade de um barramento vertical. ....	38
Figura 4.11: Detalhes de conexões de semicondutores utilizando barramentos flexíveis. ....	38

## Índice de Tabelas

Tabela 3.1: Sumário dos casos estudados.....	22
Tabela 3.2: Agrupamento dos casos estudados.....	23
Tabela 3.3: Sumário dos retificadores do Grupo A.....	23
Tabela 3.4: Distribuição de corrente nos retificadores do Grupo A.....	24
Tabela 3.5: Sumário dos retificadores do grupo B.....	26
Tabela 3.6: Distribuição de corrente nos retificadores do Grupo B.....	26
Tabela 3.7: Sumário dos retificadores do grupo C.....	28
Tabela 3.8: Distribuição de corrente nos retificadores do Grupo C.....	28
Tabela 3.9: Sumário dos retificadores do grupo D.....	30
Tabela 3.10: Distribuição de corrente nos retificadores do Grupo D.....	30
Tabela 4.1: Resultado do teste experimental.....	33
Tabela 7.1: Caso 01 – Grupo A – Barramento vertical.....	44
Tabela 7.2: Caso 02 – Grupo A – Barramento vertical.....	45
Tabela 7.3: Caso 03 – Grupo A – Barramento vertical.....	46
Tabela 7.4: Caso 04 – Grupo A – Barramento vertical.....	47
Tabela 7.5: Caso 05 – Grupo A – Barramento vertical.....	48
Tabela 7.6: Caso 06 – Grupo A – Barramento vertical.....	49
Tabela 7.7: Caso 07 – Grupo A – Barramento vertical.....	50
Tabela 7.8: Caso 08 – Grupo B – Barramento vertical.....	51
Tabela 7.9: Caso 09 – Grupo B – Barramento vertical.....	52
Tabela 7.10: Caso 10 – Grupo B – Barramento vertical.....	53
Tabela 7.11: Caso 11 – Grupo B – Barramento vertical.....	54
Tabela 7.12: Caso 12 – Grupo B – Barramento vertical.....	55
Tabela 7.13: Caso 13 – Grupo C – Barramento horizontal.....	56
Tabela 7.14: Caso 14 – Grupo C – Barramento horizontal.....	57
Tabela 7.15: Caso 15 – Grupo C – Barramento horizontal.....	58
Tabela 7.16: Caso 16 – Grupo C – Barramento horizontal.....	59
Tabela 7.17: Caso 17 – Grupo C – Barramento horizontal.....	60
Tabela 7.18: Caso 18 – Grupo D – Barramento quadricular.....	61
Tabela 7.19: Caso 19 – Grupo D – Barramento quadricular.....	62
Tabela 7.20: Caso 20 – Grupo D – Barramento quadricular.....	63

## 1 Introdução

Os retificadores de alta corrente com valores nominais elevados são equipamentos chave em processos eletrolíticos para produção de alumínio, cobre, zinco, níquel, cloro e outros mais. A corrente nestas plantas excede o valor obtido com retificadores utilizando somente um semicondutor por válvula<sup>1</sup>. Portanto, estações retificadoras de alta corrente necessitam a associação em paralelo de vários retificadores, cada um utilizando vários semicondutores em paralelo.

O funcionamento das plantas de eletrólise requer disponibilidade de corrente CC 24 horas por dia, ou seja, a confiabilidade e disponibilidade operacional dos retificadores são requisitos fundamentais. Para tanto, a solicitação térmica de cada componente de uma válvula deve ser próxima, ou seja, a corrente deve ser distribuída igualmente entre os semicondutores.

Atualmente existe disponibilidade comercial de semicondutores, tanto a diodos como a tiristores, com correntes nominais de até 6000 A. (ABB SEMICONDUCTORS AG, 2007), Os retificadores modernos utilizam um número reduzido de semicondutores (de 4 a 8) em paralelo. Em função dos níveis elevados de corrente, a utilização de reatores acoplados para forçar uma distribuição equitativa de corrente é uma técnica inviável na prática. Desta forma os semicondutores são diretamente conectados em paralelo, sendo cada um protegido por fusíveis ligados em série.

Convém ressaltar que embora o avanço tecnológico atual permita que os novos retificadores sejam fabricados com poucos elementos em paralelo, a realização deste estudo é conveniente pelo fato de que aproximadamente 70% dos retificadores da base instalada do Brasil tenham mais de 15 anos de operação como mostra a Fig.1.1, ou seja, existe um número significativo de plantas utilizando retificadores com grande quantidade de semicondutores em paralelo, alguns chegam a ter até 20 componentes em paralelo.

A associação de vários semicondutores em paralelo, com uma distribuição de corrente balanceada, requer topologias de barramentos adequadas, além da observância de outros fatores importantes como a queda de tensão direta sobre os semicondutores,

---

<sup>1</sup> Válvula em retificadores comutados pela rede é a designação genérica dos dispositivos que operam como chaves (abertas ou fechadas) e que são responsáveis pela transferência de corrente do alimentador CA para a carga CC.

a resistência interna dos fusíveis, os efeitos da auto e mútua indutâncias, as condições de montagem dos elementos e suas condições de refrigeração.

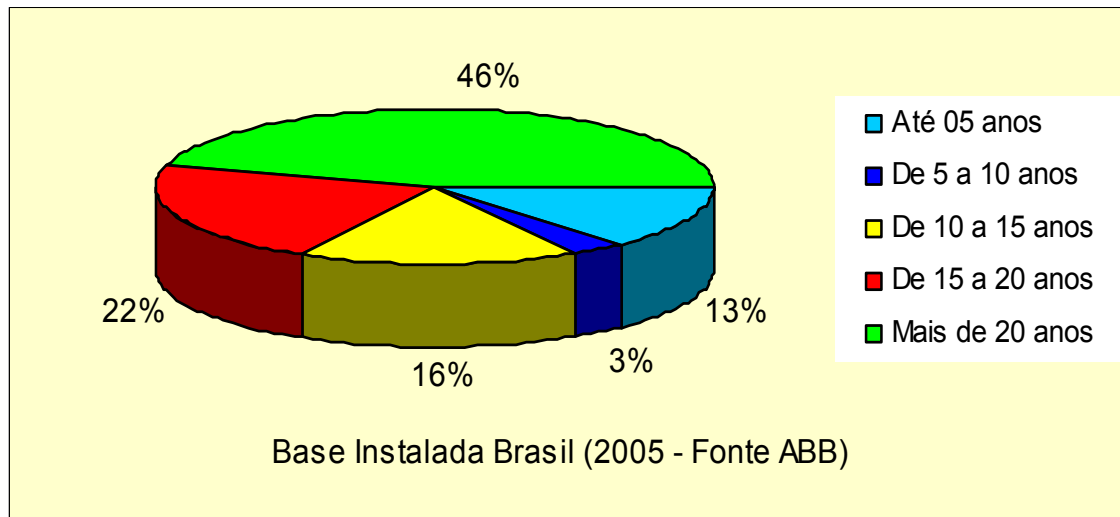


Figura 1.1: Tempo de operação dos retificadores da base instalada brasileira.

Nesta dissertação foram realizadas medições de corrente nos semicondutores de 20 instalações retificadoras em indústrias eletro-intensivas, contemplando diversas topologias do circuito de potência e geometrias de barramento.

O estudo tem como diferencial a técnica de medição, que permite realizar medições simultâneas das correntes em todos os elementos paralelos de todos os ramos do retificador, obtendo-se uma imagem instantânea da distribuição de correntes no retificador.

No trabalho avalia-se a influência dos diferentes arranjos físicos de barramento sobre o balanceamento de corrente entre os elementos paralelos, além de validar os limites de desbalanceamento aceitáveis e considerados satisfatórios pelos fabricantes e usuários de retificadores de alta corrente.

Outro aspecto que motivou a realização deste estudo foi o impacto provocado pela demanda crescente por matéria prima produzida através de processos eletrolíticos, que obrigou as indústrias a alterar o regime de operação dos retificadores.

Em algumas unidades de produção os retificadores que antes operavam abaixo de seu limite nominal, passaram a funcionar continuamente no regime nominal e em alguns casos operando em regime de sobrecarga. E com este regime de trabalho torna se necessário que haja uma distribuição de corrente balanceada entre os elementos em paralelo do retificador.

O trabalho encontra-se dividido em 5 capítulos e um Anexo.

No segundo capítulo apresentam-se uma visão geral dos retificadores de alta potência, com uma descrição das topologias clássicas e os tipos de arranjos físicos de barramentos mais usuais.

No terceiro capítulo inicialmente é descrito a técnica de medição, seguido por uma descrição dos casos reais estudados, devidamente agrupados de acordo com a arquitetura física dos barramentos, e ao final são apresentados os resultados das medições efetuadas.

No quarto capítulo são discutidos os efeitos do acoplamento magnético sobre o comportamento da distribuição de corrente em semicondutores ligados em paralelo, e discutidos os resultados obtidos, tanto no protótipo como nos casos reais estudados.

No capítulo cinco, são relatadas as considerações finais e apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

No Anexo encontram-se as planilhas Excel geradas, para todos os casos analisados, pelo equipamento de medição de corrente.

## 2 Retificadores de Alta Corrente

*Este capítulo apresenta uma visão geral sobre retificadores de correntes elevadas, as principais topologias e tipos de barramento utilizados.*

Os retificadores ou conversores CA/CC estáticos de alta corrente têm sua principal aplicação nas indústrias, ditas eletro-intensivas, para as quais a energia elétrica é a matéria prima para obtenção do produto final.

Na maioria dos casos são processo para obtenção de matérias primas como alumínio, cobre, zinco, níquel, manganês, carbetos de silício, cloro e seus derivados. Estes processos requerem tensões contínuas na faixa de 150 V a 1200 V e corrente contínuas na faixa de 10 kA a 200 kA.

As plantas produtoras de cobre em geral utilizam tensões em torno de 250 V e correntes na faixa de 20 kA a 40 kA, em geral fornecidas por um único retificador a diodos ou tiristores. Já as instalações produtoras de alumínio demandam potências bem maiores e operam com tensões e correntes em torno de 1000 V e 180 kA fornecidas por uma associação de retificadores em paralelo, em geral a diodos. E as instalações produtoras de cloro e seus derivados em geral utilizam um único retificador a diodos ou tiristores com capacidade nominal no lado CC em torno 200 V e 80 kA.

Em função dos elevados níveis de corrente, as plantas retificadoras são geralmente compostas de vários retificadores ligados em paralelo e cada um utilizando vários semicondutores em paralelo. A distribuição balanceada de corrente entre retificadores e entre os semicondutores paralelos são condições necessárias para o bom funcionamento e confiabilidade do conjunto.

Os retificadores não são equipamentos produzidos em série, sendo fabricados sob medida já que cada processo produtivo tem características distintas de tensão, corrente, número de pulsos, regulação de corrente, etc.

A figura 2.1 mostra o diagrama unifilar de uma unidade de retificação de elevada corrente a qual é composta pelas seguintes partes:

- a) *Barramento de AT ou MT:* São os barramentos CA de entrada e as tensões mais usuais são de 138 kV ou 13,8 kV.
- b) *Disjuntor de AT ou MT:* Destina-se a manobras e proteção do sistema.
- c) *Transformador Trifásico:* Frequentemente chamado de transformador-retificador, geralmente é imerso em óleo isolante (apenas unidades de baixa potência são a

seco) e possui um ou mais enrolamentos no primário e no secundário, podendo ser constituído por um autotransformador regulador no primário.

- d) *Retificador*: Cada unidade pode ser de seis ou doze pulsos, a diodo ou a tiristor, na configuração em ponte de Graetz ou em estrela.
- e) *Medidor de corrente CC*: Os medidores mais antigos eram transdutores de efeito Hall. Atualmente dispõe-se de medidores de corrente de fibra-óptica baseados no efeito Faraday<sup>2</sup> para as funções de indicação, regulação e proteção.

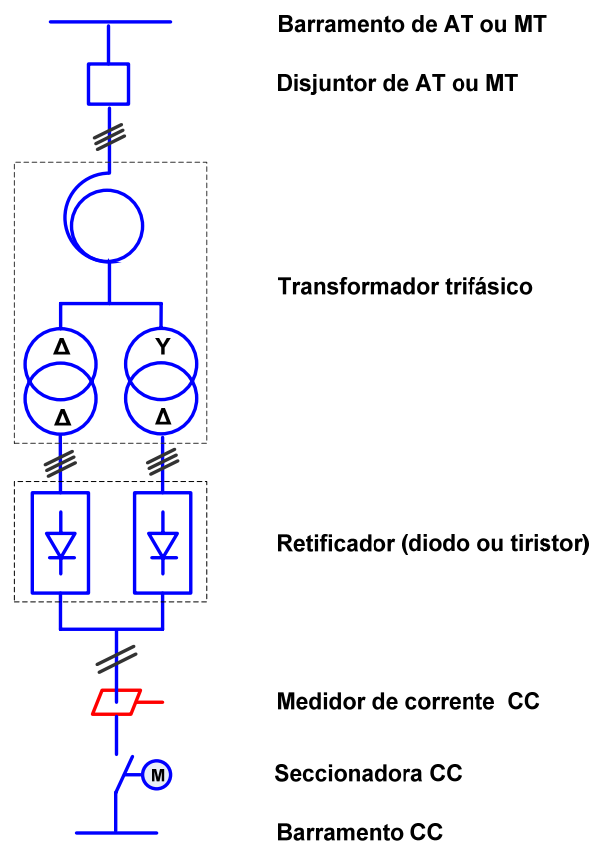


Figura 2.1: Diagrama unifilar típico de um sistema de retificação.

- f) *Seccionadora CC*: Destina-se a manobras para isolar o sistema de retificação do processo produtivo. Grande parte dos processos eletrolíticos mantém uma tensão residual, mesmo após algumas horas do seu desligamento do circuito de retificação.
- g) *Barramento CC*: São os barramentos de saída que conectam o retificador à carga.

O sistema de retificação requer ainda outros equipamentos auxiliares tidos como periféricos, os quais, contudo são essenciais para a operação da planta, como o painel de

<sup>2</sup> O efeito Faraday é um fenômeno opto-magnético que descreve a interação de um feixe de luz com um campo magnético em um material dielétrico. Verifica-se que a rotação do plano de polarização da luz é proporcional à intensidade da componente do campo magnético na direção do feixe de luz.

controle que controla todos os equipamentos da unidade retificadora e o circuito de refrigeração do retificador.

O sistema de refrigeração, em geral utiliza água deionizada sendo composto de bombas e trocadores de calor. Sua função é o resfriamento dos componentes do retificador, ou seja, semicondutores, fusíveis e barramentos.

## 2.1 Topologias de circuitos retificadores

O circuito de potência do retificador é composto pelos semicondutores (diodos ou tiristores) com os respectivos fusíveis, pelos barramentos CA e CC e pelos “snubbers”, circuitos de proteção dos semicondutores contra sobretensões formados por capacitores, resistores e varistores.

A topologia do circuito de retificação nas instalações eletro-intensivas é definida por norma (ANSI/IEEE STD C57.18.10, 1998), a qual determina a forma de conexão dos semicondutores entre si e aos enrolamentos secundários dos transformadores, bem como estabelece a ligação deste enrolamento para se obter a defasagem desejada entre as tensões CA de cada fase na entrada do retificador.

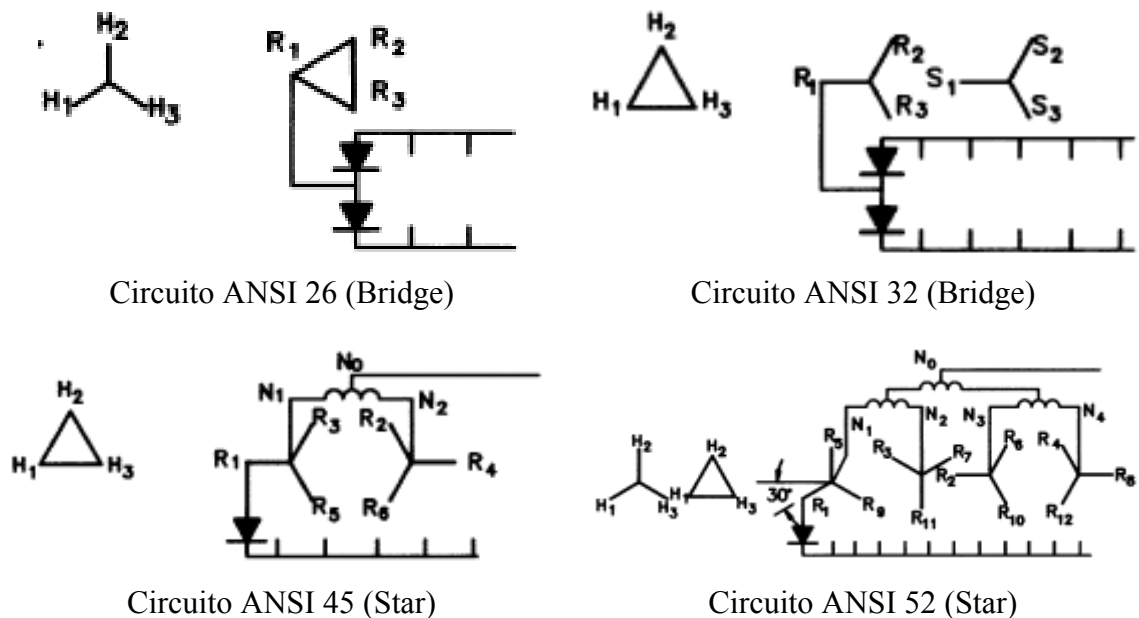


Figura 2.2: Exemplo de topologias com conexão em ponte e em estrela.

As topologias comercialmente mais utilizadas em grupos retificadores são a dupla-ponte ou DB (double-bridge) e a dupla estrela com reator de interfase ou DSS (double-star with interfase reactor). A escolha do circuito do sistema de retificação é determinada pelos níveis de tensão e corrente contínua demandadas pelo processo



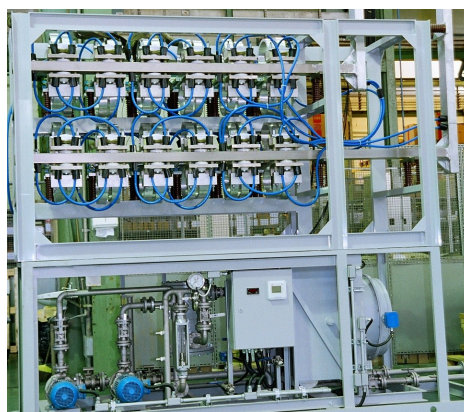
(PINTO, 2005). A Fig. 2.2 reproduz alguns circuitos da norma ANSI/IEEE C57.18.10-1998 para as topologias em ponte e em estrela.

## 2.2 Tipos de barramento

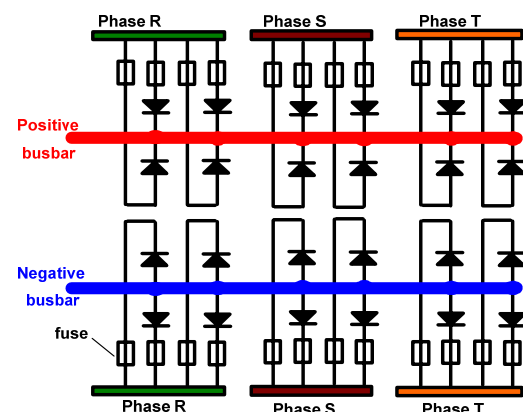
O design de um retificador, ou seja, o projeto mecânico da disposição dos semicondutores, dos barramentos e das conexões de alimentação e de carga varia de fabricante para fabricante e do conhecimento tecnológico na época de sua fabricação.

Em instalações eletro-intensivas são encontrados três tipos construtivos de barramento: barramentos horizontais, barramentos verticais e barramentos graticulados.

Os retificadores com barramentos horizontais caracterizam-se por ter os semicondutores montados diretamente sobre um barramento horizontal com anodo ou catodo comum, com as três fases compartilhando o mesmo barramento. Este arranjo é mais empregado em retificadores tipo DB (double-bridge). A figura 2.3 apresenta um retificador de 6 pulsos para corrente CC de 12 kA com barramento horizontal utilizando 4 semicondutores em paralelo por fase e conexões de acordo com o circuito ANSI 26.



a) Foto do retificador



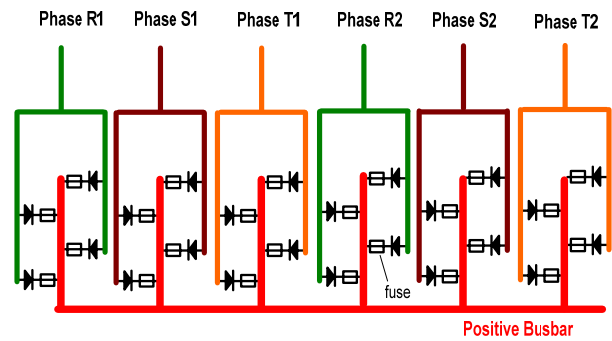
b) Diagrama do retificador

Figura 2.3: Retificador tipo DB com barramento horizontal

Nos retificadores com barramentos verticais os semicondutores são montados diretamente no barramento com anodo ou catodo comum, porém sua principal diferença é que cada terminal CA do transformador tem um barramento de conexão próprio. Este arranjo é em geral utilizado em retificadores tipo DSS (double-star). A figura 2.4 apresenta um retificador de 6 pulsos para corrente CC de 20 kA com barramento vertical utilizando 4 semicondutores em paralelo por fase e conexões de acordo com o circuito ANSI 45. O pólo negativo do retificador é o terminal central do reator de interfase que interconecta os pontos centrais de cada estrela do secundário.



a) Foto do retificador



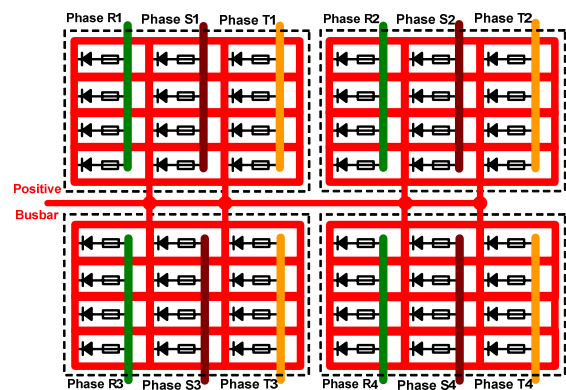
b) Diagrama do retificador

Figura 2.4: Retificador tipo DSS com barramento vertical.

Os retificadores com barramento graticulado, de fabricação mais antiga, são similares aos de barramento vertical. A denominação se refere ao formato do barramento CC que forma uma malha ou quadro no qual encontram-se conectado os semicondutores. Este arranjo é mais empregado em retificadores tipo DSS (double-star). A figura 2.5 apresenta um retificador de 12 pulsos para corrente CC de 18 kA com barramento graticulado, utilizando 4 semicondutores em paralelo por fase e conexões segundo circuito ANSI 52. O terminal negativo é o terminal central do reator de interfase. A figura 2.5 abaixo exemplifica este tipo de design de um retificador de 12 pulsos, 18 kA de corrente CC, com 4 semicondutores em paralelo por fase e conexão de acordo com o circuito ANSI 52. O pólo negativo do retificador é o terminal central do reator de interfase de maior corrente.



a) Foto do retificador



b) Diagrama do retificador

Figura 2.5: Retificador tipo DSS com barramento graticulado.

### 3 Medições e Resultados

*Neste capítulo descreve-se a técnica de medição utilizada, seguido por um sumário dos casos reais estudados, devidamente agrupados de acordo com arquitetura física dos barramentos e ao final são apresentados os resultados das medições efetuadas.*

Os casos descritos neste trabalho são resultados de medições efetuadas nos últimos dois anos em diversas instalações industriais pelo autor como responsável técnico por serviços em retificadores de alta corrente na empresa ABB. As informações técnicas restringem-se aos resultados das medições e às especificações técnicas dos retificadores. Nenhum outro dado relativo à empresa proprietária do retificador ou as características operacionais ou produtivas foi mencionado, além do que tais dados são irrelevantes para este estudo.

#### 3.1 Técnica de Medição

Para se avaliar a distribuição de correntes no retificador é necessária uma medição simultânea de corrente em todos os semicondutores e ramos do retificador. Para esta finalidade utilizou-se um equipamento de fabricação DynAmp, denominado RCEM (Rectifier Condition and Evaluation Monitoring System), (DYNAMP, 2007), projetado especificamente para medições de corrente sem contato elétrico em retificadores de alta potência.

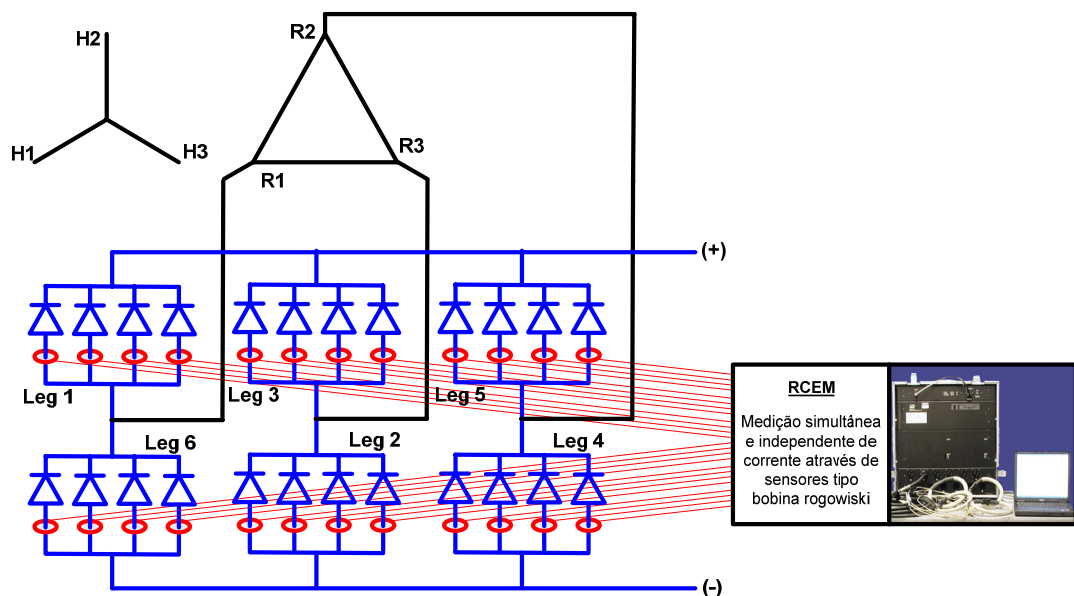


Figura 3.1: Diagrama esquemático de um grupo retificador em ponte de Graetz.

A figura 3.1 mostra um grupo retificador com o transformador conectado em  $Y/\Delta$ , o retificador em ponte de Graetz com quatro semicondutores em paralelo em cada perna (“leg”) e o equipamento RCEM conectado ao retificador.

Para medição de corrente são utilizados sensores do tipo bobina de Rogowski (ROGOWSKI et al, 1912), com relação 3000A / 1,0V, os quais são instalados no interior do retificador, envolvendo a conexão de cada semicondutor. O sinal de medição é enviado para uma unidade de aquisição de dados DAU (Data Acquisition Unit) que permite a conexão de até 120 sensores.

A DAU monitora cada sensor realizando registros periódicos ou sob demanda e armazena os dados em uma memória própria. Cada canal do RCEM possui condicionadores de sinal analógicos e circuitos de conversão para valor eficaz (RMS) antes da conversão A/D. A instalação do RCEM é simples, rápida e não intrusiva. A Fig. 3.2 mostra um diagrama do RCEM e suas conexões.

O software do RCEM tem opções para selecionar o circuito ANSI do retificador e processar os dados automaticamente, apresentando os valores eficazes das correntes nas pernas do retificador em uma planilha Excel. Além disso, o software permite ajustar limites para desvios de corrente, os quais são automaticamente ressaltados na planilha de resultados. A Fig. 3.3 apresenta a planilha fornecida pelo software do RCEM.

A utilização do equipamento RCEM apesar de bastante simples requer atenção para alguns aspectos importantes, como correlacionar adequadamente o valor de corrente de cada semicondutor indicado na planilha com a posição física do semicondutor no retificador.

A partir das planilhas com os dados da distribuição de corrente entre elementos paralelos de cada um dos retificadores estudados efetuou-se o tratamento dos dados seguindo os seguintes critérios:

- a)** Em função da diversidade de correntes e potência dos retificadores estudados, para efeito de análise foram considerados somente desvios percentuais de corrente;
- b)** As distribuições de corrente entre retificadores com mesmo tipo de barramento e agrupamento foram comparadas entre si e os resultados foram apresentados em forma de tabela e gráfico.

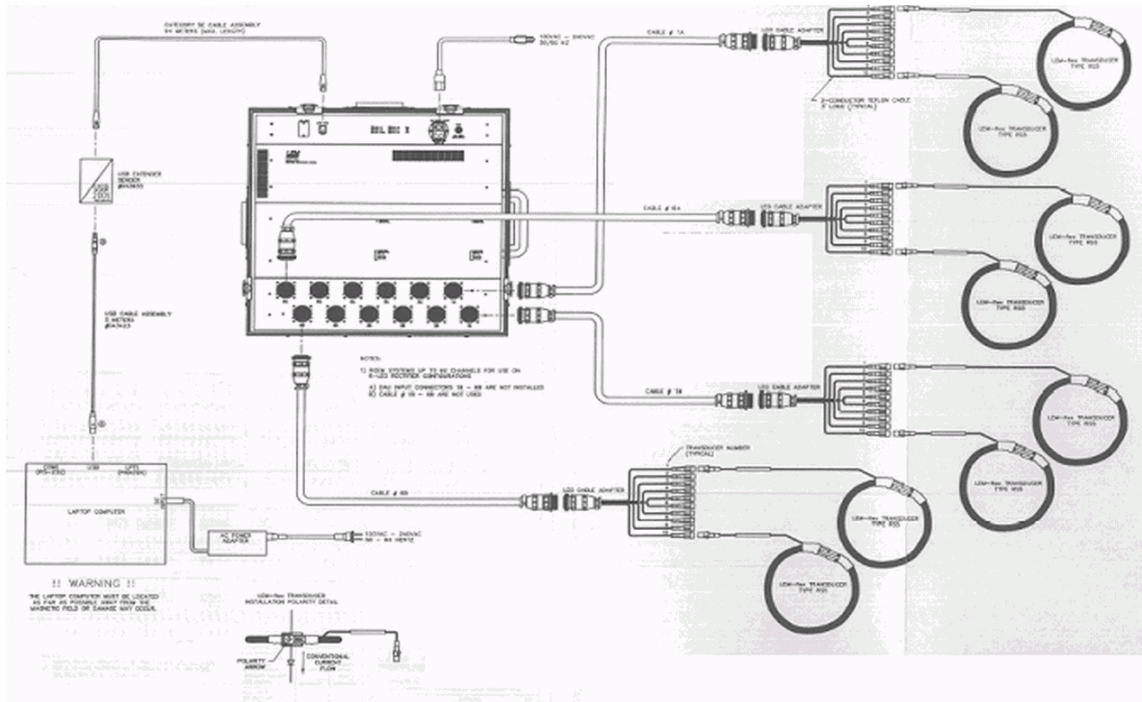


Figura 3.2: Diagrama geral de configuração do equipamento RCEM.

Unit Number:	Caso 15	Date:	04/20/06	ACQUIRE DATA	HI:	10	% Above Avg	RCEM				
Rectifier Current:	11651 A	Time:	8:30:33 AM		LO:	-10	% Below Avg	RESET				
	Leg 1		Leg 2		Leg 3		Leg 4		Leg 5		Leg 6	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	1681,5	1,01	1963,7	16,18	1681,2	-0,26	1726,3	2,26	1892,8	11,99	1734,9	3,81
2	1652,8	-0,72	1563,1	-8,11	1731,8	2,74	1596,5	-5,43	1681,5	-0,51	1486,7	-11,04
3	1597,7	-4,03	1842,9	9,03	1903,4	12,92	1827,5	8,26	1634,9	-3,27	1677,6	0,39
4	1727,0	3,74	1401,2	-17,10	1425,9	-15,40	1602,1	-5,10	1551,6	-8,20	1785,6	6,84
Total	6659,0		6760,9		6742,3		6752,4		6760,7		6684,8	
Average	1664,7		1690,2		1685,6		1688,1		1690,2		1671,2	

TEST MODE

Level: OFF

SAVE AS

SCAN

START

STOP

ANSI RECTIFIER CIRCUIT

ANSI CIRCUIT 23

ANSI CIRCUIT 24

ANSI CIRCUIT 25

ANSI CIRCUIT 26

ANSI CIRCUIT 31

ANSI CIRCUIT 32

ANSI CIRCUIT 45

ANSI CIRCUIT 46

ANSI CIRCUIT 52

Waveform Factor: 1,732

ANSI Rectifier Circuit: 26

DEVICES/LEG

Figura 3.3: Planilha Excel do RCEM.

### 3.2 Sumário dos Casos Estudados

Os casos apresentados na Tabela 3.1 constituem uma amostra representativa dos retificadores de alta corrente (de 10 kA a 80 kA) a diodos e tiristores instalados no Brasil e com algumas poucas unidades instaladas no Peru.

Tabela 3.1: Sumário dos casos estudados.

Caso	Grupo	Fabricante	Arranjo físico do barramento	Circuito ANSI	Tipo de semicondutor	Qtde em paralelo	I nominal (kA)
1	A	BBC	Vertical	26	Tiristor	20	48
2	A	BBC	Vertical	26	Tiristor	20	48
3	A	BBC	Vertical	45	Diodo	14	40
4	A	BBC	Vertical	25 / 26	Diodo	18	26
5	A	BBC	Vertical	25 / 26	Diodo	18	26
6	A	BBC	Vertical	25 / 26	Diodo	18	28
7	A	BBC	Vertical	25 / 26	Diodo	18	28
8	B	Siemens	Vertical	45	Diodo	4	20
9	B	Siemens	Vertical	52	Diodo	4	22
10	B	BBC	Vertical	26	Tiristor	6	36
11	B	ABB	Vertical	25	Tiristor	6	24
12	B	ABB	Vertical	25	Tiristor	6	24
13	C	ABB	Horizontal	52	Diodo	3	60
14	C	ABB	Horizontal	31	Tiristor	6	80
15	C	ABB	Horizontal	26	Tiristor	4	12
16	C	BBC	Horizontal	46	Diodo	6	30
17	C	BBC	Horizontal	46	Diodo	6	30
18	D	BBC	Quadricular	52	Diodo	6	50
19	D	BBC	Quadricular	52	Diodo	6	50
20	D	BBC	Quadricular	52	Diodo	4	18

A amostra reúne retificadores de seis ou doze pulsos com os três tipos de barramento: horizontal, vertical e graticulado. Todos são de fabricação ABB, ou BBC ou Siemens, alguns com mais de 20 anos, outros com menos de 10 anos de operação.

### 3.3 Resultado das Medições

Os casos foram agrupados de acordo com o tipo de barramento e subdivididos de acordo com o número de semicondutores ligado em paralelo como mostra a Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Agrupamento dos casos estudados.

Grupo	Tipo de barramento	Componentes em paralelo	Casos
A	Vertical	14 a 20	1 a 7
B	Vertical	04 a 06	8 a 12
C	Horizontal	03 a 06	13 a 17
D	Graticulado	04 a 06	18 a 20

#### 3.3.1 Retificadores com barramento vertical – Grupo A

O grupo A reúne os retificadores com barramento vertical e número elevado (14 a 20) de semicondutores em paralelo, cujas características encontram-s na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Sumário dos retificadores do Grupo A.

Casos	Fabricante	Arranjo do Barramento	Circuito ANSI	Diodo ou Tiristor	Qtde em paralelo	I <sub>Nominal</sub> (kA)
01	BBC	Vertical	26	Tiristor	20	48
02	BBC	Vertical	26	Tiristor	20	48
03	BBC	Vertical	45	Diodo	14	40
04	BBC	Vertical	25 / 26	Diodo	18	26
05	BBC	Vertical	25 / 26	Diodo	18	26
06	BBC	Vertical	25 / 26	Diodo	18	28
07	BBC	Vertical	25 / 26	Diodo	18	28

O desvio de corrente em cada componente é calculado tomando como base a média aritmética da corrente na perna ao qual pertence. A prática mostra que o valor limite de desequilíbrio tolerável é de  $\pm 20\%$ , o qual foi adotado neste estudo.

Os desvios de corrente para os retificadores do grupo A são apresentados na Tabela 3.4 e no gráfico da Fig.3.4. Note que na Tabela 3.4 existem células vazias, já que os retificadores, embora similares, possuem quantidades diferentes de elementos em paralelo. As indicações “superior”, “central” e “inferior” identificam a posição relativa do componente no barramento vertical.

O gráfico da Fig. 3.5 mostra o valor médio do desvio de corrente (última coluna da Tabela 3.4) medido nos retificadores do Grupo A.

Tabela 3.4: Distribuição de corrente nos retificadores do Grupo A.

	Retificador Caso 01	Retificador Caso 02	Retificador Caso 03	Retificador Caso 04	Retificador Caso 05	Retificador Caso 06	Retificador Caso 07	Média Total
Superior	-2,31	8,58	12,42	-16,50	-16,48	-11,00	-5,28	-4,37%
	-0,51	-5,46	-6,84	3,90	4,96	-3,42	5,96	-0,20%
	-3,79	1,71	-14,99	1,14	3,75	4,18	3,11	-0,70%
	-3,56	-10,01	-7,05					-6,87%
	-6,42	-8,33						-7,37%
Central	-1,18	5,59						2,21%
	2,38	1,18						1,78%
	1,56	6,77	-4,32					1,33%
	2,75	5,92	-4,24	3,94	1,53			1,98%
	4,98	11,22	3,40	4,13	3,60	5,12	0,75	4,74%
	5,21	-0,84	6,47	3,37	1,09	2,33	1,22	2,69%
	-0,82	-0,38	6,61			-0,52	3,20	1,62%
	-6,42	-10,61	2,66					-4,79%
	-3,24	-14,40						-8,82%
-8,35	-2,89						-5,62%	
Inferior	1,57	-0,51						0,53%
	-2,74	-1,57	-12,69					-5,67%
	1,43	4,67	10,39	-0,61	5,97	3,14	-1,81	3,31%
	8,28	0,56	-7,38	8,97	8,91	3,14	2,80	3,61%
	11,17	8,78	15,58	-8,33	-13,34	-8,45	-9,95	-0,65%



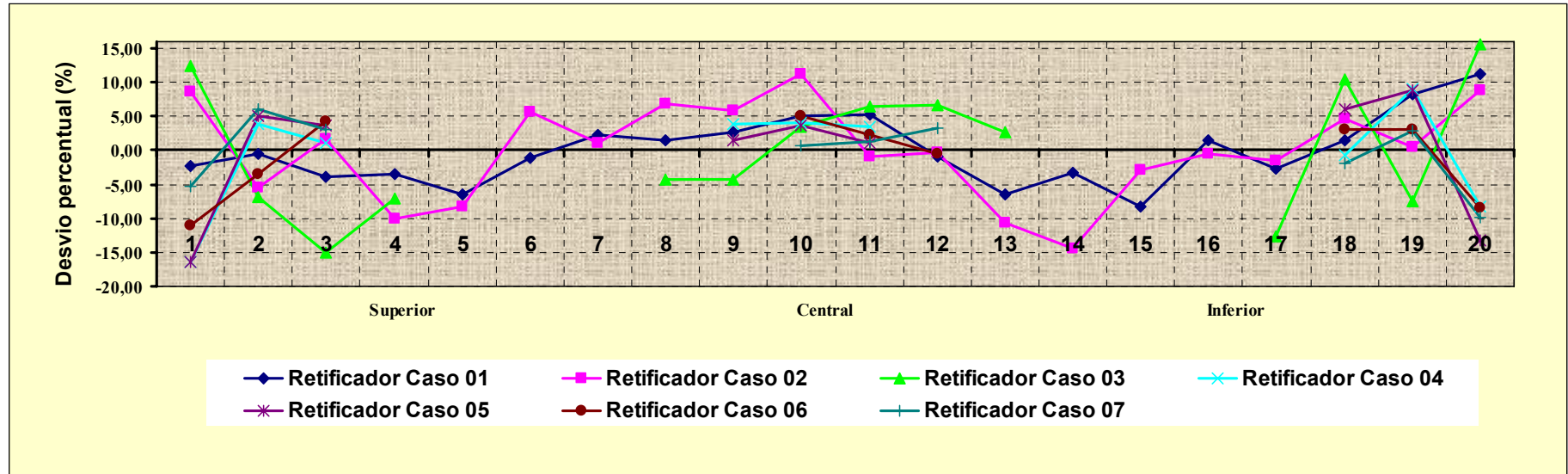


Figura 3.4: Distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo A.

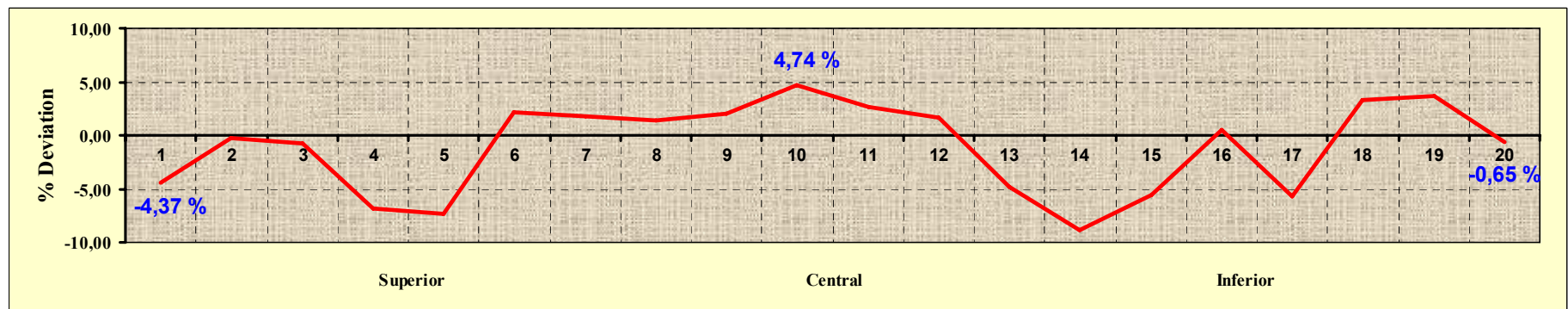


Figura 3.5: Curva média da distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo A.

### 3.3.2 Retificadores com barramento vertical – Grupo B

O grupo B reúne os retificadores com barramento vertical e número reduzido (4 a 6) de semicondutores em paralelo, cujas características encontram-s na Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Sumário dos retificadores do grupo B.

Casos	Fabricante	Arranjo do Barramento	Circuito ANSI	Diodo ou Tiristor	Qtde em paralelo	$I_{\text{Nominal}}$ (kA)
08	Siemens	Vertical	45	Diodo	4	20
09	Siemens	Vertical	52	Diodo	4	22
10	BBC	Vertical	26	Tiristor	6	36
11	ABB	Vertical	25	Tiristor	6	24
12	ABB	Vertical	25	Tiristor	6	24

Os desvios de corrente para os retificadores do grupo B são apresentados na Tabela 3.6, mostrando comportamento da distribuição de corrente em cada um dos retificadores e a Fig. 3.6 apresenta o gráfico desta distribuição. A Fig. 3.7 mostra o valor médio do desvio de corrente (última coluna da Tabela 3.6) registrado nos retificadores do Grupo B.

Tabela 3.6: Distribuição de corrente nos retificadores do Grupo B.

	Retificador Caso 08	Retificador Caso 09	Retificador Caso 10	Retificador Caso 11	Retificador Caso 12	Média Total
Superior	2,06	5,91	2,77	-0,51	1,61	2,37%
				-7,39	-12,25	-9,82%
Central	-4,44	4,52	-1,27	12,73	13,93	5,09%
	0,51	-6,07	3,31	-2,05	-8,01	-2,46%
Inferior				-7,74	-8,89	-8,31%
	1,88	-4,36	3,08	4,96	13,60	3,83%

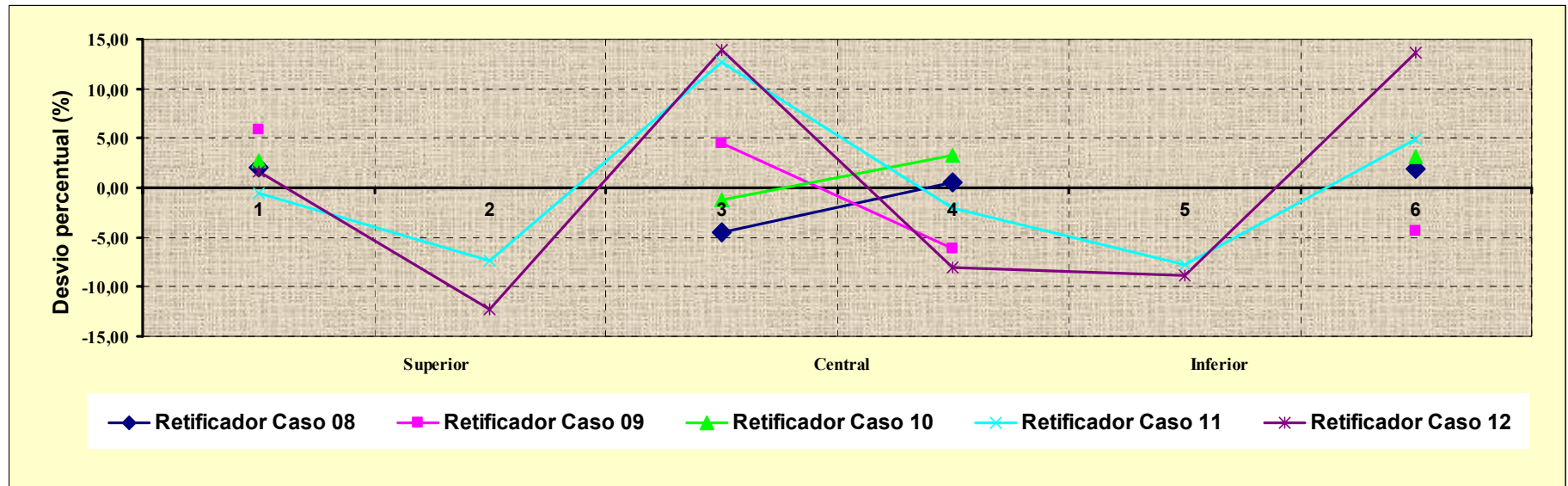


Figura 3.6: Distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo B.

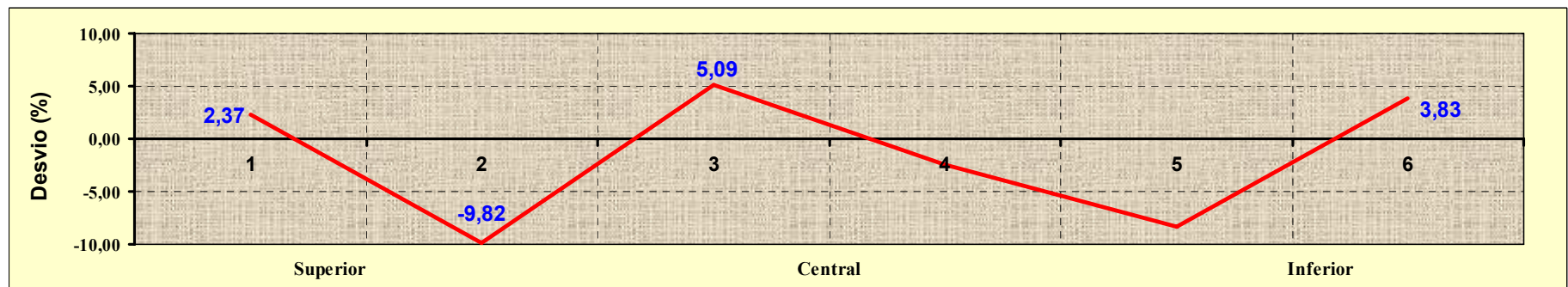


Figura 3.7: Curva média da distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo B.

### 3.3.3 Retificadores com barramento horizontal – Grupo C

O grupo C reúne os retificadores com barramento horizontal e número reduzido (3 a 6) de semicondutores em paralelo, cujas características encontram-se na Tabela 3.7. Os desvios de corrente são apresentados na Tabela 3.8 e Fig. 3.8. Nesta geometria de barramento os semicondutores das três fases estão conectados diretamente a um único barramento CC (vide Fig. 2.3) Por esta razão os números na abscissa da Fig. 3.8 representam o produto das fases pelo número de semicondutores em paralelo.

Tabela 3.7: Sumário dos retificadores do grupo C.

Casos	Fabricante	Arranjo do Barramento	Circuito ANSI	Diodo ou Tiristor	Qtde em paralelo	I <sub>Nominal</sub> (kA)
13	ABB	Horizontal	52	Diodo	3	60
14	ABB	Horizontal	31	Tiristor	6	80
15	ABB	Horizontal	26	Tiristor	4	12
16	BBC	Horizontal	46	Diodo	6	30
17	BBC	Horizontal	46	Diodo	6	30

O gráfico da Fig. 3.9 mostra o valor médio do desvio de corrente (última coluna da Tabela 3.8) registrado nos retificadores do Grupo C.

Tabela 3.8: Distribuição de corrente nos retificadores do Grupo C.

	Retificador Caso 13	Retificador Caso 14	Retificador Caso 15	Retificador Caso 16	Retificador Caso 17	Média Total
Fase R	-0,62	-4,29	5,55	12,32	-19,92	-1,39%
	0,31	-0,89	-5,55	-0,39	7,47	0,19%
		5,04		0,00	12,45	5,83%
				-26,62	-6,96	-16,79%
				-6,82	-9,77	-8,29%
				33,43	16,73	25,08%
Fase S				-3,11	-20,95	-12,03%
		6,99		-11,62	-0,34	-1,66%
	-1,94	-1,85	5,80	14,74	21,29	7,61%
	0,97	-5,14	-5,80	-14,69	-0,06	-4,94%
				-16,97	-13,80	-15,39%
Fase T				31,66	13,86	22,76%
				1,93	-7,25	-2,66%
				-5,69	1,92	-1,89%
				3,75	5,33	4,54%
		4,76		33,77	-3,15	11,79%
	2,43	-1,11	3,23	-13,07	4,88	-0,73%
-1,22	-3,65	-3,23	-20,70	-1,73	-6,11%	

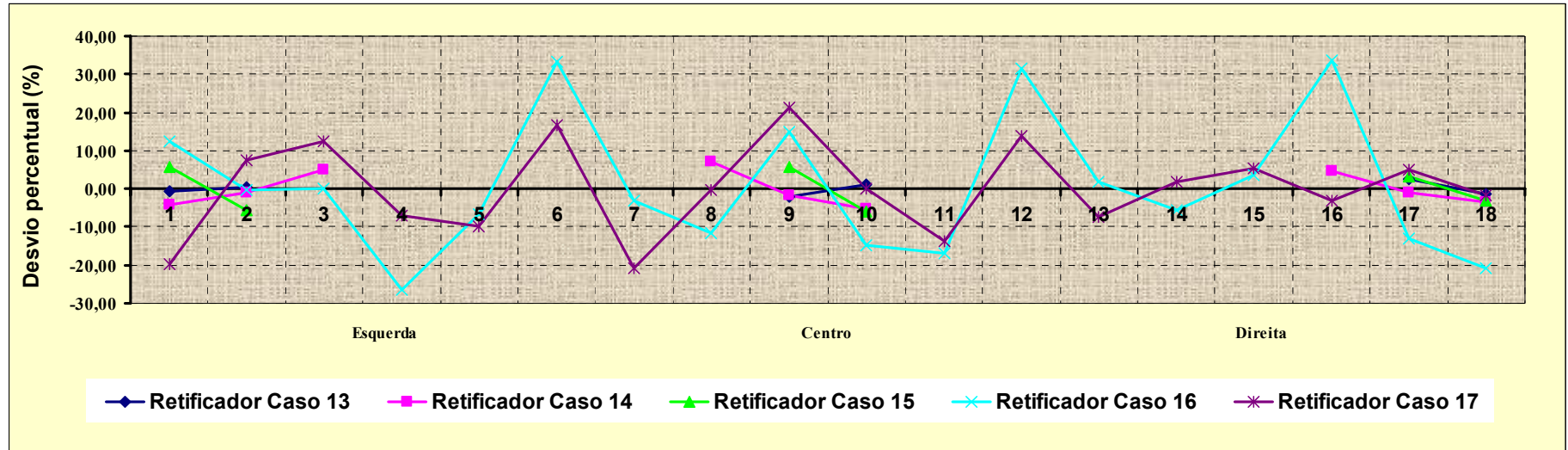


Figura 3.8: Distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo C.

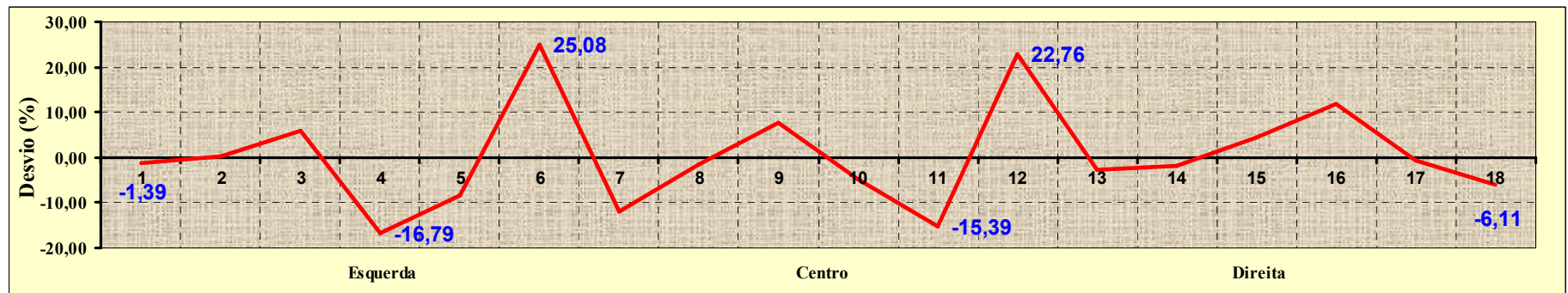


Figura 3.9: Curva média da distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo C.

### 3.3.4 Retificadores com barramento graticulado – Grupo D

O grupo D reúne os retificadores com barramento graticulado e número reduzido (4 a 6) de semicondutores em paralelo, cujas características encontram-s na Tabela 3.9.

Tabela 3.9: Sumário dos retificadores do grupo D.

Casos	Fabricante	Arranjo do Barramento	Circuito ANSI	Diodo ou Tiristor	Qtde em paralelo	I <sub>Nominal</sub> (kA)
18	BBC	Quadricular	52	Diodo	6	50
19	BBC	Quadricular	52	Diodo	6	50
20	BBC	Quadricular	52	Diodo	4	18

Os desvios de corrente para os retificadores do grupo D são apresentados na Tabela 3.10e na Fig. 3.11, mostrando o comportamento da distribuição de corrente em cada um dos retificadores. A Fig. 3.12 mostra o valor médio do desvio de corrente (última coluna da Tabela 3.8) registrado nos retificadores do Grupo D.

Tabela 3.10: Distribuição de corrente nos retificadores do Grupo D.

	Retificador Caso 18	Retificador Caso 19	Retificador Caso 20	Média Total
<b>Superior</b>	3,17	0,22	-3,48	-0,03%
	1,95	3,52		2,73%
<b>Central</b>	-5,12	-3,74	-6,61	-5,15%
	7,11	5,15	14,08	8,78%
<b>Inferior</b>	-3,88	3,03		-0,42%
	-3,93	-8,85	-3,99	-5,59%

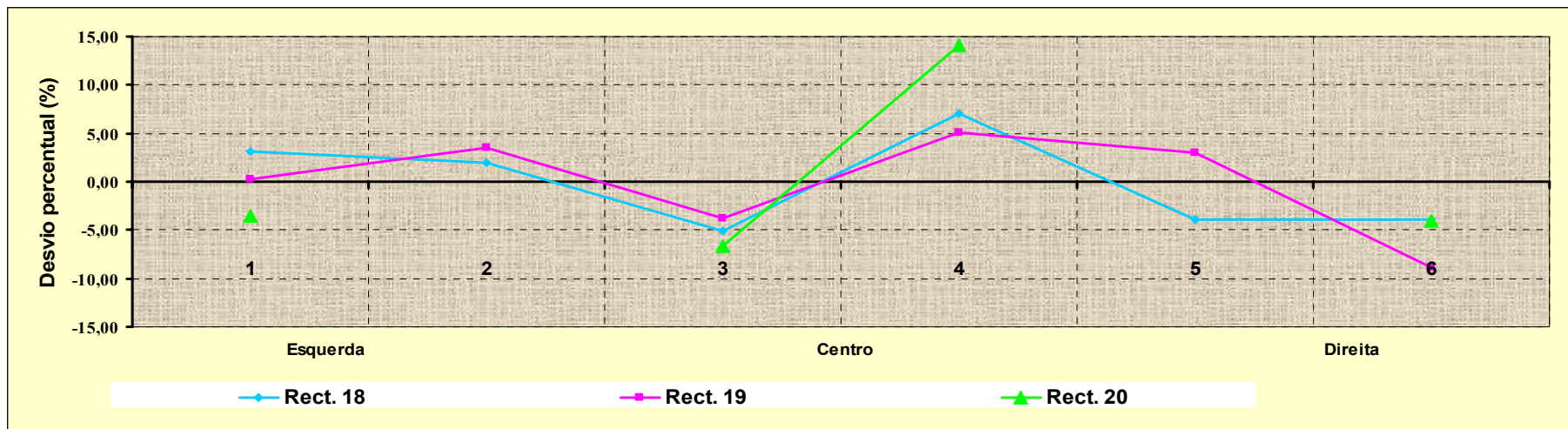


Figura 3.10: Distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo D.

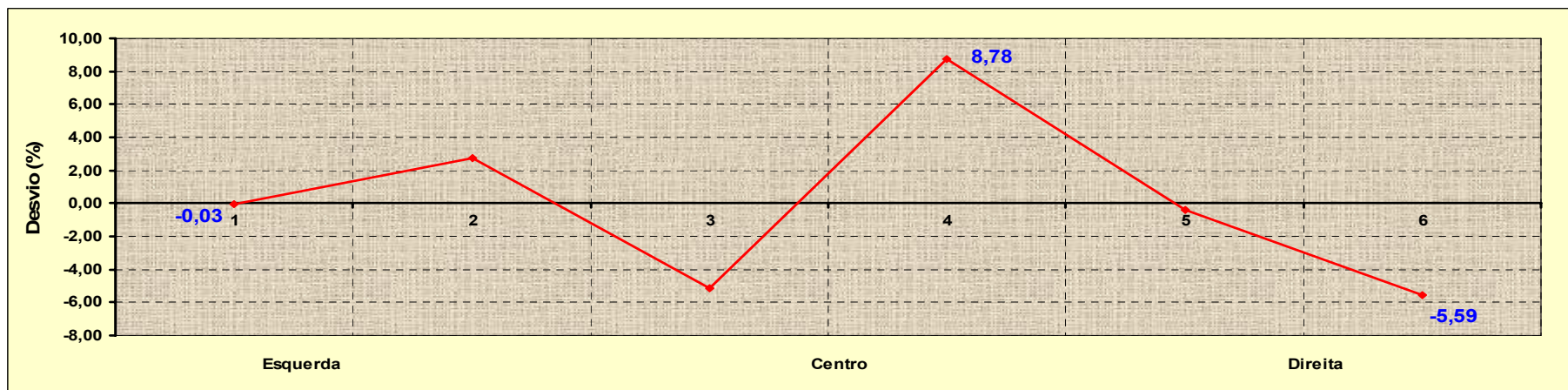


Figura 3.11: Curva média da distribuição de corrente nos retificadores estudados do Grupo D.

## 4 Discussão dos Resultados

Neste capítulo discutem-se os efeitos do acoplamento magnético sobre o comportamento da distribuição de corrente em semicondutores ligados em paralelo, os resultados obtidos nos teste de um protótipo e os resultados dos casos estudados.

Em retificadores de alta potência a distribuição de corrente em semicondutores ligados em paralelo é influenciada pelo acoplamento magnético entre os barramentos da associação. Para visualizar este efeito, considere a associação em paralelo de seis diodos ligados através de barramentos ideais, um conectado ao secundário de um transformador e o outro ao terminal positivo do lado CC, como mostra a Fig. 4.1.

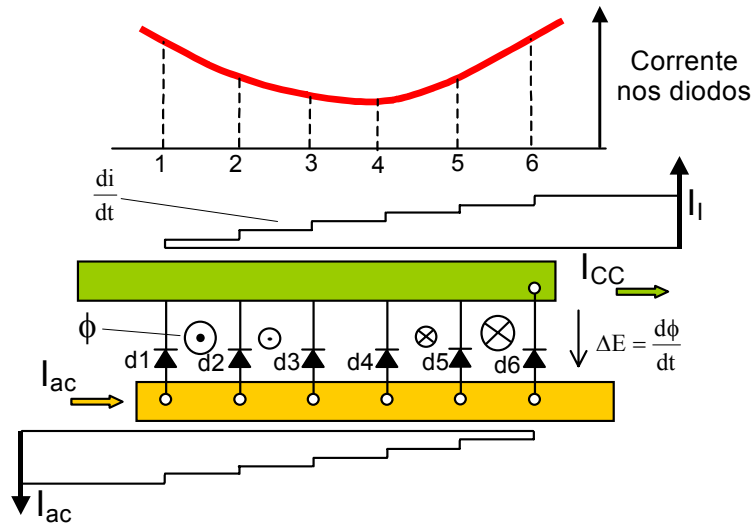


Figura 4.1: Diagrama ilustrativo do acoplamento magnético entre ramos em paralelo.

A Fig. 4.1 mostra passo a passo a transferência de corrente entre os dois barramentos. Enquanto a corrente no barramento CA decresce por degraus à medida que cada diodo entra em condução, a corrente no barramento CC cresce na mesma proporção. Como consequência, forma-se um campo magnético na janela formada pelos diodos d1 e d2 que apresenta dois componentes: um gerado pela corrente mais elevada no barramento CA e o outro, na direção oposta, pela corrente mais baixa do barramento CC. O campo resultante emerge do plano e é indicado por um ponto. Nas janelas subsequentes o fluxo concatenado se torna cada vez menor, até que, no centro do barramento, ambos os componentes se cancelam. A partir deste ponto o fluxo imposto pela corrente crescente do barramento CC predomina e o fluxo concatenado se torna novamente máximo na janela formada pelos diodos d5 e d6. O campo resultante penetra no plano, sendo indicado por um X. Estes fluxos induzem tensões de diferentes



amplitudes nas malhas formadas por dois diodos adjacentes, gerando variações de corrente sobrepostas ao valor médio da corrente de cada semiconductor. Como consequência a distribuição de corrente entre os diodos deixa de ser uniforme.

#### 4.1 Ensaio Experimental

O efeito devido ao acoplamento magnético foi comprovado experimentalmente. Para esta finalidade foi montado um protótipo de ensaio constituído de cinco ramos ligados em paralelo. Cada ramo é formado por um diodo Eupec modelo D121K tipo rosca ( $I_{FRMS} = 360 \text{ A}$ ,  $V_F = 2,14$ ) ligado em série com um fusível Ferraz Shawmut tipo 6,6URD33TTF1100 (1100 A / 660 VCA), como mostra a Fig. 4.2. O uso do fusível, além de deixar o circuito similar aos encontrados na prática, acrescenta uma pequena resistência ao circuito, melhorando as condições de testes.

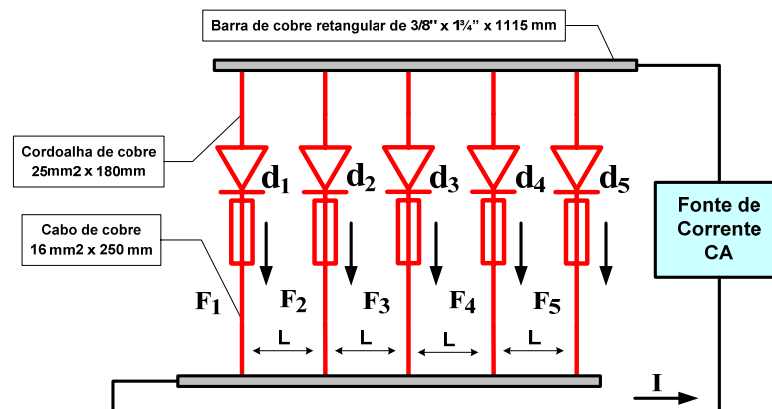
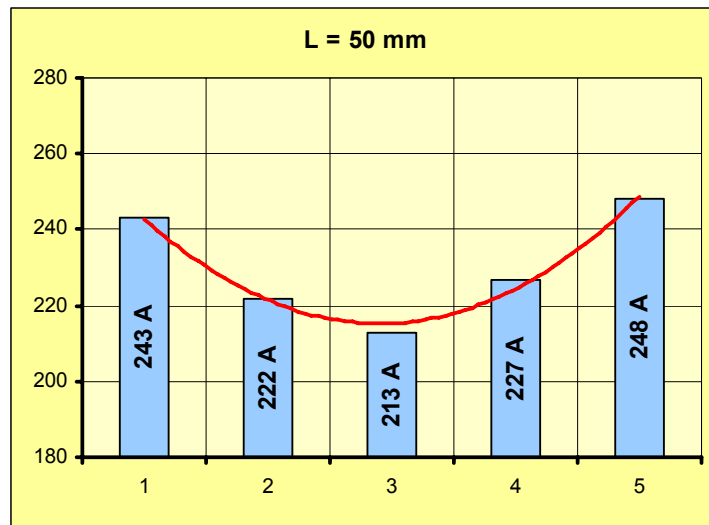


Figura 4.2: Circuito do modelo de teste.

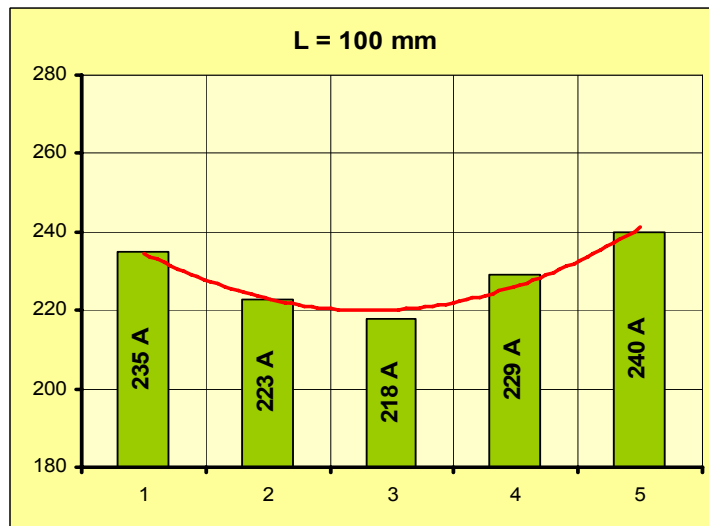
A resistência ôhmica dos fusíveis e a queda de tensão direta sobre os diodos encontram-se na Tabela 4.1. Com o circuito montado foram realizados testes utilizando uma fonte de corrente CA de 3000 A. O valor de corrente CA aplicado foi limitado pelas características de impedância do próprio circuito. As medições foram realizadas em três valores de distância  $L$  entre ramos:  $L = 50 \text{ mm}$ ,  $L = 100 \text{ mm}$  e  $L = 150 \text{ mm}$ . A figura 4.3 apresenta os valores das medições de corrente.

Tabela 4.1: Resultado do teste experimental.

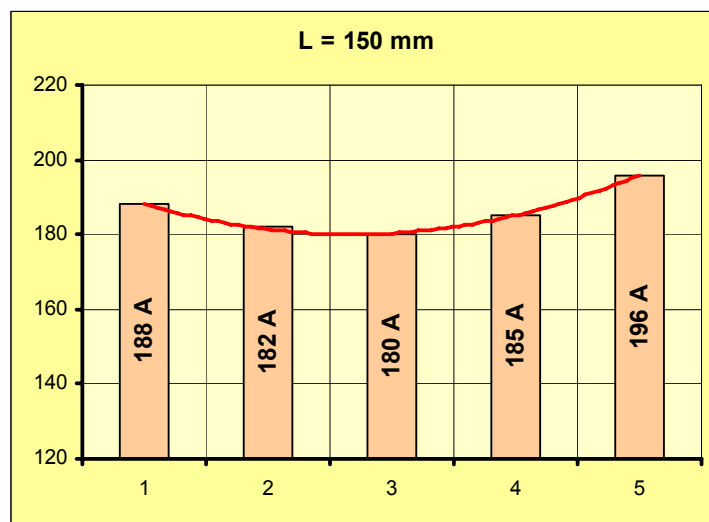
Diodo	Valores medidos		L = 50 mm	L = 100 mm	L = 150 mm
	R fus (mΩ)	$V_F$ c/ 230A	I (A)	I (A)	I (A)
D1	0,0716	1,17 V	243	235	188
D2	0,0716	1,16 V	222	223	182
D3	0,0717	1,19 V	213	218	180
D4	0,0716	1,15 V	227	229	185
D5	0,0716	1,17 V	248	240	196
<b>Corrente total</b>			<b>1153</b>	<b>1145</b>	<b>931</b>



a) Resultado com L = 50 mm



b) Resultado com L = 100 mm



a) Resultado com L = 150 mm

Figura 4.3: Gráfico da distribuição de corrente no modelo de teste.

As medições apresentadas na Fig. 4.3 confirmam a teoria: i) as correntes nos ramos das extremidades são maiores e ii) à medida que se aumenta a distância  $L$ , diminui o valor de corrente nas extremidades e as correntes tendem a ficar equilibradas.

#### 4.2 Análise das Medições

Analisando o gráfico da Fig. 4.4 verifica-se que a distribuição de corrente nos retificadores do grupo A, com barramento vertical e número elevado de semicondutores em paralelo, apresentam uma distribuição de corrente praticamente uniforme, sendo o desvio máximo inferior a 5%. Nota-se que a corrente nos semicondutores localizados nas extremidades do barramento é ligeiramente menor.

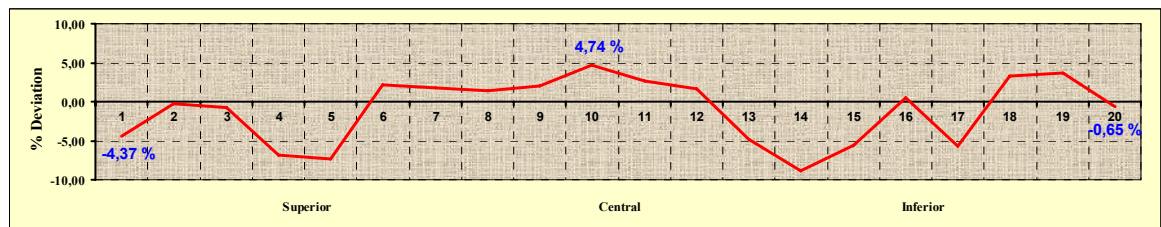


Figura 4.4: Distribuição de corrente nos retificadores estudados com barramento vertical e número elevado de elementos em paralelo – GRUPO A.

O gráfico da Fig. 4.5 apresenta a distribuição de corrente nos retificadores do grupo B, também com barramento vertical, porém com menor número de semicondutores em paralelo. Verifica-se que o desvio máximo de corrente chega a 10 % que é ligeiramente maior que nos retificadores do Grupo A e a distribuição de corrente é pouco uniforme.

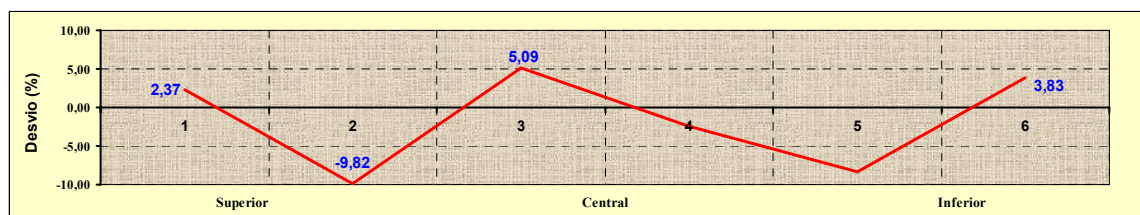


Figura 4.5: Distribuição de corrente nos retificadores estudados com barramento vertical e número reduzido de elementos em paralelo – GRUPO B.

O gráfico da Fig. 4.6 apresenta a distribuição de corrente nos retificadores do grupo C, com barramento horizontal e número reduzido de semicondutores em paralelo. Neste tipo de barramento verifica-se que a corrente se concentra nos pontos de junção das fases e o desvio nos semicondutores localizados nas extremidades é ligeiramente menor. Note que o desvio máximo atinge 25 %, ultrapassando os limites aceitáveis.

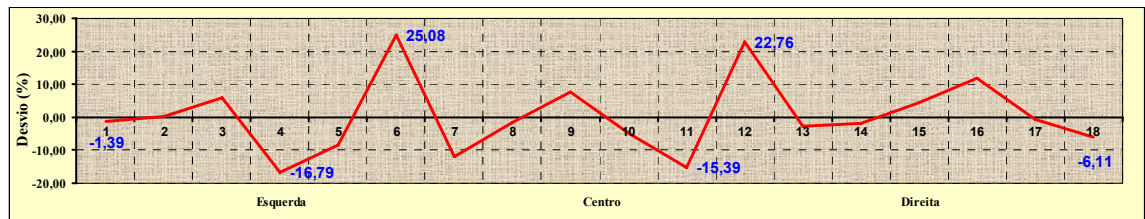


Figura 4.6: Distribuição de corrente nos retificadores estudados com barramento horizontal e número reduzido de elementos em paralelo – GRUPO C.

A distribuição de corrente nos retificadores do grupo D, com barramento graticulado e número reduzido de semicondutores em paralelo é apresentada na Fig. 4.7. Seu comportamento é similar ao do Grupo B, ou seja, desvio máximo de corrente próximo de 10 % e distribuição de corrente pouco uniforme.

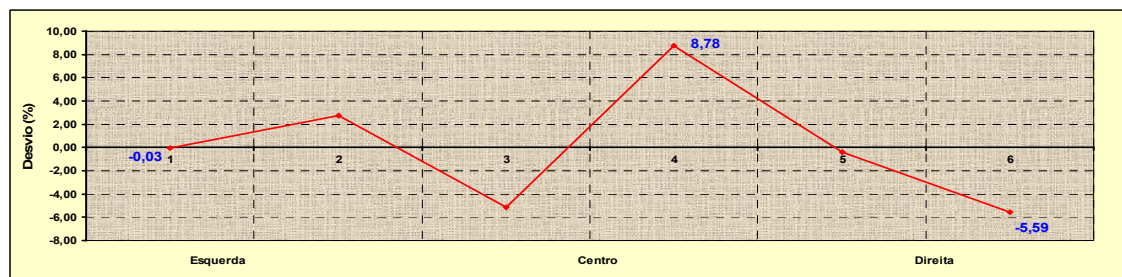


Figura 4.7: Distribuição de corrente nos retificadores estudados com barramento graticulado e número reduzido de elementos em paralelo – GRUPO D.

A Fig. 4.8 reúne os gráficos de distribuição de corrente dos quatro casos. Observa-se que a distribuição de corrente nos retificadores dos Grupos A,B e D é uniforme, ou seja, apresenta baixos desvios. No barramento horizontal a corrente se concentra nos pontos de junção das fases e o desvio nos semicondutores localizados nas extremidades é ligeiramente menor e o desvio máximo atinge 25 %, ultrapassando os limites aceitáveis.

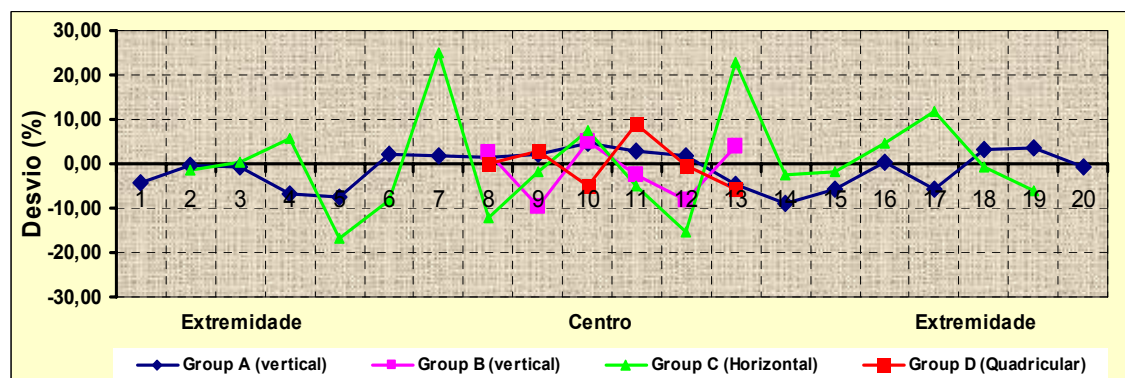


Figura 4.8: Distribuição de corrente nos quatro Grupos.

Nos casos reais estudados observou-se que a corrente nos semicondutores localizados nas extremidades do barramento tende a ser menor do que na parte central do mesmo, contrariando a análise teórica e as medições efetuadas no protótipo da Fig.4.2.

A justificativa para esta discrepância se deve ao fato dos projetistas de retificadores utilizarem artifícios para equilibrar a distribuição de corrente, evitando a sua concentração nos elementos localizados nas extremidades do barramento.

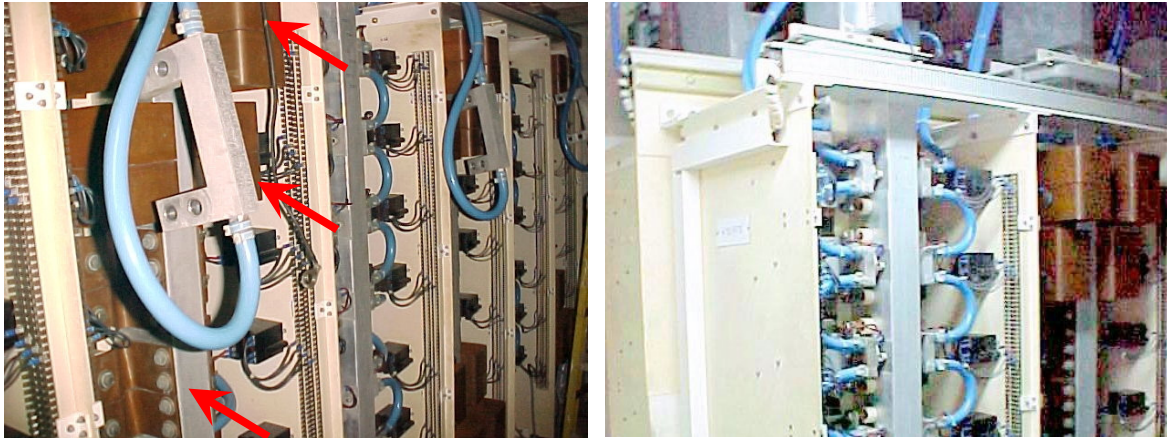
Estes artifícios envolvem em geral um aumento na reatância nos pontos de conexão dos elementos localizados nas extremidades do barramento, utilizando-se um arranjo físico de barras diferenciado ou bobinas de reatância.

As bobinas de reatância são enrolamentos toroidais de ferro silício com entreferro, como mostra a Fig. 4.9.



Figura 4.9: Foto de bobina de reatância.

A Fig. 4.10 mostra um retificador com barramento vertical, na qual se obtém um aumento de impedância nas extremidades do barramento através de um aumento gradativo no comprimento das conexões de cobre. A Fig. 4.10a apresenta uma vista em detalhe da extremidade do barramento.



a) Detalhe das conexões

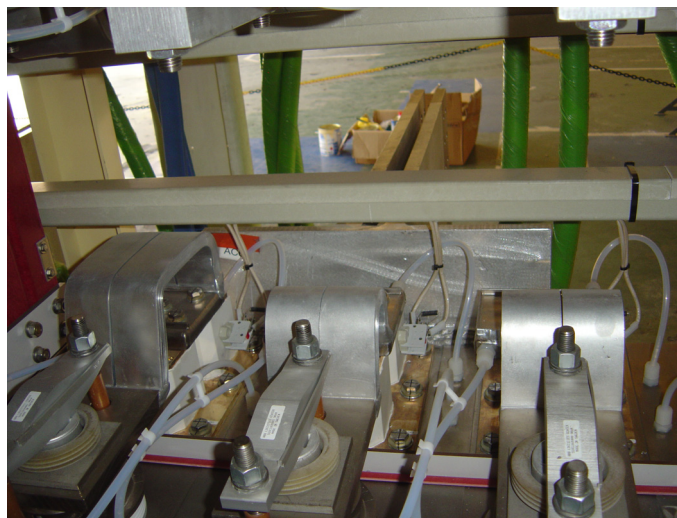
b) Visão global

Figura 4.10: Foto da extremidade de um barramento vertical.



a) Detalhe da montagem

b) Caminho de circulação da corrente



c) Detalhe das conexões

Figura 4.11: Detalhes de conexões de semicondutores utilizando barramentos flexíveis.

Os retificadores modernos utilizam técnicas diferenciadas de compensação para uniformizar a distribuição de corrente entre os semicondutores. Embora estes retificadores utilizem um número reduzido de elementos em paralelo, a capacidade de corrente de cada elemento é elevada, exigindo técnicas de compensação de reatância. As conexões dos semicondutores são executadas através de barramentos flexíveis como mostra a Fig. 4.11. Os elementos adjacentes são montados desalinhados (vide Fig. 4.11a) para minimizar o acoplamento magnético. A corrente na conexão circula de forma a cancelar os campos magnéticos gerados, minimizando sua indutância própria (vide Fig. 4.11b). Além disso, existe um aumento gradativo no comprimento das conexões nas extremidades do barramento como mostra a Fig. 4.11c.

## 5 Considerações Finais

Este trabalho concentrou sua análise em casos reais para conhecer e avaliar o comportamento da distribuição de corrente entre semicondutores paralelos de retificadores de alta corrente em operação comercial nas plantas eletro-intensivas brasileiras. Pela quantidade de casos analisados e pelas características dos retificadores selecionados pode-se dizer que os resultados são representativos da base instalada de retificadores no Brasil.

Adicionalmente avaliou-se o comportamento da distribuição de corrente em um modelo protótipo cujos resultados foram de encontro às teorias vigentes e artigos publicados, as quais demonstram que num conjunto de semicondutores em paralelo a distribuição de corrente não é uniforme e que os elementos posicionados nas extremidades estão sujeitos a uma corrente mais elevada do que os elementos posicionados na parte central da associação. (CLAVEL, 1996); (FUENTES, 2002); (FUENTES, 2004); (JEANNIN, 2002); (HOER, 1965); (LUDBROOK, 1963); (LYE, 1976); (PACE, 1975)

Tais desbalanços são indesejáveis numa associação em paralelo, pois limita a corrente máxima que pode ser utilizada no circuito ou leva à sobrecarga de corrente em alguns elementos da associação. A análise dos casos reais demonstrou que tais efeitos são minimizados por artifícios que ajustam as reatâncias da associação, uniformizando a distribuição de corrente, em maior ou menor grau conforme o tipo construtivo de barramento.

Este trabalho possui um diferencial na forma de coleta dos dados, pois os valores de correntes foram obtidos por medições simultâneas em todos os elementos e em todas as fases e de forma independentes entre si, resultando em dados reais de corrente RMS de todos os semicondutores do retificador.

Deste estudo foram obtidas as seguintes conclusões:

- a) Numa associação de semicondutores em paralelo há um desbalanço na distribuição de corrente devido aos efeitos dos acoplamentos magnéticos do circuito, resultando numa distribuição de corrente onde os elementos das extremidades estão sujeitos a uma corrente mais elevada do que os elementos centrais da associação.
- b) Na prática, os projetos de retificadores de alta corrente contemplam soluções para uniformizar distribuição de corrente nas associações paralela.



- c) Nas associações paralelas onde o barramento CC é formado por elementos de uma única fase (lado CA), como no caso dos barramentos verticais, a distribuição de corrente é notadamente mais uniforme do que nas associações onde o barramento CC é composto por elementos de mais de uma fase.
- d) Encontrou-se nas associações paralelas dos casos estudados um desbalanço na distribuição de corrente inferior a 20%, tornando válido o estabelecimento do limite de 20% como o valor máximo aceitável de desbalanço de corrente na associação paralela de semicondutores em retificadores de alta corrente.
- e) As soluções adotadas para compensar os efeitos magnéticos de uma associação paralela e uniformizar a distribuição de corrente resumem-se em basicamente três alternativas: a) aumentar a impedância dos elementos posicionados nas extremidades, através do aumento do comprimento dos seus barramentos; b) utilizar barramentos com design em que os fluxos se oponham pela oposição do sentido de corrente no ramo; c) utilizar barramentos com um design onde os fluxos dos elementos adjacentes estejam deslocados entre si.

Como continuidade para este trabalho sugere-se a técnica de modelagem matemática dos barramentos e simulação computacional, por ex. utilizando elementos finitos para mapeamento de campo e otimização da estrutura do barramento, dentro dos limites exequíveis, para obtenção de uma distribuição uniforme das correntes em associações de semicondutores.

## 6 Referências

- ABB SEMICONDUCTORS AG, “**Phase Control Thyristor 5STP 45S2800,**” **Datasheet 5SYA1050-01 rev. A**, [www.abb.com/semiconductors](http://www.abb.com/semiconductors) visited Jul/2007.
- CLAVEL E., ROUDET J., SCHANEN J. L., FOUTANET A., “Influence of the Cabling Geometry on Paralleled Diodes in a High Power Rectifier”, **IEEE Industry Applications Annual Meeting**, v. 2, pp. 993-998, 1996.
- DYNAMP, LCC, “**Rectifier Monitoring System, Model RCEM, Portable LEM-Flex version**”, **Manual No 043526**, [www.dynamp.com](http://www.dynamp.com) visited July 2007.
- FUENTES R., “About Current Distribution in Paralleled Thyristors of Very High Current Controlled Rectifiers: Analysis of a Real Case”, **IEEE Industry Applications Annual Meeting**, v. 4, pp. 2542 – 2547, 2002.
- FUENTES R., “Current Distribution in Paralleled Thyristors - A Comparative Analysis of five Real Cases in High Current Transformer Rectifiers”, **IEEE Industry Applications Annual Meeting**, v. 1, pp. 469 – 476, 2004.
- IEEE STD C57.18.10-1998, **IEEE Standard, Practices and Requirements for Semiconductor Power Rectifier Transformers**, IEEE, 1998
- JEANNIN P. O., SCHANEN J. L., CLAVEL E., “Original Cabling Conditions to Insure Balanced Current during Switching Transitions between Paralleled Semiconductors”, **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 38, n. 1, pp. 181-188, Jan/Feb. 2002.
- HOER C., LOVE C., “Exact Inductance Equations for Rectangular Conductors with Applications to More Complicated Geometries”, **Journal of Research of National Bureau of Standards – C. Engineering and Instrumentation**, v. 69C, No 2, April/June 1965.
- LUDBROOK A.; “Operation of Unmatched Rectifier Diodes in Parallel without Artificial Balancing Means”, **IEEE Summer General Meeting**, Paper 1169, June1963.
- LYE R.W., “**Power Converter Handbook – Theory, Design and Application**”, Canadian General Electric, Edition, pp 69 – 70, 1976.
- PACE D. A., “Multiple Paralleling of Power Diodes”, **IEEE Transactions on Industry Electronics and Control Instrumentation**, v. 1, pp 151 – 158, May. 1975.
- PINTO M. F., “**Retificadores de Alta Potência para Eletrolises**”, Mídia Alternativa Comunicação e Editora Ltda, ISBN 85-98567-04-3, pág. 46 a 71, 2005.
- ROGOWSKI W., STEINHAUS W. “Die Messung der magnetischen Spannung,” **Archiv für Elektrotechnik**, n. 1, Pt.4, pp.141-150. 1912.

## **7 Anexos**

- Tabela 7.1: Caso 01 – Grupo A – Barramento vertical
- Tabela 7.2: Caso 02 – Grupo A – Barramento vertical
- Tabela 7.3: Caso 03 – Grupo A – Barramento vertical
- Tabela 7.4: Caso 04 – Grupo A – Barramento vertical
- Tabela 7.5: Caso 05 – Grupo A – Barramento vertical
- Tabela 7.6: Caso 06 – Grupo A – Barramento vertical
- Tabela 7.7: Caso 07 – Grupo A – Barramento vertical
- Tabela 7.8: Caso 08 – Grupo B – Barramento vertical
- Tabela 7.9: Caso 09 – Grupo B – Barramento vertical
- Tabela 7.10: Caso 10 – Grupo B – Barramento vertical
- Tabela 7.11: Caso 11 – Grupo B – Barramento vertical
- Tabela 7.12: Caso 12 – Grupo B – Barramento vertical
- Tabela 7.13: Caso 13 – Grupo C – Barramento horizontal
- Tabela 7.14: Caso 14 – Grupo C – Barramento horizontal
- Tabela 7.15: Caso 15 – Grupo C – Barramento horizontal
- Tabela 7.16: Caso 16 – Grupo C – Barramento horizontal
- Tabela 7.17: Caso 17 – Grupo C – Barramento horizontal
- Tabela 7.18: Caso 18 – Grupo D – Barramento quadricular
- Tabela 7.19: Caso 19 – Grupo D – Barramento quadricular
- Tabela 7.20: Caso 20 – Grupo D – Barramento quadricular

Tabela 7.1: Caso 01 – Grupo A – Barramento vertical.

Unit Number:		Caso 1		Date: 07/25/06		HI: 20		% Above Avg				
Rectifier Current:		46368		Time: 2:08:18 PM		LO: -20		% Below Avg				
	Leg 1		Leg 2		Leg 3		Leg 4		Leg 5		Leg 6	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	1160,3	-12,56	1359,8	1,38	1407,2	4,89	1374,2	3,55	1327,8	-2,53	1217,5	-8,61
2	1336,7	0,74	1484,6	10,69	1406,5	4,84	1120,1	-15,59	1412,2	3,67	1233,8	-7,39
3	1290,2	-2,77	1293,5	-3,56	1145,3	-14,63	1375,8	3,67	1206,4	-11,44	1411,6	5,96
4	1123,4	-15,34	1341,0	-0,02	1505,0	12,18	1164,6	-12,24	1281,0	-5,97	1332,4	0,01
5	1380,7	4,05	1299,8	-3,09	1114,7	-16,92	1181,4	-10,97	1347,3	-1,10	1192,4	-10,50
6	1436,2	8,23	1514,3	12,91	1153,2	-14,04	1493,9	12,57	1197,8	-12,07	1136,7	-14,68
7	1408,6	6,16	1381,6	3,01	1327,6	-1,04	1447,8	9,10	1412,1	3,66	1243,8	-6,64
8	1357,9	2,33	1417,5	5,69	1162,3	-13,36	1534,0	15,60	1308,4	-3,95	1372,9	3,06
9	1327,6	0,05	1288,8	-3,91	1509,9	12,55	1317,5	-0,72	1332,3	-2,19	1475,4	10,75
10	1283,4	-3,28	1267,9	-5,47	1217,0	-9,28	1691,7	27,48	1384,7	1,65	1582,6	18,80
11	1239,8	-6,57	1462,5	9,04	1441,2	7,42	1280,0	-3,54	1502,1	10,27	1527,1	14,63
12	1368,4	3,12	1239,3	-7,60	1321,3	-1,51	1199,8	-9,59	1371,9	0,71	1465,0	9,97
13	1257,1	-5,26	1138,8	-15,09	1293,8	-3,56	1172,4	-11,65	1314,2	-3,53	1340,0	0,59
14	1269,1	-4,36	1128,1	-15,89	1439,7	7,31	1264,6	-4,70	1351,3	-0,80	1319,3	-0,97
15	1237,1	-6,77	1330,6	-0,79	1229,2	-8,38	1259,5	-5,09	1237,1	-9,19	1067,6	-19,86
16	1359,2	2,43	1506,0	12,28	1221,0	-8,99	1542,5	16,24	1354,5	-0,57	1173,0	-11,95
17	1183,9	-10,78	1201,7	-10,40	1381,0	2,94	1199,2	-9,63	1387,5	1,86	1459,6	9,56
18	1402,8	5,71	1225,3	-8,64	1492,0	11,21	1157,0	-12,81	1479,5	8,60	1392,0	4,49
19	1474,5	11,12	1503,2	12,08	1550,8	15,60	1329,4	0,18	1478,2	8,51	1361,8	2,22
20	1642,0	23,75	1439,9	7,36	1513,3	12,80	1435,0	8,14	1558,5	14,41	1339,9	0,58
Total	26538,9		26823,9		26832,0		26540,2		27244,7		26644,1	
Average	1326,9		1341,2		1341,6		1327,0		1362,2		1332,2	
Waveform Factor:		1,732		ANSI Rectifier Circuit:		26						

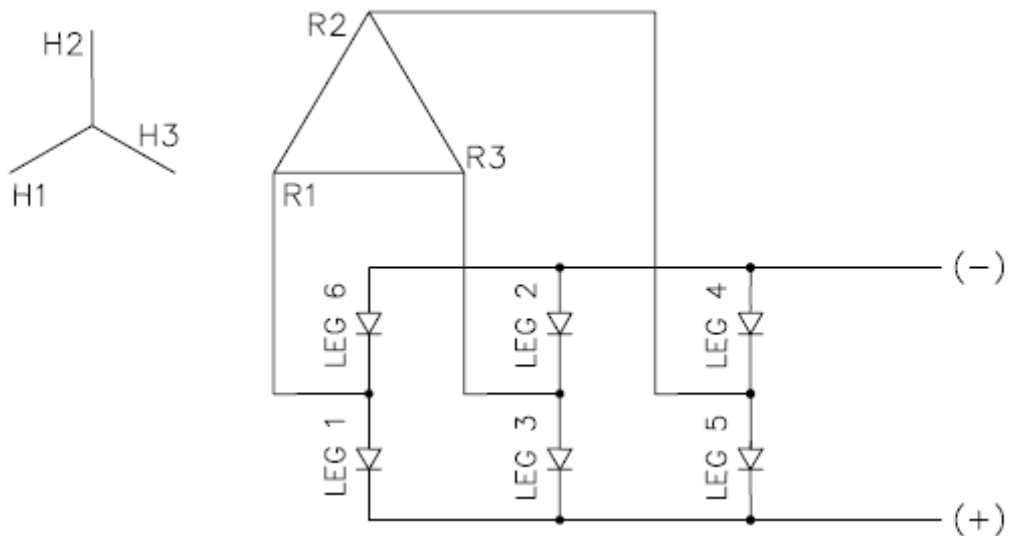


Tabela 7.2: Caso 02 – Grupo A – Barramento vertical.

Unit Number:		Caso 2		Date: 07/25/06		HI: 20		% Above Avg					
Rectifier Current:		45702		Time: 8:09:41 PM		LO: -20		% Below Avg					
	Leg 1		Leg 2		Leg 3		Leg 4		Leg 5		Leg 6		
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	1326,8	0,02	1364,2	3,00	1531,8	15,89	1542,5	18,18	1493,3	12,86	1334,8	1,52	
2	1213,7	-8,51	1036,9	-21,71	1305,9	-1,20	1406,9	7,80	1336,1	0,98	1182,1	-10,10	
3	1357,1	2,30	1433,6	8,24	1334,1	0,94	1361,1	4,29	1344,4	1,61	1220,8	-7,15	
4	1216,5	-8,29	1156,3	-12,69	777,6	-41,17	1295,1	-0,77	1361,3	2,89	1314,8	0,00	
5	1118,0	-15,72	1317,3	-0,54	1311,3	-0,79	1053,0	-19,32	1245,8	-5,84	1212,9	-7,75	
6	1325,1	-0,11	1512,4	14,19	1278,8	-3,25	1393,8	6,79	1576,1	19,12	1273,1	-3,17	
7	1320,8	-0,43	1548,8	16,94	1248,2	-5,57	1074,6	-17,67	1342,2	1,44	1477,1	12,34	
8	1474,2	11,13	1460,4	10,26	1336,2	1,10	1380,3	5,76	1384,9	4,67	1415,9	7,69	
9	1429,4	7,75	1384,6	4,54	1392,4	5,34	1416,1	8,49	1333,9	0,82	1427,1	8,54	
10	1597,2	20,40	1472,7	11,19	1422,6	7,63	1466,6	12,37	1469,5	11,07	1376,4	4,69	
11	1180,5	-11,01	1345,4	1,58	1350,2	2,15	1384,8	6,10	1134,1	-14,29	1452,1	10,45	
12	1231,0	-7,20	1392,5	5,14	1212,7	-8,25	1259,4	-3,51	1424,4	7,66	1365,8	3,88	
13	1238,7	-6,62	999,1	-24,57	1418,2	7,30	1100,2	-15,71	1145,6	-13,41	1174,9	-10,64	
14	1165,5	-12,14	1162,8	-12,20	1112,5	-15,83	981,7	-24,79	1149,3	-13,14	1205,9	-8,29	
15	1223,9	-7,74	1158,6	-12,52	1395,4	5,57	1291,4	-1,05	1385,5	4,71	1231,9	-6,30	
16	1440,6	8,60	1383,6	4,47	1350,1	2,15	1345,6	3,10	1064,9	-19,51	1290,8	-1,83	
17	1409,7	6,27	1458,5	10,12	1431,1	8,27	1452,4	11,28	1366,6	3,29	675,5	-48,62	
18	1427,9	7,64	1431,8	8,11	1427,1	7,97	1270,3	-2,67	1210,2	-8,53	1518,9	15,52	
19	1435,1	8,18	1093,4	-17,45	1309,8	-0,91	1355,0	3,82	1282,9	-3,04	1482,4	12,74	
20	1399,2	5,48	1375,9	3,89	1489,2	12,67	1272,8	-2,48	1411,3	6,67	1662,8	26,47	
Total	26531,2		26488,8		26435,1		26103,8		26462,5		26295,9		
Average	1326,6		1324,4		1321,8		1305,2		1323,1		1314,8		
Waveform Factor:		1,732		ANSI Rectifier Circuit:		26							

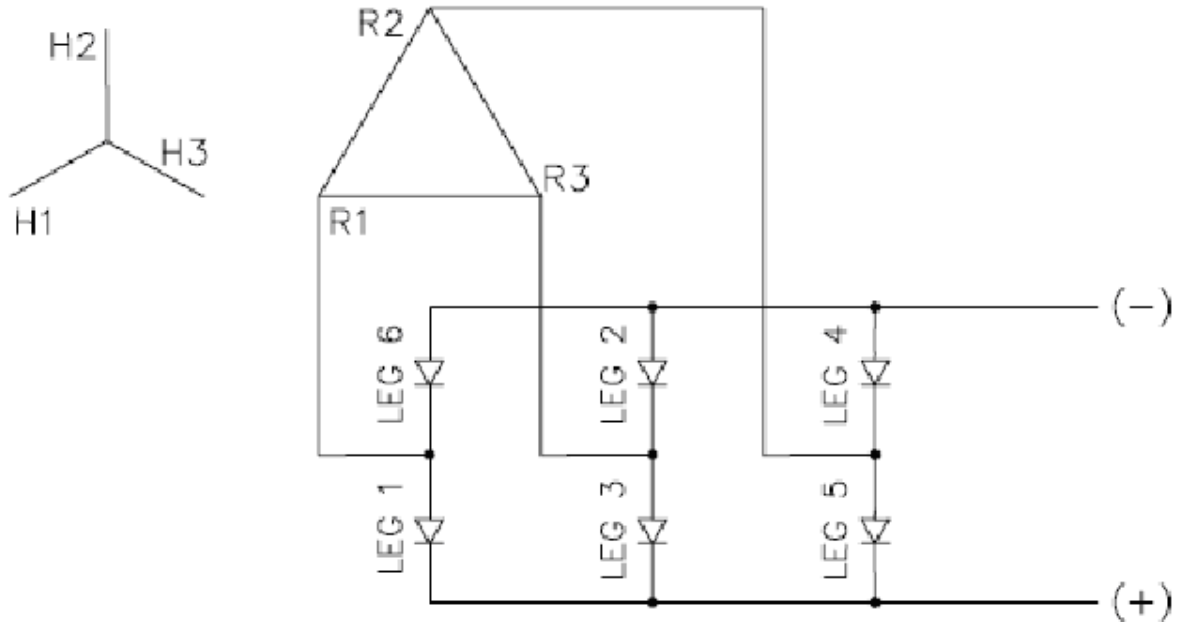


Tabela 7.3: Caso 03 – Grupo A – Barramento vertical.

Unit Number:		Caso 3		Date:		03/30/05		HI:		20		% Above Avg	
Rectifier Current:		39071		Time:		8:04:47 PM		LO:		-20		% Below Avg	
	Leg 1		Leg 2		Leg 3		Leg 4		Leg 5		Leg 6		
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	686,2	-18,35	809,2	0,42	892,6	17,79	775,0	-7,43	674,0	-15,81	1142,8	44,30	
2	695,8	-17,21	829,2	2,90	708,4	-6,53	1028,2	22,82	1123,3	40,32	1137,2	43,60	
3	648,8	-22,80	776,7	-3,62	620,6	-18,11	629,0	-24,87	1229,1	53,53	989,4	24,94	
4	757,8	-9,83	511,8	-36,48	761,3	0,45	949,1	13,36	903,0	12,80	693,8	-12,38	
5	937,7	11,57	561,1	-30,37	955,6	26,10	903,1	7,88	824,0	2,93	817,4	3,22	
6	1108,3	31,87	696,1	-13,62	747,1	-1,42	51,4	-93,86	904,9	13,04	1157,3	46,14	
7	958,9	14,09	804,3	-0,19	985,1	29,99	740,1	-11,60	86,9	-89,15	1354,5	71,04	
8	946,1	12,57	1060,4	31,60	750,4	-0,99	1037,7	23,95	623,4	-22,12	998,5	26,09	
9	967,7	15,14	899,1	11,57	825,3	8,91	899,7	7,46	961,6	20,12	933,3	17,85	
10	1046,1	24,47	679,3	-15,71	916,0	20,87	718,5	-14,18	492,8	-38,44	1028,2	29,84	
11	34,7	-95,88	897,4	11,36	289,4	-61,81	1127,6	34,68	717,9	-10,32	810,9	2,40	
12	1071,2	27,45	881,6	9,40	935,2	23,41	906,6	8,29	744,0	-7,06	7,1	-99,11	
13	865,1	2,93	858,2	6,49	599,1	-20,95	977,8	16,79	1120,1	39,92	1,8	-99,78	
14	1041,9	23,97	1017,1	26,22	623,6	-17,71	977,2	16,72	802,4	0,23	14,5	-98,17	
Total	11766,4		11281,5		10609,7		11720,9		11207,3		11086,7		
Average	840,5		805,8		757,8		837,2		800,5		791,9		

Unit Number:		Caso 3		Date:		03/30/05		HI:		20		% Above Avg	
Rectifier Current:		39071		Time:		9:23:33 PM		LO:		-20		% Below Avg	
	Leg 1		Leg 2		Leg 3		Leg 4		Leg 5		Leg 6		
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	902,8	7,65	925,8	17,48	924,2	9,76	890,7	7,59	959,9	19,95	766,4	2,96	
2	991,8	18,27	722,1	-8,38	743,2	-11,74	1043,2	26,01	676,3	-15,49	458,6	-38,39	
3	40,3	-95,20	512,1	-35,02	748,2	-11,14	942,4	13,83	710,7	-11,19	650,3	-12,64	
4	1180,6	40,78	826,0	4,82	710,2	-15,65	608,6	-26,49	981,1	22,60	911,5	22,45	
5	14,5	-98,27	832,1	5,58	654,4	-22,28	1099,5	32,81	777,5	-2,84	665,0	-10,66	
6	597,3	-28,78	971,5	23,27	971,7	15,41	1046,0	26,34	467,6	-41,57	973,3	30,75	
7	1056,7	26,00	826,9	4,93	754,8	-10,36	1353,7	63,50	649,1	-18,89	1122,6	50,81	
8	680,3	-18,88	831,4	5,49	968,6	15,04	901,4	8,88	579,2	-27,62	733,8	-1,42	
9	795,7	-5,12	827,0	4,94	704,6	-16,32	533,8	-35,52	962,7	20,30	657,4	-11,68	
10	1111,6	32,56	636,3	-19,26	1005,4	19,41	560,2	-32,33	864,7	8,06	848,7	14,01	
11	1084,0	29,26	533,3	-32,33	883,4	4,91	951,4	14,91	1015,7	26,93	925,1	24,28	
12	1186,1	41,43	688,7	-12,62	895,8	6,39	814,3	-1,65	954,9	19,33	688,6	-7,49	
13	1009,0	20,32	751,9	-4,59	661,6	-21,42	772,3	-6,71	827,5	3,41	2,8	-99,63	
14	1089,9	29,96	1148,2	45,69	1161,9	37,99	73,3	-91,15	776,3	-2,99	1017,3	36,66	
Total	11766,4		11281,5		10609,7		11720,9		11207,3		11086,7		
Average	838,6		788,1		842,0		827,9		800,2		744,4		

Waveform Factor: 3,464      ANSI Rectifier Circuit: 45

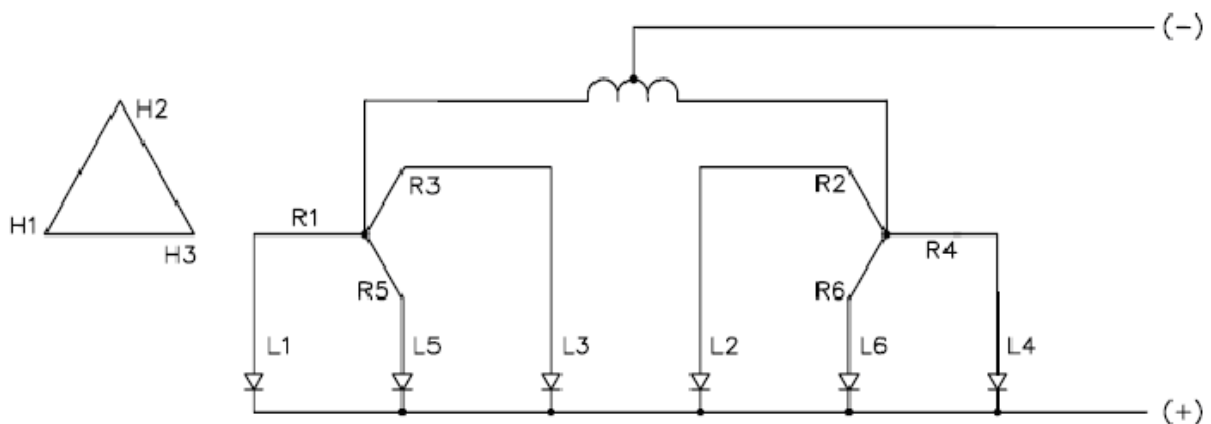


Tabela 7.4: Caso 04 – Grupo A – Barramento vertical.

Unit Number:		Caso 4 (Section A)		Date:		10/18/06		HI:		20		% Above Avg	
Rectifier Current:		8319		Time:		11:07:10 PM		LO:		-20		% Below Avg	
Diode	Leg 1A		Leg 2A		Leg 3A		Leg 4A		Leg 5A		Leg 6A		
	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	201,8	-31,24	237,9	-13,82	201,9	-19,72	192,9	-30,34	278,9	11,78	216,3	-19,03	
2	279,6	-4,73	301,3	9,15	289,6	15,13	268,8	-2,93	279,3	11,91	287,0	7,43	
3	316,6	7,86	326,5	18,28	330,3	31,32	311,0	12,32	258,0	3,38	262,3	-1,81	
4	259,5	-11,59	304,4	10,27	246,0	-2,20	305,8	10,43	219,7	-11,97	282,5	5,74	
5	299,1	1,91	290,9	5,39	258,0	2,60	334,0	20,65	260,8	4,52	251,0	-6,04	
6	345,8	17,80	325,3	17,85	179,0	-28,84	312,8	12,97	209,2	-16,18	265,7	-0,52	
7	251,6	-14,29	182,2	-33,99	289,5	15,12	197,6	-28,63	286,7	14,87	320,5	19,97	
8	384,9	31,12	311,4	12,83	255,2	1,46	331,2	19,62	188,1	-24,61	327,1	22,46	
9	302,8	3,16	204,4	-25,96	214,1	-14,86	237,9	-14,08	265,3	6,30	191,8	-28,20	
Total	2641,8		2484,2		2263,5		2491,9		2246,0		2404,1		
Average	293,5		276,0		251,5		276,9		249,6		267,1		
Diode	Leg 1B		Leg 2B		Leg 3B		Leg 4B		Leg 5B		Leg 6B		
	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	258,9	8,04	183,6	-30,97	204,9	-25,38	246,4	-9,66	198,9	-28,61	204,0	-20,24	
2	219,5	-8,41	270,0	1,50	251,8	-8,30	212,5	-22,09	346,0	24,19	313,0	22,36	
3	208,8	-12,86	288,6	8,50	203,8	-25,79	290,1	6,37	328,7	17,95	267,8	4,71	
4	238,6	-0,44	286,7	7,81	267,7	-2,52	324,0	18,81	308,7	10,80	267,7	4,67	
5	282,8	18,01	251,1	-5,60	303,7	10,61	302,7	11,00	341,6	22,58	240,9	-5,80	
6	196,9	-17,85	284,5	6,96	372,5	35,67	286,0	4,88	242,4	-13,00	247,3	-3,32	
7	227,7	-4,99	285,3	7,26	282,2	2,77	287,3	5,35	249,4	-10,50	264,3	3,33	
8	284,5	18,69	312,9	17,63	359,2	30,83	306,7	12,46	285,8	2,58	279,4	9,21	
9	239,2	-0,18	231,2	-13,09	225,5	-17,89	198,8	-27,12	206,2	-25,99	217,7	-14,91	
Total	2157,0		2393,8		2471,2		2454,6		2507,7		2302,2		
Average	239,7		266,0		274,6		272,7		278,6		255,8		
Unit Number:		Caso 4 (Section B)		Date:		10/19/06		HI:		20		% Above Avg	
Rectifier Current:		9700		Time:		12:01:34 AM		LO:		-20		% Below Avg	
Diode	Leg 1A		Leg 2A		Leg 3A		Leg 4A		Leg 5A		Leg 6A		
	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	276,4	-13,99	289,2	-0,51	222,4	-33,05	377,1	15,15	226,2	-30,24	357,4	19,99	
2	340,6	6,01	283,5	-2,48	326,4	-1,76	322,9	-1,40	318,3	-1,83	284,1	-4,62	
3	354,8	10,41	240,1	-17,39	348,5	4,89	375,5	14,68	335,4	3,46	328,9	10,40	
4	309,0	-3,83	299,8	3,14	322,7	-2,87	305,2	-6,80	357,5	10,28	275,2	-7,62	
5	283,4	-11,80	297,7	2,41	318,4	-4,15	330,0	0,77	313,5	-3,31	288,8	-3,05	
6	331,1	3,05	350,1	20,42	326,3	-1,78	382,6	16,83	329,9	1,74	268,8	-9,75	
7	331,2	3,06	269,9	-7,14	326,9	-1,62	273,4	-16,51	372,4	14,87	316,9	6,37	
8	356,6	10,99	276,5	-4,87	442,0	33,05	319,9	-2,32	350,7	8,17	313,9	5,38	
9	308,8	-3,90	309,4	6,43	356,5	7,31	260,6	-20,41	314,0	-3,15	247,0	-17,10	
Total	2891,9		2616,3		2990,2		2947,0		2917,8		2681,0		
Average	321,3		290,7		332,2		327,4		324,2		297,9		
Diode	Leg 1B		Leg 2B		Leg 3B		Leg 4B		Leg 5B		Leg 6B		
	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	232,4	-27,27	172,3	-45,18	229,4	-24,51	304,1	-0,25	231,2	-18,41	224,0	-28,62	
2	304,0	-4,85	385,5	22,65	367,2	20,82	331,9	8,87	317,0	11,85	298,9	-4,78	
3	355,1	11,15	300,5	-4,41	266,8	-12,21	217,8	-28,54	214,2	-24,42	279,7	-10,88	
4	351,4	9,99	340,7	8,39	266,6	-12,28	334,0	9,58	321,7	13,54	417,9	33,14	
5	326,8	2,30	300,6	-4,35	262,6	-13,61	471,1	54,53	281,2	-0,76	314,7	0,27	
6	332,9	4,21	328,6	4,55	361,0	18,78	304,6	-0,07	317,5	12,04	296,5	-5,54	
7	301,5	-5,65	322,9	2,75	377,0	24,03	181,9	-40,32	337,7	19,17	345,5	10,07	
8	366,1	14,59	313,9	-0,11	365,6	20,30	254,5	-16,52	293,3	3,52	278,9	-11,15	
9	305,2	-4,47	363,7	15,72	239,1	-21,32	343,6	12,72	236,5	-16,53	368,8	17,49	
Total	2875,4		2828,7		2735,3		2743,5		2550,3		2824,9		
Average	319,5		314,3		303,9		304,8		283,4		313,9		
Waveform Factor:		3,464		ANSI Rectifier Circuit:		32							

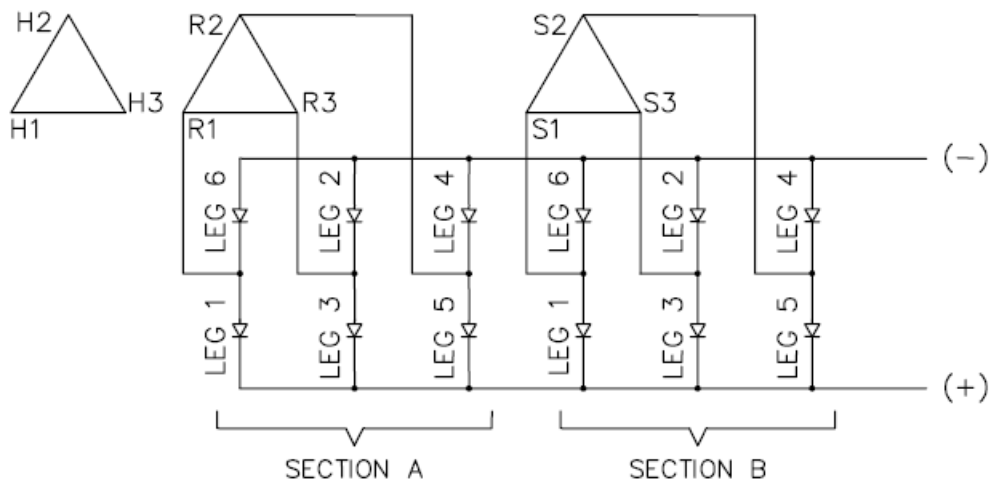


Tabela 7.5: Caso 05 – Grupo A – Barramento vertical.

Unit Number:		Caso 5 (Section A)		Date:		10/20/06		Hi:		20		% Above Avg	
Rectifier Current:		7686		Time:		7:14:12 PM		LO:		-20		% Below Avg	
Diode	Leg 1A		Leg 2A		Leg 3A		Leg 4A		Leg 5A		Leg 6A		
	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	240,7	0,52	219,8	-16,70	173,4	-28,39	243,0	-7,79	223,0	-0,62	207,5	-12,74	
2	237,8	-0,68	239,4	-9,25	228,2	-5,73	267,2	1,38	304,9	35,90	199,6	-16,07	
3	210,6	-12,07	291,0	10,28	289,5	19,58	217,8	-17,35	205,8	-8,26	279,2	17,41	
4	224,8	-6,10	295,6	12,02	302,4	24,92	208,4	-20,93	239,7	6,84	238,9	0,44	
5	315,7	31,83	245,4	-6,97	222,8	-7,97	321,3	21,89	277,3	23,59	237,7	-0,07	
6	262,0	9,40	228,9	-13,23	262,2	8,33	314,4	19,27	156,1	-30,42	240,0	0,93	
7	226,4	-5,47	298,4	13,10	289,3	19,52	271,7	3,09	196,4	-12,46	291,7	22,67	
8	243,3	1,59	325,6	23,39	265,9	9,86	332,6	26,20	184,0	-17,98	280,6	17,97	
9	193,9	-19,03	230,5	-12,65	144,9	-40,13	195,7	-25,75	232,0	3,41	165,2	-30,53	
Total	2155,1		2374,6		2178,7		2372,1		2019,1		2140,4		
Average	239,5		263,8		242,1		263,6		224,3		237,8		
Diode	Leg 1B		Leg 2B		Leg 3B		Leg 4B		Leg 5B		Leg 6B		
	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	208,9	-16,75	154,1	-35,22	166,5	-29,62	165,0	-33,57	203,8	-22,57	207,2	-17,22	
2	287,2	14,41	254,7	7,09	275,7	16,55	294,6	18,62	272,2	3,40	307,8	22,93	
3	214,0	-14,76	228,7	-3,84	297,3	25,66	223,8	-9,89	256,0	-2,75	286,4	14,41	
4	241,4	-3,83	240,4	1,06	237,0	0,20	291,7	17,45	227,4	-13,59	261,8	4,55	
5	263,2	4,87	259,9	9,28	284,7	24,57	226,2	-8,92	254,0	-3,51	233,6	-6,71	
6	222,1	-11,52	264,3	11,12	209,5	-11,46	295,8	19,11	299,2	13,66	229,2	-8,46	
7	271,1	8,02	270,8	13,88	237,0	0,19	268,7	8,19	303,0	15,12	267,1	6,68	
8	304,4	21,30	286,6	20,52	219,7	-7,15	284,5	14,55	290,4	10,33	269,9	7,79	
9	246,6	-1,74	181,0	-23,88	191,8	-18,93	184,9	-25,53	263,0	-0,08	190,4	-23,96	
Total	2258,9		2140,6		2129,1		2235,1		2368,8		2253,3		
Average	251,0		237,8		236,6		248,3		263,2		250,4		
Unit Number:		Caso 5 (Section B)		Date:		10/20/06		Hi:		20		% Above Avg	
Rectifier Current:		9227		Time:		7:49:03 PM		LO:		-20		% Below Avg	
Diode	Leg 1A		Leg 2A		Leg 3A		Leg 4A		Leg 5A		Leg 6A		
	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	226,7	-20,66	280,5	-6,48	280,1	-12,22	172,8	-38,41	276,6	-5,78	283,1	-7,66	
2	208,3	-27,11	320,0	6,69	335,1	5,00	314,4	12,08	271,4	-7,55	251,1	-18,10	
3	376,0	31,59	228,2	-23,93	320,9	0,55	304,6	8,60	347,0	18,21	314,1	2,44	
4	360,6	26,22	297,1	-0,97	357,2	11,93	243,8	-13,07	301,1	2,59	305,6	-0,33	
5	301,7	5,59	262,0	-12,66	359,9	12,78	298,4	6,37	243,0	-17,20	301,6	-1,63	
6	380,9	33,32	274,5	-8,48	237,9	-25,45	280,2	-0,10	343,3	16,96	328,0	6,98	
7	283,2	-0,87	337,7	12,58	248,2	-22,24	318,8	13,66	268,5	-8,52	343,6	12,07	
8	246,2	-13,83	357,4	19,14	428,5	34,27	263,9	-5,91	266,0	-9,38	334,5	9,10	
9	187,8	-34,26	342,3	14,12	304,4	-4,62	327,6	16,79	324,9	10,67	297,8	-2,87	
Total	2571,5		2699,6		2872,3		2524,6		2641,7		2759,5		
Average	285,7		300,0		319,1		280,5		293,5		306,6		
Diode	Leg 1B		Leg 2B		Leg 3B		Leg 4B		Leg 5B		Leg 6B		
	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	346,0	16,86	271,7	-4,72	267,1	-7,02	287,0	-4,59	223,4	-27,09	214,0	-26,28	
2	292,7	-1,16	246,9	-13,42	306,4	6,67	300,5	-0,10	444,0	44,93	324,0	11,60	
3	330,2	11,51	295,2	3,51	291,7	1,55	360,8	19,92	280,5	-8,44	324,9	11,92	
4	357,7	20,80	283,3	-0,63	291,1	1,33	324,4	7,83	279,7	-8,70	260,3	-10,34	
5	24,2	-91,81	336,6	18,03	299,4	4,23	304,7	1,29	289,3	-5,57	265,2	-8,64	
6	325,6	9,97	312,7	9,67	290,0	0,97	271,0	-9,93	275,1	-10,22	308,9	6,40	
7	312,9	5,68	324,0	13,65	245,9	-14,39	285,3	-5,17	388,4	26,77	336,3	15,82	
8	400,9	35,38	265,2	-6,98	359,2	25,07	332,7	10,60	302,0	-1,43	337,3	16,18	
9	274,7	-7,23	230,7	-19,10	234,3	-18,41	241,1	-19,85	274,9	-10,26	242,0	-16,65	
Total	2665,1		2566,3		2585,0		2707,5		2757,4		2612,9		
Average	296,1		285,1		287,2		300,8		306,4		290,3		
Waveform Factor:		3,464		ANSI Rectifier Circuit:		32							

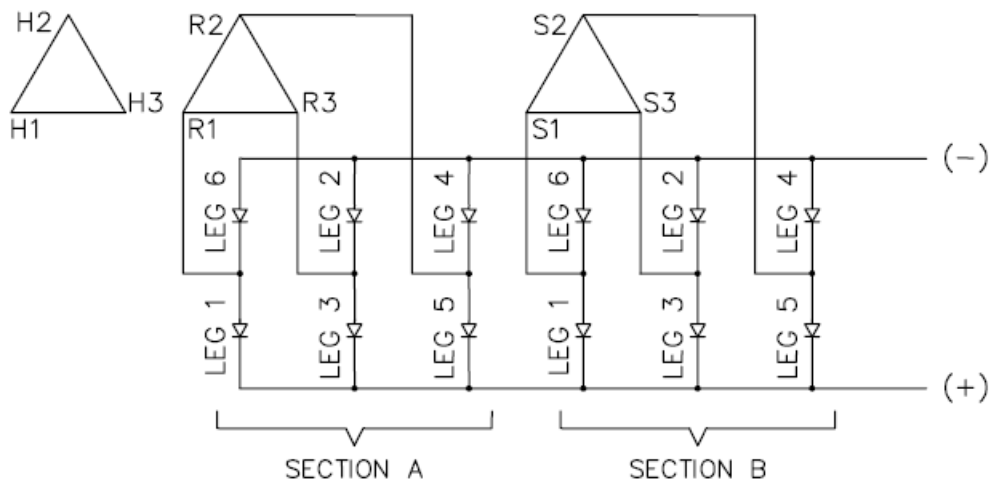




Tabela 7.6: Caso 06 – Grupo A – Barramento vertical.

Unit Number:		Caso 6 (Section A)		Date:		10/19/06		Hi:		20		% Above Avg	
Rectifier Current:		8870		Time:		7:25:02 PM		LO:		-20		% Below Avg	
Diode	Leg 1A		Leg 2A		Leg 3A		Leg 4A		Leg 5A		Leg 6A		
	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	199,6	-33,44	289,2	-5,49	261,4	-10,26	289,6	-2,15	256,2	-8,11	263,3	-6,05	
2	240,9	-19,66	325,6	6,41	282,2	-3,11	268,8	-9,18	268,4	-3,72	300,9	7,36	
3	345,8	15,32	310,7	1,56	334,8	14,94	298,3	0,79	251,3	-9,87	316,1	12,81	
4	348,9	16,33	287,0	-6,20	299,3	2,75	301,8	1,95	318,0	14,08	297,2	6,03	
5	323,3	7,81	263,0	-14,04	263,6	-9,51	291,6	-1,48	293,4	5,24	294,3	5,03	
6	343,0	14,36	326,2	6,63	289,3	-0,69	298,4	0,82	268,9	-3,57	281,8	0,56	
7	373,5	24,54	354,6	15,89	267,0	-8,33	276,1	-6,73	242,9	-12,88	177,8	-36,55	
8	226,7	-24,40	334,2	9,22	377,8	29,69	392,0	32,45	325,7	16,83	319,7	14,07	
9	297,3	-0,86	263,2	-13,98	246,2	-15,47	247,3	-16,46	284,4	2,01	271,1	-3,26	
<b>Total</b>	<b>2699,0</b>		<b>2753,7</b>		<b>2621,5</b>		<b>2663,9</b>		<b>2509,2</b>		<b>2522,3</b>		
<b>Average</b>	<b>299,9</b>		<b>306,0</b>		<b>291,3</b>		<b>296,0</b>		<b>278,8</b>		<b>280,3</b>		
Diode	Leg 1B		Leg 2B		Leg 3B		Leg 4B		Leg 5B		Leg 6B		
	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	220,5	-18,08	187,8	-31,45	243,2	-12,68	253,1	-9,98	218,5	-22,19	213,0	-23,37	
2	316,3	17,48	185,3	-32,39	254,2	-8,77	311,4	10,76	288,6	2,81	267,2	-3,88	
3	224,0	-16,81	309,2	12,82	303,2	8,86	304,3	8,24	249,6	-11,11	317,1	14,08	
4	257,2	-4,46	317,5	15,88	297,0	6,60	272,7	-3,00	321,5	14,52	312,1	12,26	
5	208,2	-22,66	318,1	16,10	236,1	-15,25	304,1	8,14	260,5	-7,21	305,9	10,03	
6	300,6	11,65	255,2	-6,87	279,9	0,48	304,2	8,18	340,0	21,11	269,7	-2,98	
7	308,2	14,46	333,0	21,53	350,8	25,93	250,1	-11,05	311,0	10,78	321,6	15,69	
8	275,8	2,45	312,6	14,07	280,5	0,68	288,1	2,47	197,7	-29,59	257,0	-7,53	
9	312,2	15,96	247,5	-9,67	262,3	-5,85	242,5	-13,76	339,4	20,88	238,2	-14,30	
<b>Total</b>	<b>2423,1</b>		<b>2466,3</b>		<b>2507,2</b>		<b>2530,6</b>		<b>2526,7</b>		<b>2501,8</b>		
<b>Average</b>	<b>269,2</b>		<b>274,0</b>		<b>278,6</b>		<b>281,2</b>		<b>280,7</b>		<b>278,0</b>		
Unit Number:		Caso 6 (Section B)		Date:		10/19/06		Hi:		20		% Above Avg	
Rectifier Current:		8785		Time:		8:22:09 PM		LO:		-20		% Below Avg	
Diode	Leg 1A		Leg 2A		Leg 3A		Leg 4A		Leg 5A		Leg 6A		
	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	303,5	6,18	248,7	-14,58	298,7	-0,33	164,8	-40,04	245,4	-11,08	385,7	39,46	
2	179,8	-40,03	306,7	0,23	327,5	12,43	238,9	-19,28	324,3	16,32	352,4	25,76	
3	313,8	4,64	308,5	0,82	367,8	26,28	334,2	12,91	284,8	2,14	245,2	-12,51	
4	305,2	1,76	304,0	-0,65	337,0	15,70	317,4	7,24	285,5	2,41	254,7	-9,13	
5	299,0	-0,29	320,0	4,58	275,8	-5,30	236,8	-19,99	283,7	1,74	309,3	10,38	
6	288,9	-3,67	310,0	1,32	286,9	-1,52	310,1	4,77	335,1	20,19	157,9	-43,67	
7	321,3	7,14	336,8	10,06	275,1	-5,55	323,4	9,25	273,1	-2,05	339,6	21,16	
8	285,5	-4,79	327,4	7,02	251,2	-13,76	340,6	15,08	197,8	-29,07	215,9	-22,95	
9	275,2	-8,23	158,7	-48,13	277,5	-4,75	208,1	-29,69	254,0	-8,88	228,3	-18,53	
<b>Total</b>	<b>2572,2</b>		<b>2620,7</b>		<b>2697,5</b>		<b>2474,4</b>		<b>2483,6</b>		<b>2489,0</b>		
<b>Average</b>	<b>285,8</b>		<b>291,2</b>		<b>299,7</b>		<b>274,9</b>		<b>276,0</b>		<b>276,6</b>		
Diode	Leg 1B		Leg 2B		Leg 3B		Leg 4B		Leg 5B		Leg 6B		
	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	244,5	-9,89	241,2	-10,40	262,5	-3,80	259,6	-8,99	235,0	-17,32	361,1	22,65	
2	155,8	-42,61	272,3	1,17	213,5	-21,72	365,0	27,92	286,0	0,64	214,5	-27,12	
3	330,8	21,88	265,5	-1,35	271,0	-0,67	161,8	-43,27	384,7	35,36	294,3	-0,02	
4	314,7	15,96	289,8	7,67	250,0	-8,38	332,0	16,36	262,8	-7,51	425,3	44,48	
5	398,8	46,94	262,9	-2,30	286,3	4,93	336,7	18,02	287,9	1,31	202,9	-31,08	
6	167,6	-38,25	263,2	-2,22	311,6	14,23	265,3	-6,99	284,7	0,19	411,1	39,63	
7	255,2	-5,96	311,2	15,64	271,5	-0,49	297,9	4,44	203,0	-28,56	336,0	14,14	
8	262,8	-3,16	275,6	2,41	294,5	7,94	345,5	21,12	353,8	24,48	16,7	-94,32	
9	312,3	15,08	240,6	-10,62	294,5	7,96	203,7	-28,61	259,8	-8,59	387,5	31,64	
<b>Total</b>	<b>2442,4</b>		<b>2422,3</b>		<b>2455,4</b>		<b>2567,6</b>		<b>2557,6</b>		<b>2649,4</b>		
<b>Average</b>	<b>271,4</b>		<b>269,1</b>		<b>272,8</b>		<b>285,3</b>		<b>284,2</b>		<b>294,4</b>		
<b>Waveform Factor:</b>		3,464		<b>ANSI Rectifier Circuit:</b>		32							

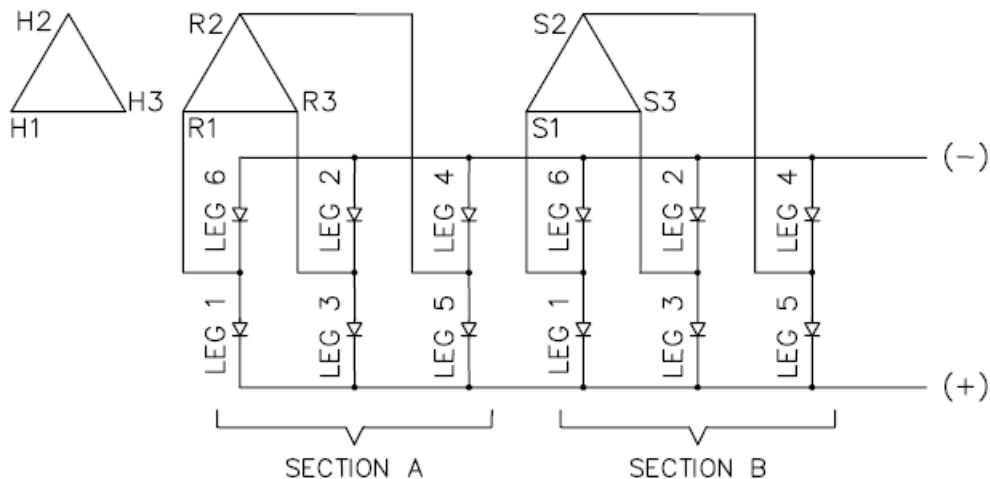


Tabela 7.7: Caso 07 – Grupo A – Barramento vertical.

Unit Number:		Caso 7 (Section A)				Date:		10/19/06		HI:		20		% Above Avg	
Rectifier Current:		8309				Time:		9:36:09 PM		LO:		-20		% Below Avg	
		Leg 1A		Leg 2A		Leg 3A		Leg 4A		Leg 5A		Leg 6A			
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	274,8	-5,09	301,8	20,36	235,3	-11,33	300,6	7,80	288,1	14,06	260,0	0,38			
2	283,3	-2,14	384,3	53,25	284,2	7,08	369,5	32,50	231,6	-8,30	307,5	18,72			
3	312,0	7,75	237,4	-5,33	267,8	0,91	253,4	-9,14	247,5	-2,00	342,0	32,02			
4	305,3	5,46	234,4	-6,52	302,8	14,11	367,0	31,61	217,2	-13,98	224,3	-13,41			
5	368,0	27,08	193,3	-22,92	307,0	15,66	136,3	-51,13	337,5	33,64	251,2	-3,01			
6	323,1	11,60	173,6	-30,77	299,0	12,66	348,7	25,03	216,1	-14,42	220,5	-14,87			
7	212,7	-26,52	222,0	-11,46	239,9	-9,60	176,5	-36,72	236,3	-6,45	256,8	-0,87			
8	198,0	-31,63	208,8	-16,71	275,8	3,93	244,9	-12,17	247,0	-2,19	247,3	-4,54			
9	328,6	13,48	301,1	20,10	176,7	-33,42	312,9	12,21	251,6	-0,36	221,7	-14,41			
Total	2605,8		2256,6		2388,6		2509,8		2273,0		2331,4				
Average	289,5		250,7		265,4		278,9		252,6		259,0				
		Leg 1B		Leg 2B		Leg 3B		Leg 4B		Leg 5B		Leg 6B			
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	269,5	5,96	264,5	-8,76	210,2	-20,19	255,5	2,54	251,3	-11,57	183,4	-29,72			
2	215,9	-15,14	301,4	3,95	329,7	25,20	273,8	9,91	242,0	-14,81	337,3	29,22			
3	210,8	-17,13	279,1	-3,73	332,3	26,17	258,9	3,92	295,5	4,01	244,1	-6,49			
4	231,5	-8,99	296,2	2,15	191,0	-27,46	253,8	1,86	238,8	-15,96	352,6	35,09			
5	227,0	-10,76	315,9	8,97	250,5	-4,88	232,8	-6,57	347,8	22,42	246,4	-5,58			
6	239,3	-5,94	255,2	-11,97	258,4	-1,90	219,7	-11,80	293,4	3,28	241,5	-7,47			
7	279,2	9,75	226,9	-21,73	256,5	-2,59	282,2	13,25	292,8	3,07	258,4	-1,00			
8	308,7	21,37	402,4	38,80	332,3	26,20	257,5	3,35	349,4	22,99	229,7	-12,02			
9	307,5	20,87	267,6	-7,69	209,2	-20,55	208,1	-16,47	245,9	-13,45	255,7	-2,03			
Total	2289,3		2609,3		2370,2		2242,3		2557,0		2349,2				
Average	254,4		289,9		263,4		249,1		284,1		261,0				

Unit Number:		Caso 7 (Section B)				Date:		10/19/06		HI:		20		% Above Avg	
Rectifier Current:		8185				Time:		10:24:08 PM		LO:		-20		% Below Avg	
		Leg 1A		Leg 2A		Leg 3A		Leg 4A		Leg 5A		Leg 6A			
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	235,8	1,67	185,2	-28,87	287,2	17,24	221,8	-12,92	397,0	-0,65	161,5	-34,01			
2	195,8	-15,57	240,4	-7,64	249,6	1,88	267,4	4,98	352,2	-11,85	281,2	14,92			
3	252,2	8,72	283,8	9,03	208,1	-15,07	272,3	6,87	371,5	-7,04	264,4	8,06			
4	225,9	-2,60	245,8	-5,57	267,3	9,12	222,8	-12,53	373,3	-6,57	295,2	20,63			
5	208,5	-10,09	278,5	6,98	252,9	3,22	215,2	-15,52	568,0	42,16	214,3	-12,40			
6	251,0	8,22	293,7	12,84	233,6	-4,65	310,7	21,97	381,3	-4,58	260,1	6,29			
7	270,0	16,42	297,3	14,20	232,4	-5,14	306,5	20,30	364,1	-8,88	295,0	20,57			
8	244,9	5,59	321,8	23,62	270,6	10,45	315,0	23,65	416,6	4,25	238,8	-2,39			
9	203,3	-12,35	196,3	-24,58	203,2	-17,05	161,0	-36,80	372,3	-6,83	191,7	-21,67			
Total	2087,5		2342,9		2204,9		2292,8		3596,3		2202,3				
Average	231,9		260,3		245,0		254,8		399,6		244,7				
		Leg 1B		Leg 2B		Leg 3B		Leg 4B		Leg 5B		Leg 6B			
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	355,3	34,22	230,5	-7,41	213,2	-17,72	226,5	-8,75	215,1	-11,39	193,9	-22,59			
2	367,4	38,76	232,4	-6,66	254,4	-1,80	297,7	19,95	157,9	-34,96	254,6	1,62			
3	245,9	-7,12	223,2	-10,35	213,7	-17,51	286,3	15,33	314,4	29,50	308,9	23,28			
4	204,7	-22,69	251,6	1,05	251,5	-2,92	285,6	15,07	260,9	7,48	284,9	13,70			
5	229,0	-13,50	262,9	5,61	261,5	0,94	271,6	9,44	254,3	4,75	262,5	4,77			
6	269,5	1,79	269,0	8,05	286,9	10,73	278,0	11,99	329,4	35,68	288,2	15,04			
7	246,0	-7,08	259,5	4,21	286,4	10,54	214,6	-13,52	220,2	-9,29	263,1	5,02			
8	233,9	-11,66	256,4	2,99	282,1	8,86	195,0	-21,44	209,5	-13,71	249,2	-0,51			
9	231,1	-12,71	255,2	2,51	282,1	8,88	178,5	-28,07	223,2	-8,06	149,5	-40,31			
Total	2382,7		2240,8		2331,8		2233,8		2184,9		2254,8				
Average	264,7		249,0		259,1		248,2		242,8		250,5				

Waveform Factor: 3,464      ANSII Rectifier Circuit: 32

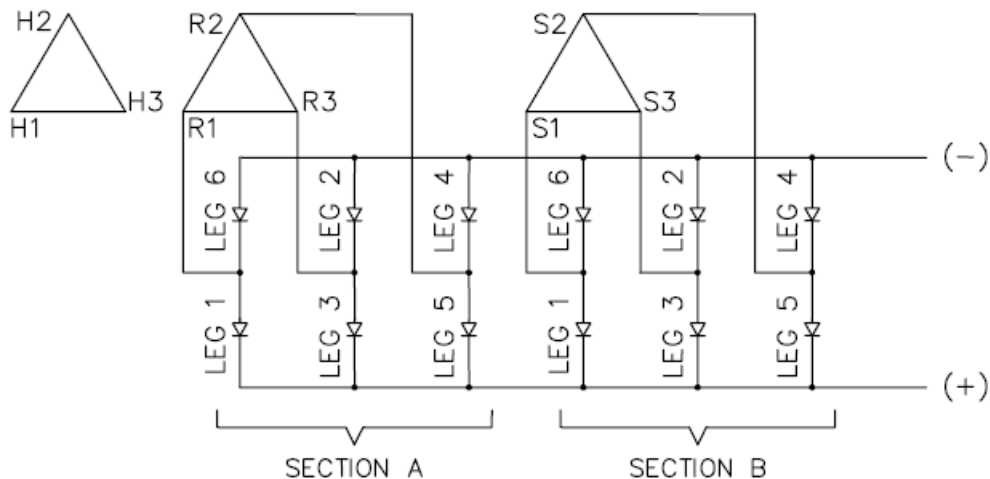


Tabela 7.8: Caso 08 – Grupo B – Barramento vertical.

Unit Number:	Caso 8		Date:	09/14/06		HI:	20		% Above Avg			
Rectifier Current:	17675		Time:	1:33:06 PM		LO:	-20		% Below Avg			
	Leg 1		Leg 2		Leg 3		Leg 4		Leg 5		Leg 6	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	1215,1	-2,18	1320,2	3,65	1231,1	-1,75	1301,7	1,26	1349,2	7,38	1396,0	3,99
2	1210,6	-2,55	1231,7	-3,30	1199,6	-4,27	1242,8	-3,32	1177,3	-6,30	1249,3	-6,94
3	1361,5	9,60	1185,6	-6,91	1301,9	3,90	1270,2	-1,19	1158,1	-7,83	1415,8	5,46
4	1181,8	-4,87	1357,1	6,55	1279,6	2,12	1327,1	3,24	1341,2	6,75	1308,7	-2,51
Total	4968,9		5094,7		5012,2		5141,9		5025,8		5369,8	
Average	1242,2		1273,7		1253,0		1285,5		1256,4		1342,4	
Waveform Factor:	3,464		ANSI Rectifier Circuit:	45								

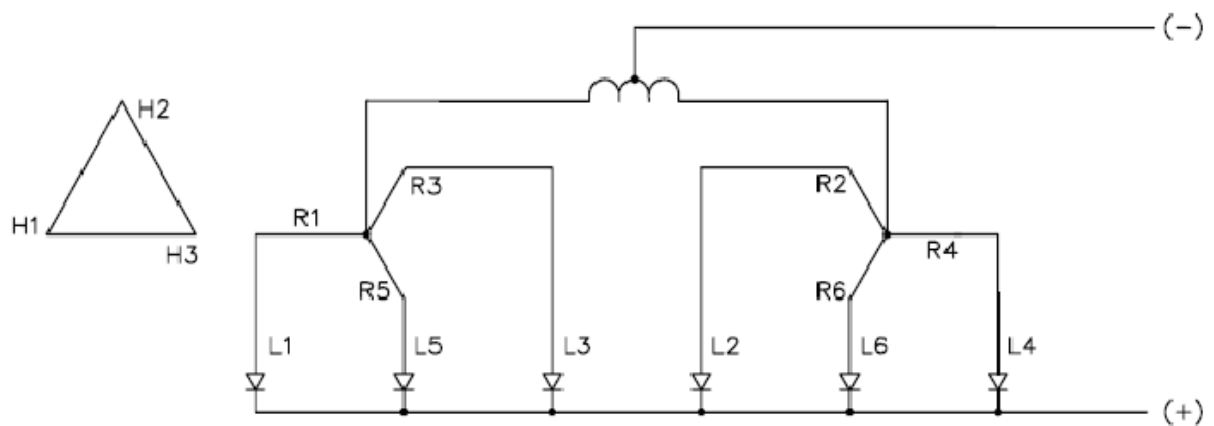


Tabela 7.9: Caso 09 – Grupo B – Barramento vertical.

Unit Number:	Caso 9		Date:	03/08/05		HI:	20		% Above Avg			
Rectifier Current:	21315		Time:	11:33:05 AM		LO:	-20		% Below Avg			
	Leg 1A - R1		Leg 2A - R5		Leg 3A - R9		Leg 4A - R3		Leg 5A - R7		Leg 6A - R11	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	972,1	28,31	861,6	5,35	727,2	-5,35	530,0	-35,11	867,6	12,60	730,3	-7,19
2	780,0	2,96	826,3	1,03	817,4	6,39	1055,5	29,25	820,9	6,55	913,4	16,07
3	652,3	-13,90	748,2	-8,53	755,4	-1,69	817,3	0,07	643,3	-16,51	737,2	-6,31
4	626,0	-17,37	835,5	2,15	773,3	0,65	863,9	5,79	750,1	-2,65	766,7	-2,57
Total	3030,4		3271,6		3073,4		3266,7		3081,9		3147,6	
Average	757,6		817,9		768,3		816,7		770,5		786,9	
	Leg 1B - R2		Leg 2B - R6		Leg 3B - R10		Leg 4B - R4		Leg 5B - R8		Leg 6B - R12	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	796,4	3,38	1026,9	29,07	792,9	3,53	809,8	33,51	843,5	7,56	920,7	16,68
2	787,4	2,20	833,2	4,73	791,7	3,36	815,9	34,51	674,9	-13,94	765,5	-2,99
3	798,9	3,70	621,3	-21,90	782,4	2,15	2,0	-99,67	824,4	5,13	704,4	-10,74
4	698,9	-9,29	700,9	-11,90	696,7	-9,04	798,5	31,65	794,0	1,25	765,9	-2,94
Total	3081,6		3182,4		3063,7		2426,2		3136,8		3156,5	
Average	770,4		795,6		765,9		606,6		784,2		789,1	
Waveform Factor:	6,928		ANSI Rectifier Circuit:		52							

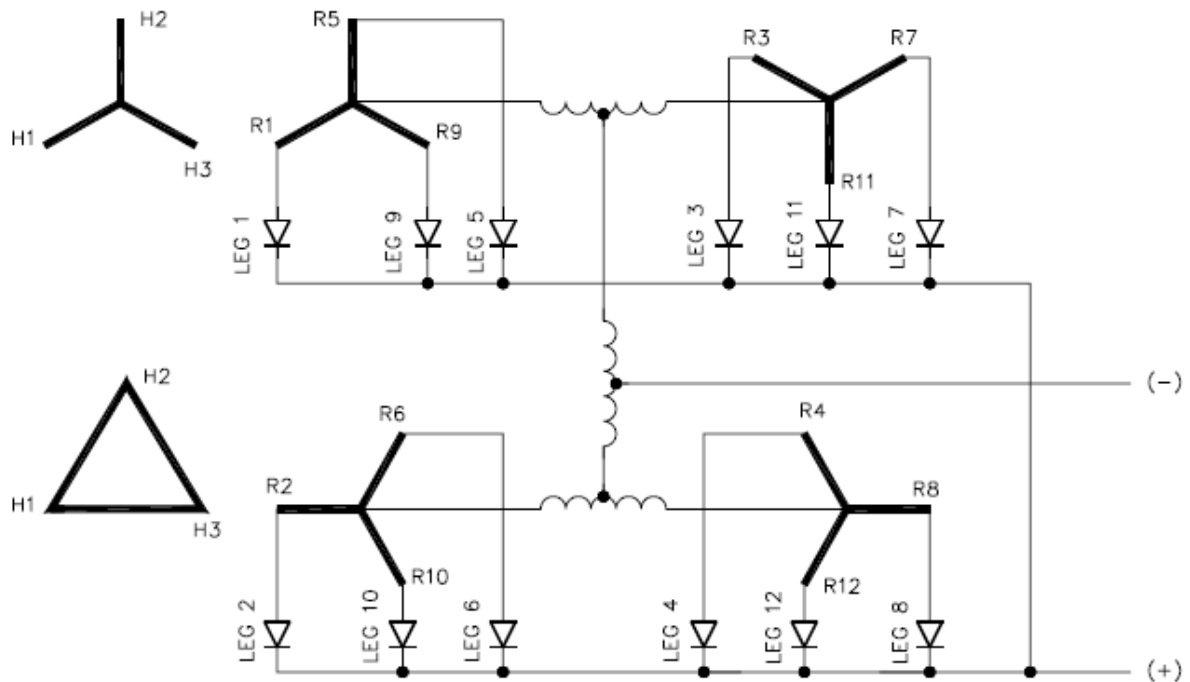


Tabela 7.10: Caso 10 – Grupo B – Barramento vertical.

Unit Number:	Caso 10		Date:	07/31/06		HI:	20		% Above Avg			
Rectifier Current:	37116		Time:	4:01:03 PM		LO:	-20		% Below Avg			
	Leg 1		Leg 2		Leg 3		Leg 4		Leg 5		Leg 6	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	4071,3	16,41	3711,1	2,85	3281,1	-7,77	3735,8	5,15	3578,1	-0,31	3635,6	0,32
2	3781,8	8,13	3351,7	-7,11	3229,1	-9,23	3460,3	-2,61	3666,0	2,14	3663,3	1,08
3	3795,2	8,51	3575,2	-0,91	3351,4	-5,79	3900,5	9,78	3472,4	-3,25	4042,2	11,54
4	3184,0	-8,96	4079,5	13,06	4079,0	14,66	3312,6	-6,76	3805,8	6,04	3640,1	0,45
5	2951,7	-15,61	3831,0	6,18	3966,9	11,51	3515,4	-1,05	3737,1	4,12	3402,7	-6,10
6	3200,9	-8,48	3100,4	-14,07	3437,8	-3,37	3392,7	-4,51	3275,6	-8,74	3359,9	-7,29
Total	20984,9		21648,9		21345,3		21317,3		21535,0		21743,7	
Average	3497,5		3608,1		3557,5		3552,9		3589,2		3624,0	
Waveform Factor:	1,732		ANSI Rectifier Circuit:		26							

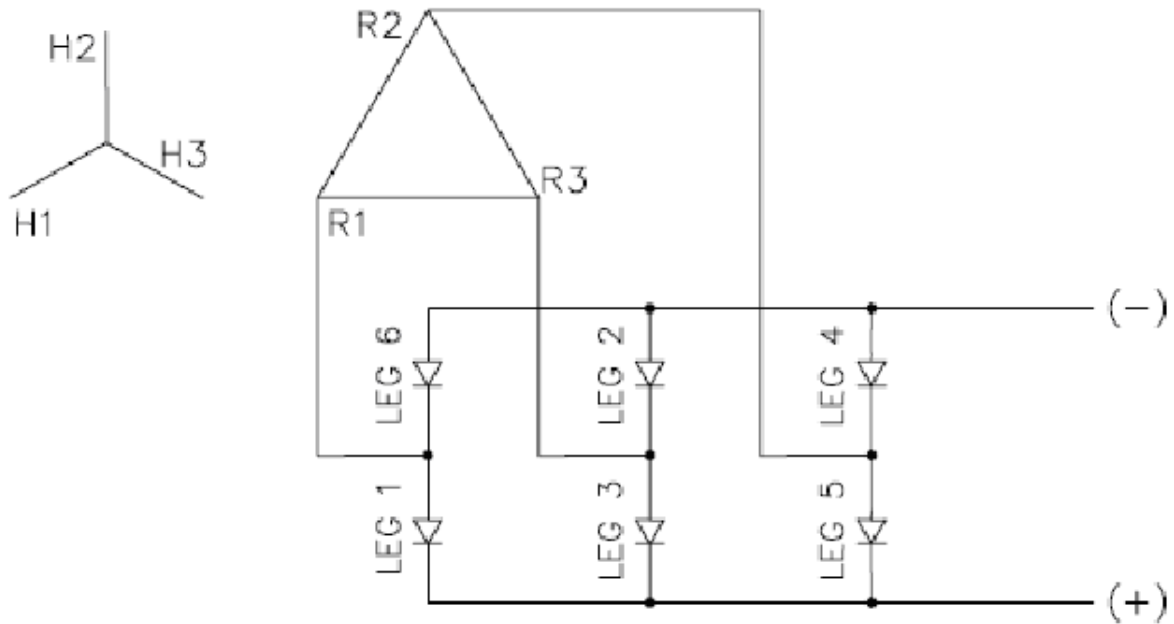


Tabela 7.11: Caso 11 – Grupo B – Barramento vertical.

Unit Number:	Caso 11		Date:	10/20/06	HI:	20	% Above Avg					
Rectifier Current:	23888		Time:	8:54:20 PM	LO:	-20	% Below Avg					
	Leg 1		Leg 2		Leg 3		Leg 4		Leg 5		Leg 6	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	1991,4	-14,37	1929,9	-15,04	2065,5	-9,91	2694,5	16,40	2997,5	30,69	2044,3	-10,86
2	2149,7	-7,56	2189,7	-3,60	2293,1	0,01	2068,5	-10,64	2010,1	-12,36	2059,8	-10,18
3	2858,7	22,92	2745,5	20,87	2681,3	16,94	2190,7	-5,36	2230,9	-2,73	2837,1	23,72
4	2361,4	1,54	1973,6	-13,11	1894,8	-17,36	2820,9	21,86	2486,5	8,41	1980,8	-13,62
5	2274,8	-2,18	2187,1	-3,71	2158,4	-5,86	2176,4	-5,98	1744,9	-23,92	2184,1	-4,76
6	2317,6	-0,34	2602,9	14,59	2663,9	16,18	1938,4	-16,26	2291,5	-0,09	2653,3	15,70
Total	13953,7		13628,7		13757,0		13889,5		13761,5		13759,4	
Average	2325,6		2271,4		2292,8		2314,9		2293,6		2293,2	
Waveform Factor:	1,732		ANSI Rectifier Circuit:		25							

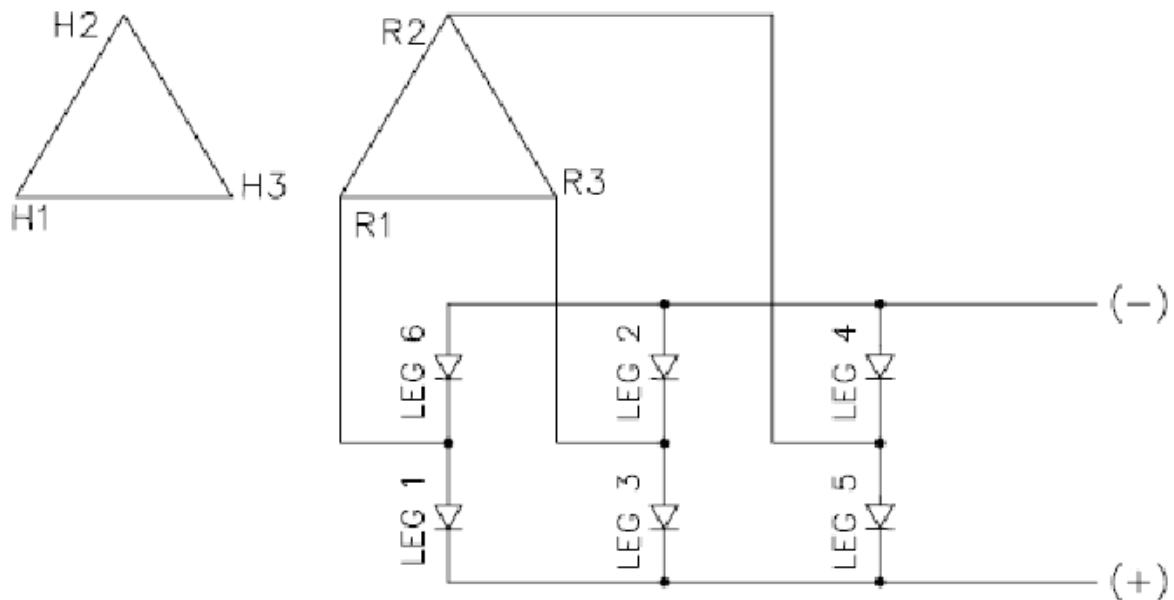


Tabela 7.12: Caso 12 – Grupo B – Barramento vertical.

Unit Number:	Caso 12		Date:	10/20/06	HI:	20	% Above Avg					
Rectifier Current:	23897		Time:	9:42:19 PM	LO:	-20	% Below Avg					
	Leg 1		Leg 2		Leg 3		Leg 4		Leg 5		Leg 6	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	2378,8	3,78	2114,2	-8,51	1891,1	-17,74	3012,7	31,52	2662,4	15,73	1955,8	-15,10
2	1810,5	-21,01	2165,1	-6,31	1994,3	-13,25	2212,7	-3,40	2221,1	-3,46	1703,3	-26,06
3	3134,5	36,75	2641,1	14,29	2711,1	17,92	2041,7	-10,87	2143,1	-6,85	3049,1	32,36
4	1611,3	-29,70	1940,9	-16,01	1972,6	-14,20	2464,3	7,58	2516,5	9,38	2185,9	-5,11
5	1921,5	-16,17	2317,2	0,27	2102,6	-8,54	2041,5	-10,88	2207,0	-4,07	1982,1	-13,96
6	2896,5	26,36	2686,8	16,27	3122,3	35,81	1971,2	-13,95	2053,7	-10,73	2945,3	27,86
Total	13753,2		13865,3		13794,0		13744,1		13803,7		13821,6	
Average	2292,2		2310,9		2299,0		2290,7		2300,6		2303,6	
Waveform Factor:	1,732		ANSI Rectifier Circuit:		25							

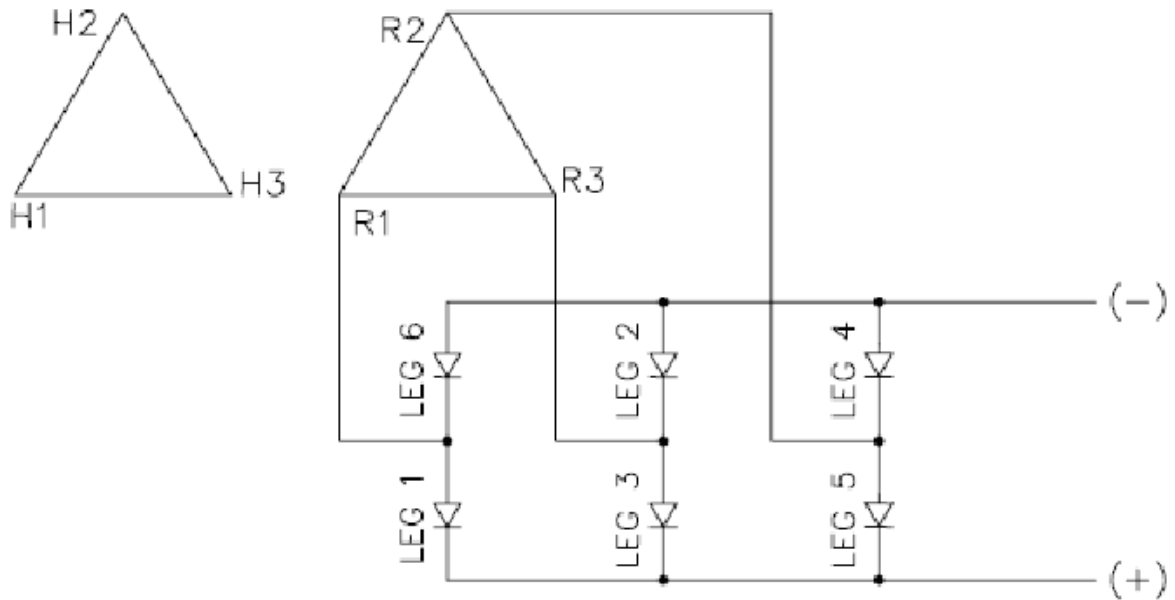


Tabela 7.13: Caso 13 – Grupo C – Barramento horizontal.

Unit Number:	Caso 13		Date:	07/08/05		HI:	20		% Above Avg			
Rectifier Current:	58111		Time:	8:56:46 AM		LO:	-20		% Below Avg			
	Leg 1A - R1		Leg 2A - R5		Leg 3A - R9		Leg 4A - R3		Leg 5A - R7		Leg 6A - R11	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	2908,0	-1,77	2863,1	-0,58	2954,8	1,29	2995,1	-1,70	2976,2	-1,84	3100,1	2,48
2	2946,0	-0,49	2812,5	-2,34	2814,4	-3,52	3114,6	2,23	2998,2	-1,12	2861,0	-5,42
3	3027,2	2,26	2963,6	2,91	2982,0	2,23	3030,5	-0,53	3121,7	2,96	3113,8	2,94
	Total		8881,2		8639,1		8751,2		9140,2		9096,1	
	Average		2960,4		2879,7		2917,1		3046,7		3032,0	
	Leg 1B - R2		Leg 2B - R6		Leg 3B - R10		Leg 4B - R4		Leg 5B - R8		Leg 6B - R12	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	2622,1	0,77	2472,3	-5,01	2737,7	4,75	2638,3	0,23	2576,5	-0,33	2685,7	1,21
2	2671,2	2,65	2767,6	6,33	2463,1	-5,76	2615,0	-0,65	2514,4	-2,73	2548,5	-3,96
3	2513,2	-3,42	2568,3	-1,32	2640,1	1,01	2643,2	0,42	2664,1	3,06	2726,7	2,75
	Total		7806,5		7808,2		7840,9		7896,5		7960,9	
	Average		2602,2		2602,7		2613,6		2632,2		2653,6	
	Waveform Factor:		6,928		ANSI Rectifier Circuit:		52					

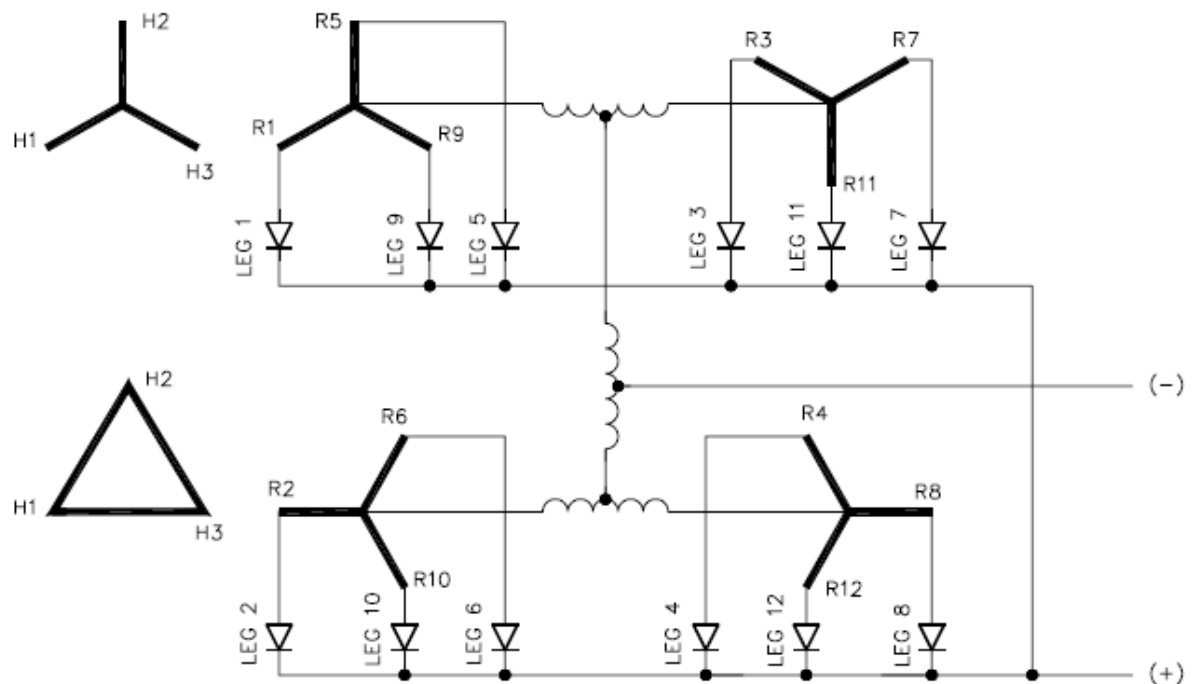




Tabela 7.14: Caso 14 – Grupo C – Barramento horizontal.

Unit Number:	Caso 14		Date:	06/08/05		HI:	20		% Above Avg			
Rectifier Current:	77327		Time:	4:59:39 PM		LO:	-20		% Below Avg			
Delta	Leg 1A		Leg 2A		Leg 3A		Leg 4A		Leg 5A		Leg 6A	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	3319,5	-9,93	3387,0	-9,00	4079,0	15,79	4079,3	20,77	4079,8	14,01	4078,1	15,06
2	3760,6	2,04	3650,7	-1,91	3450,5	-2,05	3501,2	3,65	3171,8	-11,36	3516,8	-0,78
3	4079,4	10,69	4079,5	9,61	2947,8	-16,32	2615,4	-22,57	3150,2	-11,96	2945,9	-16,89
4	3199,5	-13,18	3368,0	-9,51	4077,2	15,74	4076,9	20,70	4077,2	13,94	4077,0	15,02
5	3677,5	-0,22	3770,2	1,30	3551,9	0,82	3393,8	0,47	3742,4	4,59	3705,8	4,55
6	4076,0	10,60	4076,3	9,52	3030,6	-13,97	2600,6	-23,01	3248,5	-9,22	2943,2	-16,96
<b>Total</b>	22112,5		22331,7		21137,1		20267,3		21469,9		21266,8	
<b>Average</b>	3685,4		3721,9		3522,8		3377,9		3578,3		3544,5	
Wye	Leg 1B		Leg 2B		Leg 3B		Leg 4B		Leg 5B		Leg 6B	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	3267,7	-12,86	3752,0	-6,32	4077,0	3,28	4076,7	6,38	4077,7	5,24	4077,3	7,17
2	3820,6	1,89	4076,3	1,78	4063,4	2,93	4030,6	5,18	4075,9	5,19	3939,4	3,54
3	4074,7	8,66	4074,8	1,74	3586,6	-9,15	3342,7	-12,77	3434,1	-11,37	3429,0	-9,87
4	3211,4	-14,36	3975,6	-0,73	4075,4	3,24	4075,1	6,34	4075,6	5,18	4074,4	7,09
5	4049,7	7,99	4075,2	1,75	4074,9	3,23	4075,0	6,34	4075,1	5,17	3906,7	2,69
6	4075,3	10,58	4076,3	9,52	3808,2	8,10	3392,9	0,44	3509,8	-1,92	3400,6	-4,06
<b>Total</b>	22499,5		24030,3		23685,5		22993,1		23248,0		22827,4	
<b>Average</b>	3749,9		4005,1		3947,6		3832,2		3874,7		3804,6	
<b>Waveform Factor:</b>			3,464			<b>ANSI Rectifier Circuit:</b>			31			

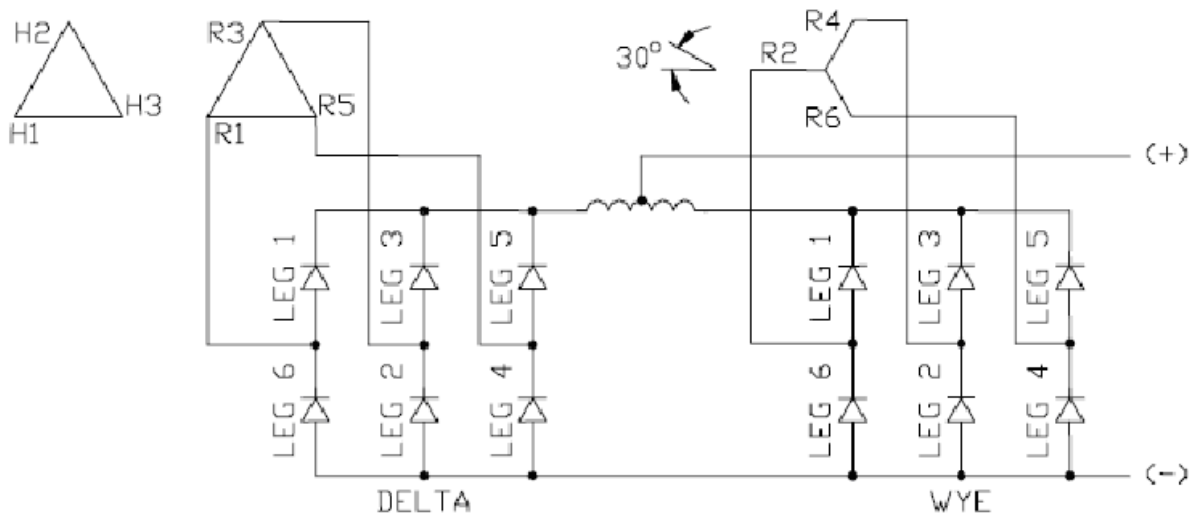


Tabela 7.15: Caso 15 – Grupo C – Barramento horizontal.

Unit Number:	Caso 15		Date:	04/20/06		HI:	10		% Above Avg			
Rectifier Current:	11651 A		Time:	8:30:33 AM		LO:	-10		% Below Avg			
	Leg 1		Leg 2		Leg 3		Leg 4		Leg 5		Leg 6	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	1681,5	1,01	1963,7	16,18	1681,2	-0,26	1726,3	2,26	1892,8	11,99	1734,9	3,81
2	1652,8	-0,72	1553,1	-8,11	1731,8	2,74	1596,5	-5,43	1681,5	-0,51	1486,7	-11,04
3	1597,7	-4,03	1842,9	9,03	1903,4	12,92	1827,5	8,26	1634,9	-3,27	1677,6	0,39
4	1727,0	3,74	1401,2	-17,10	1425,9	-15,40	1602,1	-5,10	1551,6	-8,20	1785,6	6,84
<b>Total</b>	6659	A	6761	A	6742	A	6752	A	6761	A	6685	A
<b>Average</b>	1665	A	1690	A	1686	A	1688	A	1690	A	1671	A
<b>Waveform Factor:</b> 1,732						<b>ANSI Rectifier Circuit:</b> 26						

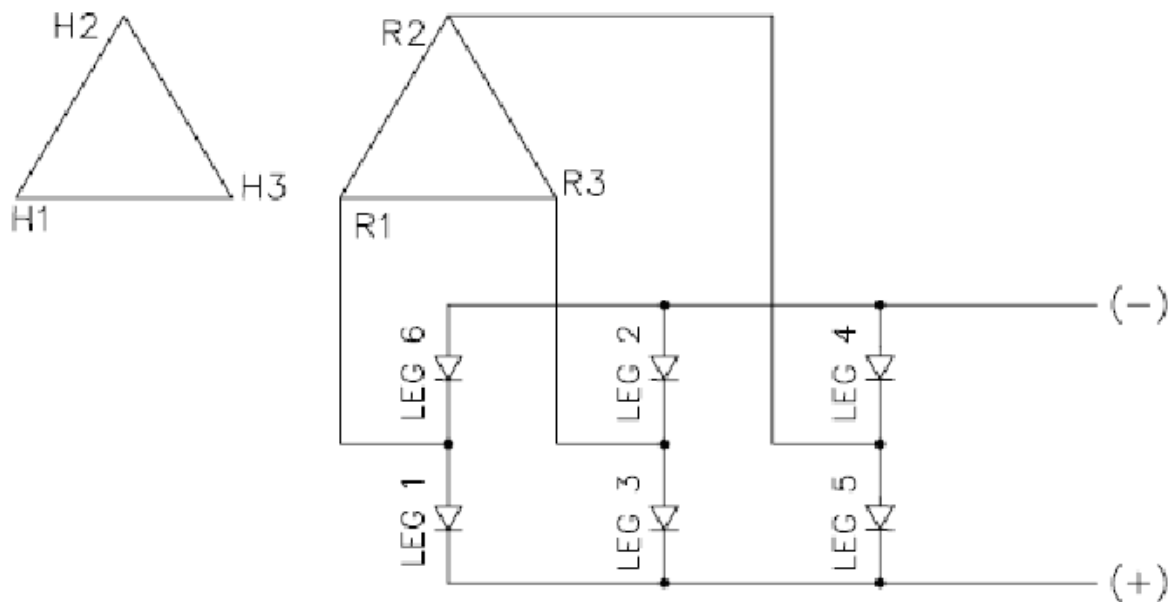


Tabela 7.16: Caso 16 – Grupo C – Barramento horizontal.

Unit Number:	Caso 16		Date:	10/25/06	HI:	20	% Above Avg					
Rectifier Current:	24988	Time:	12:12:25 PM	LO:	-20	% Below Avg						
	Leg 1		Leg 2		Leg 3		Leg 4		Leg 5		Leg 6	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	1564,4	25,76	1204,9	0,69	808,8	-36,15	1064,1	-12,21	884,5	-23,91	1218,6	7,69
2	1003,2	-19,36	1081,2	-9,64	1118,7	-11,69	1007,6	-16,87	1082,7	-6,85	592,1	-47,68
3	966,3	-22,32	1222,0	2,12	1669,9	31,82	1359,5	12,17	1487,1	27,94	1962,4	73,43
4	1763,9	41,79	1234,6	3,18	1352,6	6,77	1284,6	5,98	821,4	-29,33	1323,3	16,94
5	1159,6	-6,79	1175,8	-1,73	985,0	-22,25	1134,9	-6,37	1083,5	-6,78	1662,3	46,91
6	1006,6	-19,08	1261,0	5,38	1665,9	31,50	1421,8	17,30	1614,8	38,93	30,6	-97,30
<b>Total</b>	7464,0		7179,4		7600,9		7272,4		6974,1		6789,3	
<b>Average</b>	1244,0		1196,6		1266,8		1212,1		1162,4		1131,6	
<b>Waveform Factor:</b>	3,464		<b>ANSI Rectifier Circuit:</b>		46							

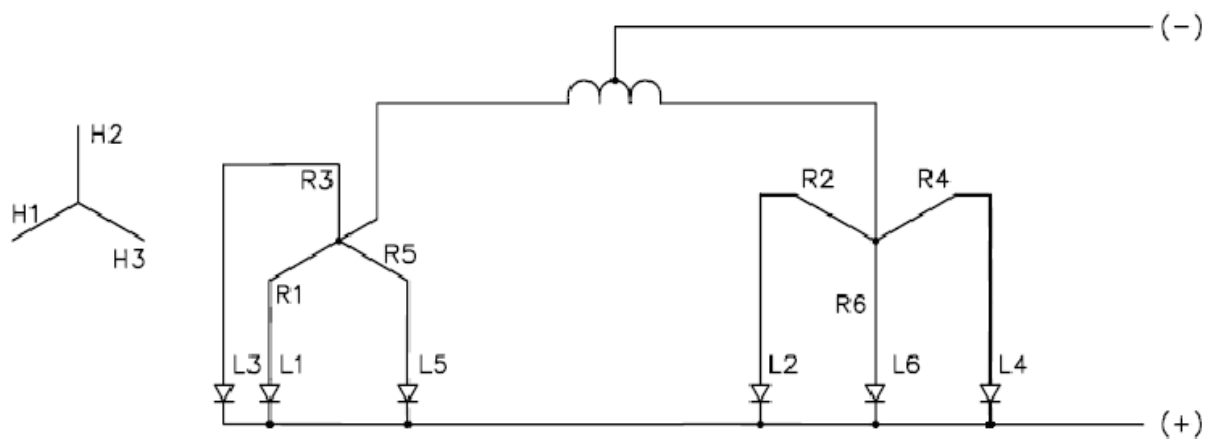


Tabela 7.17: Caso 17 – Grupo C – Barramento horizontal.

Unit Number:	Caso 17		Date:	10/25/06		HI:	20		% Above Avg				
Rectifier Current:	28838		Time:	11:29:11 AM		LO:	-20		% Below Avg				
		Leg 1		Leg 2		Leg 3		Leg 4		Leg 5		Leg 6	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	
1	1299,0	-8,62	1117,8	-17,87	1149,4	-20,97	760,6	-45,97	1137,0	-16,53	1117,4	-15,22	
2	1372,2	-3,47	1426,8	4,84	1038,8	-28,57	1292,4	-8,20	1164,5	-14,50	1315,8	-0,17	
3	1304,1	-8,26	1212,2	-10,93	1596,9	9,80	1629,9	15,77	1305,0	-4,19	1454,5	10,35	
4	1454,5	2,32	1406,8	3,37	1757,7	20,86	1465,1	4,07	1397,5	2,60	993,6	-24,61	
5	1609,6	13,23	1347,3	-1,01	1468,4	0,96	1513,6	7,52	1293,4	-5,04	1517,2	15,11	
6	1489,8	4,80	1654,9	21,60	1715,1	17,92	1785,2	26,81	1875,1	37,66	1509,6	14,54	
<b>Total</b>	8529,3		8165,7		8726,3		8446,9		8172,5		7908,0		
<b>Average</b>	1421,5		1361,0		1454,4		1407,8		1362,1		1318,0		
	<b>Waveform Factor:</b>	3,464			<b>ANSI Rectifier Circuit:</b>	46							

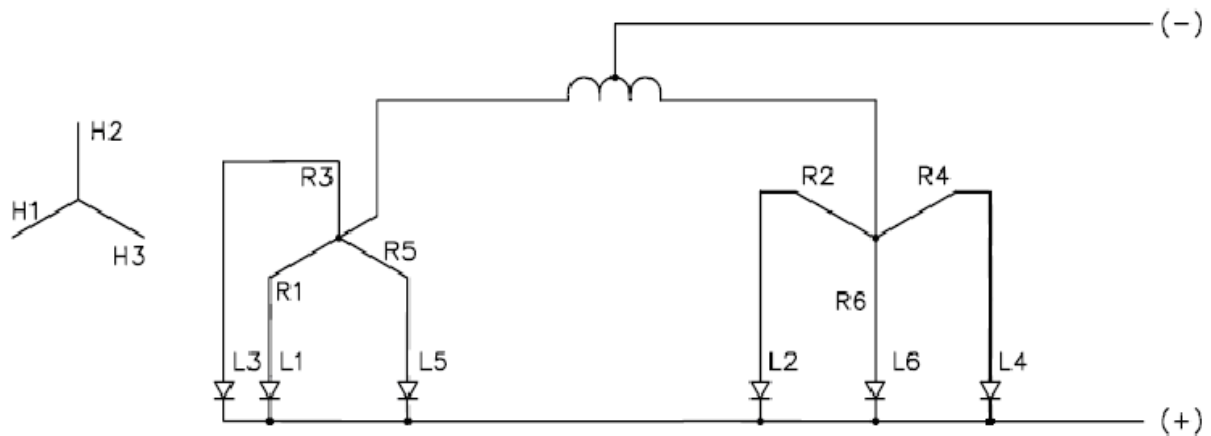


Tabela 7.18: Caso 18 – Grupo D – Barramento quadrangular.

Unit Number:	Caso 18		Date:	05/16/05		HI:	20		% Above Avg			
Rectifier Current:	46614		Time:	7:40:27 PM		LO:	-20		% Below Avg			
	Leg 1A - R1		Leg 2A - R5		Leg 3A - R9		Leg 4A - R3		Leg 5A - R7		Leg 6A - R11	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	1302,3	14,01	1020,8	-7,62	1090,9	-4,73	1229,0	9,93	878,5	-21,72	1068,6	-6,36
2	1373,7	20,26	938,3	-15,09	1277,4	11,56	1328,1	18,79	1149,5	2,43	1330,1	16,56
3	1252,7	9,67	1220,8	10,47	1416,6	23,71	1302,9	16,54	1334,9	18,95	1486,2	30,23
4	581,7	-49,07	1332,2	20,55	1238,8	8,18	580,0	-48,12	1356,0	20,82	701,6	-38,52
5	1172,3	2,63	1058,0	-4,26	925,1	-19,21	1209,1	8,15	877,9	-21,78	1186,8	4,00
6	1170,9	2,51	1060,4	-4,05	921,7	-19,51	1058,8	-5,29	1136,8	1,29	1073,7	-5,91
Total	6853,6		6630,5		6870,5		6708,0		6733,6		6847,0	
Average	1142,3		1105,1		1145,1		1118,0		1122,3		1141,2	
	Leg 1B - R2		Leg 2B - R6		Leg 3B - R10		Leg 4B - R4		Leg 5B - R8		Leg 6B - R12	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	1265,5	12,74	1031,0	-9,01	1244,9	11,55	1040,7	-5,93	1333,5	18,83	1269,5	17,29
2	1354,3	20,65	1145,0	1,05	1071,0	-4,03	1090,3	-1,45	1242,5	10,72	1221,6	12,87
3	1140,6	1,61	1086,6	-4,10	1104,5	-1,03	1121,8	1,40	1199,6	6,90	808,8	-25,27
4	871,7	-22,34	1493,4	31,80	1184,8	6,17	1204,9	8,91	971,3	-13,44	680,0	-37,17
5	798,7	-28,84	873,3	-22,92	1117,3	0,12	1072,8	-3,03	1071,3	-4,54	1292,9	19,46
6	1304,1	14,17	1169,1	5,79	973,3	-15,00	1107,4	-0,95	915,0	-18,47	1221,1	7,00
Total	6734,9		6798,4		6695,7		6637,9		6733,2		6493,7	
Average	1122,5		1133,1		1115,9		1106,3		1122,2		1082,3	
Waveform Factor:	6,928		ANSI Rectifier Circuit:		52							

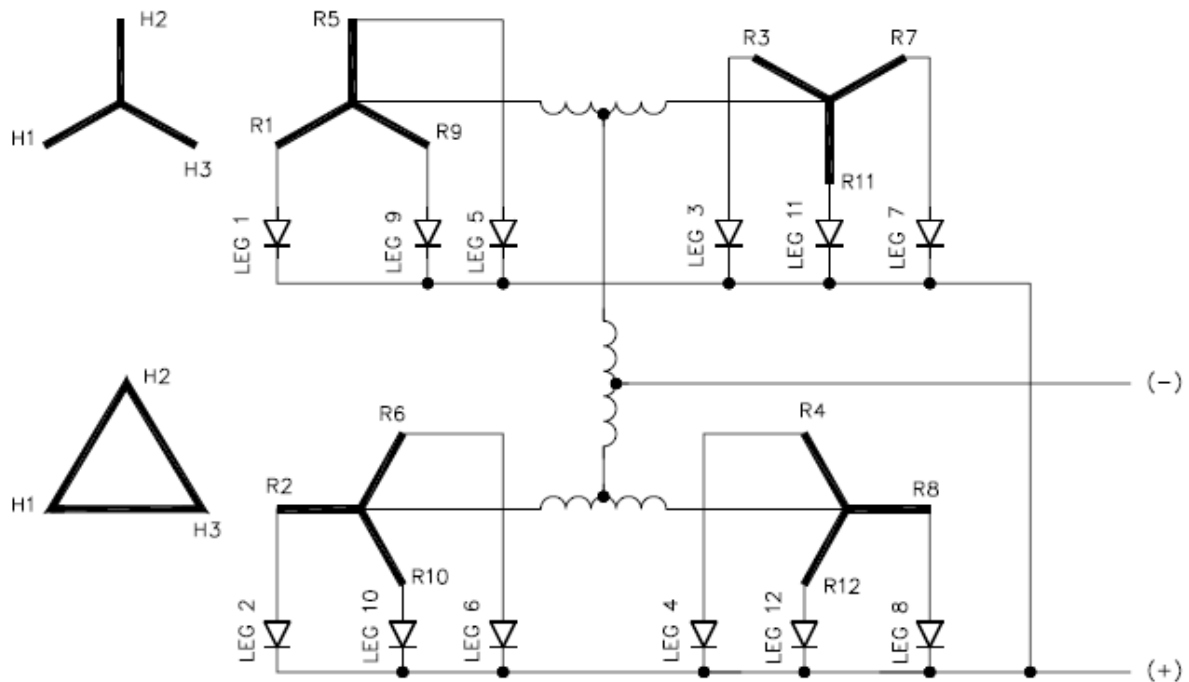


Tabela 7.19: Caso 19 – Grupo D – Barramento quadrangular.

Unit Number:	Caso 19		Date:	05/20/05	HI:	20	% Above Avg					
Rectifier Current:	43172		Time:	10:34:37 AM	LO:	-20	% Below Avg					
	Leg 1A - R1		Leg 2A - R5		Leg 3A - R9		Leg 4A - R3		Leg 5A - R7		Leg 6A - R11	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	912,1	-17,88	913,4	-13,34	1080,2	0,22	1094,2	8,15	941,5	-8,58	1083,2	9,36
2	890,1	-19,87	1173,3	11,32	1167,7	8,34	1187,5	17,38	970,7	-5,75	1121,9	13,27
3	1103,9	-0,62	1159,2	9,98	1003,7	-6,87	1068,7	5,63	916,9	-10,97	1292,7	30,51
4	1224,6	10,25	1095,5	3,94	975,9	-9,46	1071,9	5,95	1095,1	6,33	965,8	-2,49
5	1469,9	32,33	913,5	-13,33	1022,4	-5,14	778,7	-23,03	1108,0	7,58	1070,6	8,09
6	1064,0	-4,21	1069,0	1,42	1216,9	12,91	869,1	-14,09	1147,2	11,39	408,7	-58,74
<b>Total</b>	6664,6		6323,9		6466,6		6070,0		6179,4		5942,8	
<b>Average</b>	1110,8		1054,0		1077,8		1011,7		1029,9		990,5	
	Leg 1B - R2		Leg 2B - R6		Leg 3B - R10		Leg 4B - R4		Leg 5B - R8		Leg 6B - R12	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	1183,9	8,83	1428,8	34,41	1112,7	7,95	1036,3	1,80	1122,3	11,83	1059,7	7,59
2	1036,4	-4,73	1035,4	-2,60	1049,8	1,85	961,4	-5,55	983,8	-1,97	1008,0	2,34
3	988,9	-9,10	1492,6	40,41	1200,6	16,48	1197,4	17,63	899,6	-10,36	834,4	-15,29
4	1043,8	-4,05	1179,7	10,98	895,8	-13,09	974,4	-4,28	983,1	-2,04	1074,7	9,11
5	1151,6	5,86	704,7	-33,71	1092,6	6,00	1084,7	6,56	928,8	-7,46	925,7	-6,01
6	1122,6	1,07	537,0	-49,05	833,0	-22,71	853,4	-15,65	1104,0	7,19	1007,2	1,69
<b>Total</b>	6527,3		6378,3		6184,7		6107,5		6021,6		5909,8	
<b>Average</b>	1087,9		1063,0		1030,8		1017,9		1003,6		985,0	
<b>Waveform Factor:</b>	6,928		<b>ANSI Rectifier Circuit:</b>		52							

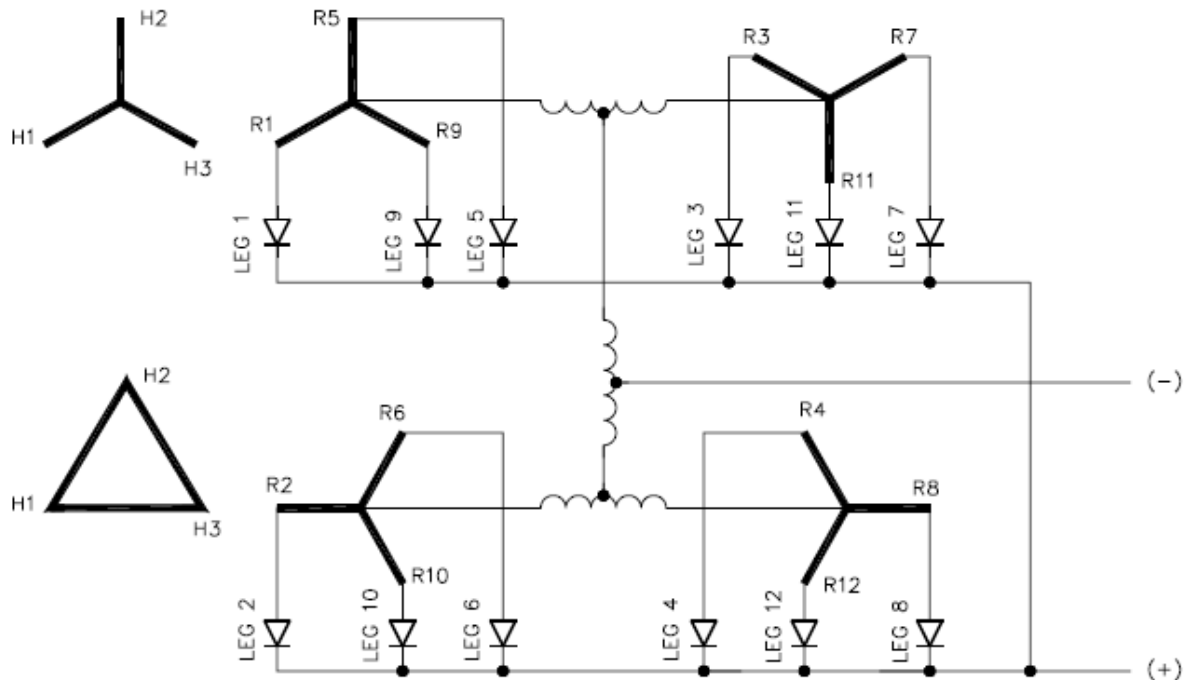


Tabela 7.20: Caso 20 – Grupo D – Barramento quadrangular.

Unit Number:	Caso 20		Date:	03/08/05		HI:	20		% Above Avg			
Rectifier Current:	17291		Time:	3:26:37 PM		LO:	-20		% Below Avg			
	Leg 1A - R1		Leg 2A - R5		Leg 3A - R9		Leg 4A - R3		Leg 5A - R7		Leg 6A - R11	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	757,2	32,89	5,7	-99,32	5,2	-99,16	535,6	-13,20	632,4	2,71	639,3	1,41
2	279,7	-50,91	1199,9	42,20	1261,1	104,28	613,2	-0,62	690,8	12,20	614,8	-2,49
3	867,5	52,25	1007,4	19,39	5,8	-99,05	604,2	-2,07	553,1	-10,17	635,9	0,87
4	374,7	-34,23	1162,2	37,73	1197,2	93,94	714,9	15,88	586,6	-4,73	631,7	0,20
<b>Total</b>	2279,1		3375,2		2469,3		2467,9		2462,9		2521,7	
<b>Average</b>	569,8		843,8		617,3		617,0		615,7		630,4	
	Leg 1B - R2		Leg 2B - R6		Leg 3B - R10		Leg 4B - R4		Leg 5B - R8		Leg 6B - R12	
Diode	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev	Current	% Dev
1	571,4	-12,40	332,2	-43,65	700,3	1,29	328,9	-28,16	530,5	-5,58	613,2	-4,23
2	375,0	-42,51	579,7	-1,65	711,2	2,87	905,9	97,84	671,2	19,47	691,6	8,03
3	880,3	34,94	744,2	26,25	660,8	-4,42	2,3	-99,50	688,1	22,46	707,1	10,44
4	782,6	19,97	701,7	19,05	693,2	0,26	594,4	29,82	357,6	-36,35	549,1	-14,24
<b>Total</b>	2609,3		2357,8		2765,6		1831,5		2247,4		2560,9	
<b>Average</b>	652,3		589,5		691,4		457,9		561,8		640,2	
	<b>Waveform Factor:</b> 6,928		<b>ANSI Rectifier Circuit:</b> 52									

