



**PECE – TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA  
ESCOLA POLITÉCNICA DA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**JOELSON GONCALVES ROCHA**

**ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS E COMPORTAMENTO DO RELÉ DE  
PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DI/DT – DDL, DA LINHA 3 – VERMELHA  
DO METRÔ DE SÃO PAULO – UMA VISÃO DE MANUTENÇÃO**

**São Paulo  
2016**

**JOELSON GONCALVES ROCHA**

**ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS E COMPORTAMENTO DO RELÉ DE  
PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DI/DT – DDL, DA LINHA 3 – VERMELHA DO  
METRÔ DE SÃO PAULO – UMA VISÃO DE MANUTENÇÃO**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Tecnologia Metroferroviária

**São Paulo  
2016**

**JOELSON GONCALVES ROCHA**

**ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS E COMPORTAMENTO DO RELÉ DE  
PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DI/DT – DDL, DA LINHA 3 – VERMELHA DO  
METRÔ DE SÃO PAULO – UMA VISÃO DE MANUTENÇÃO**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Tecnologia Metroferroviária

Área de Concentração:  
Engenharia Elétrica

Orientador:  
Prof. Dr. Lourenço Matakas Junior

**São Paulo  
2016**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

Rocha, Joelson Gonçalves

Estudo das Características e Comportamento do Relé de Proteção de Sobrecorrente  $di/dt$  – DDL, da Linha 3 – Vermelha do Metrô de São Paulo - Uma visão de Manutenção / J. G. Rocha -- São Paulo, 2016.

33 p.

Monografia (Especialização em Especialização em Tecnologia Metroferroviária) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1. Proteção DDL 2. Procedimento 3. Manutenção 4. Teste 5. Tecnologia  
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

## **DEDICATÓRIA**

À minha esposa Ana Cláudia e aos meus filhos, Raquel e Mateus, pelo apoio, carinho, incentivo e compreensão especialmente durante minhas ausências.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Lourenço Matakas Junior, pelo empenho, dedicação, apoio e compreensão dos nossos propósitos, bem como pela orientação precisa e desafiadora.

Aos professores do Curso de Especialização em Tecnologia Metroferroviária, por seu empenho e dedicação em mais esta etapa de nossa formação acadêmica e profissional.

Aos colegas da 5ª Turma do Curso de Especialização em Tecnologia, pela amizade e companheirismo.

À Companhia do Metropolitano de São Paulo pela oportunidade de integrar a 5ª Turma do Curso de Especialização em Tecnologia Metroferroviária.

Aos gestores da Companhia do Metropolitano de São Paulo pela confiança e por acreditar em nossa capacidade de realização deste curso, também pelo apoio e compreensão.

Aos colaboradores da Companhia do Metropolitano de São Paulo, pelo apoio, empenho e colaboração para o desenvolvimento deste trabalho, especialmente ao Marco Antonio, Carlos Magno, Máximo, Dyego, Antoni, Arnóbio, Jonas, Constantinos, Marcos Aparecido, Luis Carlos, Alfonso, Amaral, Gerson, Atílio, Pedro Scudeler, e a tantos outros envolvidos diretamente e indiretamente.

A Deus, pelo Dom da Vida e pela semente do interesse da busca pelo novo.

*“A glória de Deus é ocultar certas coisas; tentar descobri-las é a glória dos reis”*

*Provérbios 25.2*

## **RESUMO**

O Metrô de São Paulo possui em suas Subestações Retificadoras um sistema de proteção em corrente contínua de alta relevância para oferecer confiabilidade, disponibilidade e segurança aos usuários.

Neste contexto, o presente trabalho se propõe a avaliar o modelo de manutenção atual do relé DDL da Linha 3 – Vermelha do Metrô de São Paulo, propor novos roteiros e procedimentos, dentro de uma nova visão de manutenção, bem como apresentar um estudo comparativo do relé de proteção atual com outras tecnologias já existentes no Metrô de São Paulo.

**Palavras-chave:** Proteção. Modelo. DDL. Procedimento. Manutenção. Teste. Tecnologia.

## **ABSTRACT**

The São Paulo Metro has in its Substations Rectifiers a protection system in direct current of high relevance for reliability, availability and security to users.

In this context, this paper proposes to evaluate the model the current maintenance model DDL relay Line 3 - Red of the São Paulo Metro, propose new scripts and procedures within a new maintenance view, and present a comparative study of the current protection relay with other existing technologies in the São Paulo Metro.

**Keywords:** Protection. Model. DDL. Procedure. Maintenance. Test. Technology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da estrutura organizacional do trabalho.....	5
Figura 2 - Vista frontal do relé Detector de Defeito de Linha – DDL.....	7
Figura 3 - Vista frontal do relé Detector de Defeito de Linha - DDL com seus botões, conexões e suas indicações (METRÔ, 2003). .....	7
Figura 4 - Esquema de conexões, níveis de tensões e relação do transdutor. DDL. (BBC, 1981).....	9
Figura 5 - Diagrama de blocos de funcionamento do DDL (METRÔ, 2003).....	10
Figura 6 - Corrente de linha monitorada em X6 (METRÔ, 2003). .....	10
Figura 7 - Composição das rampas E e F, disparadas na corrente de linha (METRÔ, 2003).....	12
Figura 8 - Gráfico da região de atuação da rampa E (METRÔ, 2003). .....	12
Figura 9 - Gráfico da região de atuação da rampa F (METRÔ, 2003).....	13
Figura 10 - Quantidade de ocorrências por tipo de defeito.....	16
Figura 11 - Quantidade de ocorrências por tipo de reparo.....	17
Figura 12 - Feeder em posição de teste, extraído e fora do cubículo. .....	19
Figura 13 - Módulo Testador do relé DDL.....	20
Figura 14 - Esquema elétrico de testes do DDL (METRÔ, 2003).....	20
Figura 14 - Módulo de análise Dia-IGT - Relé Dia.....	24
Figura 16 - Sitrás PRO Simens (SIEMENS, 2014).....	26
Figura 17 - Características do Curto-Circuito (SIEMENS, 2014).....	27

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Informações sobre a situação do Sistema (Metrô 2,2016). ....	2
Tabela 2 - Demanda de passageiros na rede do Metrô. (Metrô, 2015). ....	2
Tabela 3 - Comparativo dos modelos de relés de proteção em sistemas de tração.	29

## LISTA DE SIGLAS

ΔI	Parâmetro para Determinação do Limite do Incremento de Corrente
ΔI/ΔT	Variação da Corrente em Função da Variação do Tempo
ABB	Asea Brown Boveri
ART	Estação Artur Alvim
BBC	Brown Boveri Company
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCO	Centro de Controle Operacional
CIM	Central de Informações da Manutenção
CTE	Coordenadoria Técnica de Estudos e Informação
DDL	Relé de Detecção de Defeito de Linha
DIA-IGT	Relé de Diagnóstico e Proteção
E	Parâmetro de Detecção do Início do Incremento de Corrente
F	Parâmetro de Detecção do Final do Incremento de Corrente
F11	Feeder 11
F21	Feeder 21
F31	Feeder 31
F41	Feeder 41
GOP	Gerência de Operações
INH	Sinalização de Detecção Bloqueada
ISO 14001	Organização de Normas Internacionais - Sistemas Ambientais
ISO 9001	Organização de Normas Internacionais - Sistemas de Qualidade
MC	Manutenção Corretiva
MIU	Módulo de Interface das Unidades
MP	Manutenção Preventiva
Nb	Número de Disparos por Unidade de Tempo
OC	Ocorrência
OHSAS 18001	Organização de Normas Internacionais - Sistemas de Segurança e Saúde Ocupacional
OPC	Departamento de Operação Centralizada e Tráfego
PCA	Estação Patriarca
S/E	Subestação
TAT	Estação Tatuapé
VPA	Estação Guilhermina-Esperança
VTD	Estação Vila Matilde
YBF	Subestação Primária de Barra Funda
YPS	Subestação Primária de Pedro Segundo
YTA	Subestação Primária de Tatuapé
YVP	Subestação Primária de Vila Esperança

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 OBJETIVO.....	3
1.2 MOTIVAÇÕES PARA O TRABALHO.....	3
1.3 JUSTIFICATIVA .....	4
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	5
2.1 SISTEMAS DE PROTEÇÃO .....	6
2.2 RELÉS DETECTOR DE DEFEITO DE LINHA- DDL.....	6
2.2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	8
2.2.2 PARÂMETROS DE AJUSTE DO DDL .....	13
3 ANÁLISE DOS PROCESSOS DE MANUTENÇÃO.....	14
3.1 HISTÓRICO DE IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS RELÉS DDL.....	14
3.2 PROCESSOS DE MANUTENÇÃO DO DDL.....	14
3.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA (MC) .....	14
3.2.1.1 ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS (OC).....	15
3.2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA (MP).....	17
3.2.2.1 EQUIPES DE MANUTENÇÃO .....	17
3.2.2.2 MÉTODOS, ROTEIROS E PROCEDIMENTOS.....	18
3.2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA .....	21
3.3 NOVO MODELO PARA PARAMETRIZAÇÃO E TESTES DE CAMPO E LABORATÓRIO .....	21
3.4 PROPOSTAS DE ALTERAÇÕES NOS PROCEDIMENTOS, ROTEIROS, ROTINA.....	22
4 CONTRAPOSição DO SISTEMA DDL COM SISTEMAS MAIS MODERNOS....	23
4.1 MÓDULO DE ANÁLISE DIA-IGT - INEPAR .....	23
4.2 SITRAS .....	26
4.2.1 SOBRECORRENTE (IMAX) .....	27
4.2.2 SURTO DE CORRENTE ( $\Delta I$ ) .....	28
4.2.3 VARIAÇÃO DE CORRENTE ( $di/dt$ ).....	28
4.2.4 CORRENTE POR TEMPO DEFINIDO (IDTM).....	28
5. PROPOSTA DE PROJETO FUTURO.....	30
6 CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32

## 1 INTRODUÇÃO

A Companhia do Metropolitano de São Paulo- Metrô foi fundada em 24/04/1968, teve sua volta inaugural na data 08/09/1972, no trecho que compreende as estações de Jabaquara e Saúde, pertencentes à linha norte-sul, atualmente Linha 1 – Azul.

A Linha Leste-Oeste teve o início das obras em 01/03/1975 e o início da operação comercial em 10/03/1979, no trecho entre as estações Praça da Sé e Brás. Sua conclusão final, que abrange o trecho entre as estações Barra Funda e Corinthians Itaquera, atualmente chamada de Linha 3 – Vermelha, aconteceu em 01/10/1988.

A malha metroviária de São Paulo em operação compreende 77,4 Km, 68 estações e 168 trens, distribuídos em 6 linhas sob gestão do governo do estado, Incluindo a Linha 4 Amarela. (Metrô 1, 2016).

A tabela 1 disponibiliza informações da rede como segue:

<b>INFORMAÇÕES SOBRE O SISTEMA / SITUAÇÃO - FEVEREIRO 2016</b>						
Linhas	1-Azul	2-Verde	3-Vermelha	5-Lilás	15-Prata	Rede
Início da Operação Comercial	1974	1991	1979	2002	2015	-
Estações (1)	23	14	18	7	2	61
Extensão atual das linhas (KM)	20,2	14,7	22	9,3	2,3	68,5
Estações de transferências (1)	3	3	1	-	1	4
Estações de integração com a Linha 4-Amarela	1	1	1	-	-	3
Estações de integração com a CPTM	1	1	4	1	-	7
Estações com terminais de ônibus urbanos (1)	6	2	10	5	-	22
Estações com terminais rodoviários	2	-	1	-	-	3
Número de carros da frota (2)	348	162	342	48	28	928
Números de carros utilizados nas horas de pico	240	132	240	42	7	667
Intervalo mínimo entre trens (segundos)	119	144	104	260	436	-
Velocidade máxima (Km/h)	87	87	87	68	90	-
Velocidade comercial (Km/h)	32	33	40	38	52	-
Fonte: GOP/OPC/CTE						
(1) As estações de transferência foram computadas nas linhas que atendem porém uma só vez no total da rede.						
(2) Cada trem possui formação fixa de 6 carros, exceto a Linha 15-Prata cuja formação é de 7 carros.						

Tabela 1 - Informações sobre a situação do Sistema (Metrô 2,2016).

A demanda em 2014 foi apresentada na tabela 2.

<b>DEMANDA DE PASSAGEIROS POR LINHA - ANO: 2015 (EM MILHARES)</b>						
DEMANDA	Linha 1-Azul	Linha 2-Verde	Linha 3-Vermelha	Linha 5-Lilás	Linha 15-Prata	Rede
Total	309.774	150.025	358.960	79.748	521	899.028
Média dos dias úteis	1.059	531	1.211	269	5	3.073
Média dos Sábados	578	225	684	158	2	1.641
Média dos Domingos	325	136	414	83	1	959
Máxima Diária	1.142	573	1.288	292	6	3.288
Fonte: GOP/OPC/CTE						

Tabela 2 - Demanda de passageiros na rede do Metrô. (Metrô, 2015).

Atualmente o Metrô transporta cerca de 4,7 milhões de passageiros diariamente distribuídos em 6 linhas. Para que este volume de passageiros seja transportado, o sistema de alimentação elétrica do Metrô é composto por subestações primárias, que tem por finalidade rebaixar a tensão fornecida pela distribuidora de 138kV ou 88kV para 22kV. Esta alimentação é distribuída para, Subestações Retificadoras e Auxiliares. As Retificadoras tem o papel de rebaixar a tensão de 22kV para 640Vca que é retificada atingindo 750Vcc, para a energização do terceiro trilho, responsável pela alimentação elétrica dos trens. As Auxiliares rebaixam a tensão de 22kV para 460Vca ou 220Vca para alimentar eletricamente equipamentos como Escadas Rolantes, Sistemas de Iluminação, Elevadores, Equipamentos de Ar Condicionado, Sistemas de Ventilação entre outros tantos Equipamentos Auxiliares das estações e pátios de manutenção.

Em 2014, o consumo anual de energia elétrica se manteve estável em torno de 600 mil MWh, sendo mais de 90% desse total para a operação dos serviços de transporte (Metrô, 2014).

## **1.1 OBJETIVO**

Um objetivo deste trabalho é analisar os processos de manutenção atuais do relé DDL da Linha 3 – Vermelha e propor alternativas de processos mais confiáveis e eficientes. Também se propõe a descrever de forma sucinta, outros dois sistemas mais modernos de proteção em tração CC, e apresentar uma comparação entre os sistemas.

## **1.2 MOTIVAÇÕES PARA O TRABALHO**

A principal motivação para o presente trabalho é o desafio de analisar um equipamento de proteção dos anos 1970, porém ainda operacional, com extrema importância no sistema de alimentação elétrica dos trens, especialmente face aos novos cenários oriundos do processo de modernização do Metrô de São Paulo.

A possibilidade de utilização de novos recursos tecnológicos vem ao encontro dos anseios das equipes de manutenção de campo e laboratório, que objetivam customizar, aumentar a produtividade, a qualidade e a confiabilidade dos processos de manutenção dos ativos da companhia.

A busca da melhoria contínua dos processos é premissa da Gerência de Manutenção, que motiva o corpo técnico a rever seus processos de forma a obter resultados cada vez mais significativos.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

A partir de 2009 iniciou-se o processo de modernização do Material Rodante, com a reforma dos trens antigos e aquisição de novos trens, bem como dos Sistemas de Sinalização instalados nas linhas 1,2 e 3.

Com a modernização do Sistema de Tração, o Chopper (Sistema de Controle Tracionário por chaveamento de Tiristores) e os motores de corrente contínua, foram substituídos por inversores de corrente e motores de corrente alternada. Foram agregados também equipamentos de ar condicionado e outros subsistemas que alteraram as características das curvas das cargas demandadas ao Sistema Elétrico. Diante deste novo cenário, verificou-se a necessidade de aumentar o número de Subestações Retificadoras da Linha 1 e aumentar a capacidade de fornecimento de energia pelo Terceiro Trilho (barra contínua paralela aos trilhos de rolamento, responsável pelo fornecimento de potencial positivo ao trem). Na linha 3 Vermelha, não ocorreu aumento da capacidade destas Subestações e nem a necessidade de alteração nos Sistemas de Proteção. Constatou-se por meio de ocorrências abertas pela operação, que estavam ocorrendo interrupções na alimentação elétrica dos trens, causadas por atuações do DDL, devido aos parâmetros estabelecidos, inadequados às novas características de carga do sistema.

Este novo quadro trouxe a necessidade de reparametrizar os relés DDL a fim de mitigar os transtornos operacionais, com o desafio de manter a funcionalidade do relé, por meio de novos valores de ajustes propostos.

Assim, tem-se o desafio de verificar se os novos parâmetros definidos, de fato, atendem às necessidades de proteção do sistema, sem causar transtornos operacionais.

O uso de instrumentos e tecnologias para o estudo do Sistema de Tração podem oferecer novos métodos de análise e assim propor novas formas para estabelecer ajustes de parametrização e novos métodos ou modelos mais eficientes e confiáveis para os processos de manutenção em campo e em laboratório, bem como propor novos roteiros e procedimentos.

## 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado conforme figura 1, a seguir.

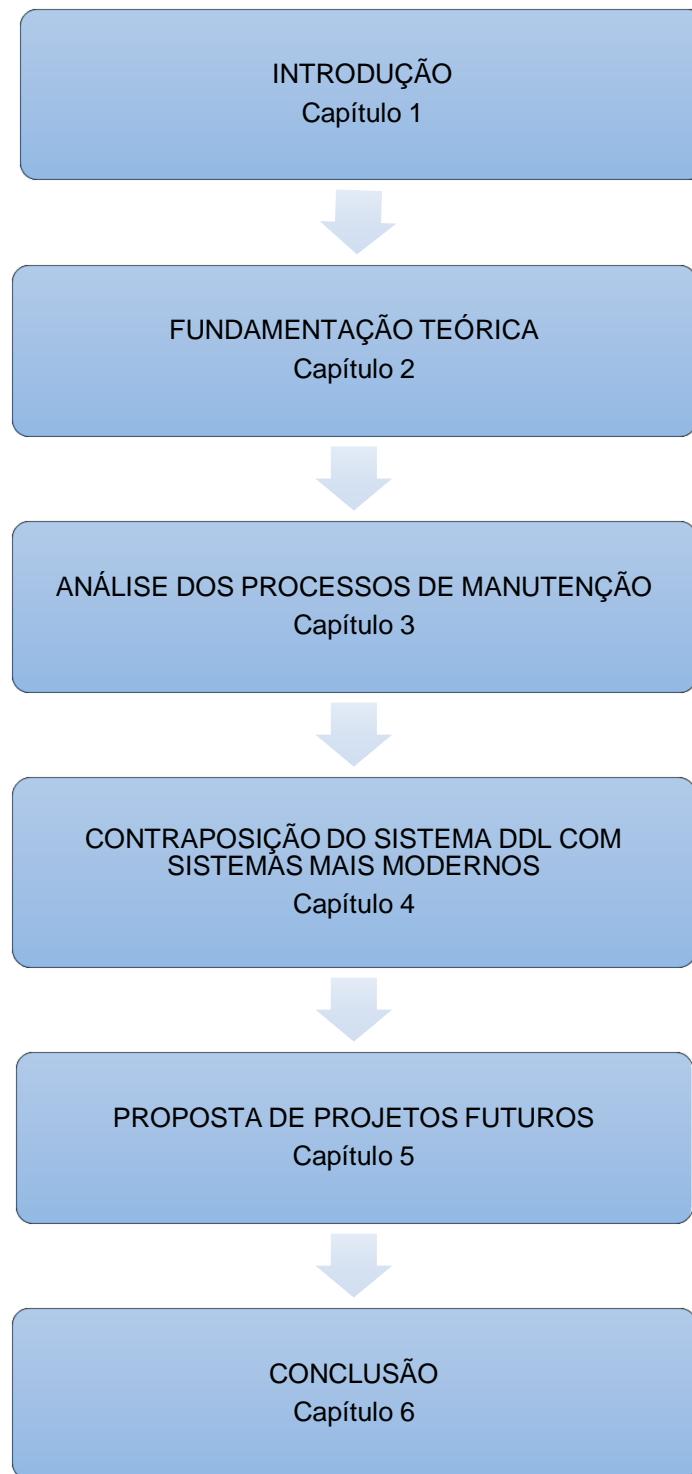


Figura 1 - Fluxograma da estrutura organizacional do trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem por finalidade fornecer subsídios conceituais para que os leitores tenham condições de vislumbrar o cenário no qual está instalado o relé DDL, bem como apresentar a descrição das suas principais características de funcionamento e seus parâmetros.

### 2.1 SISTEMAS DE PROTEÇÃO

A proteção de sistemas elétricos de potência é feita pelos relés. Os relés são sensores que, estrategicamente colocados no sistema, efetuam a proteção do mesmo. Quando há perturbações ou um defeito no sistema que sensibilize o relé, o mesmo atua, isolando o defeito do resto do sistema (KINDERMANN, 1999). No Metrô de São Paulo, a evolução dos relés de proteção, tanto em CA quanto em CC, passa pelos modelos eletromecânicos, que foram utilizados no Metrô na Linha 1 azul na década de 70, e ainda estão em funcionamento. Nos anos 1980, os primeiros relés estáticos ou de estado sólido foram instalados na Linha 3 – Vermelha. O principal avanço aconteceu na maior precisão dos ajustes, nos tempos de atuação e na indicação das faltas através de led's.

Com a expansão da linha 1 em 1993, foram instalados os primeiros relés microprocessados, onde o maior avanço foi a criação de um relé de proteção com várias funções.

### 2.2 RELÉS DETECTOR DE DEFEITO DE LINHA- DDL

Na Linha 3 – Vermelha do Metrô de São Paulo, os relés de proteção DDL, modelo ACA da Brown Boveri Company, que estão inseridos nos carrinhos dos disjuntores UR36, tem por finalidade realizar a proteção di/dt.

Suas principais funções são:

- Detectar curto-circuito de baixa intensidade;
- Detectar grandes variações di/dt, com possibilidade de interrupção da alimentação elétrica, mesmo com valores inferiores às correntes de tração.

As figuras 2 e 3 apresentam respectivamente o DDL da ABB em sua vista frontal simples e em representação gráfica com seus botões, conexões e suas indicações.



Figura 2 - Vista frontal do relé Detector de Defeito de Linha – DDL.

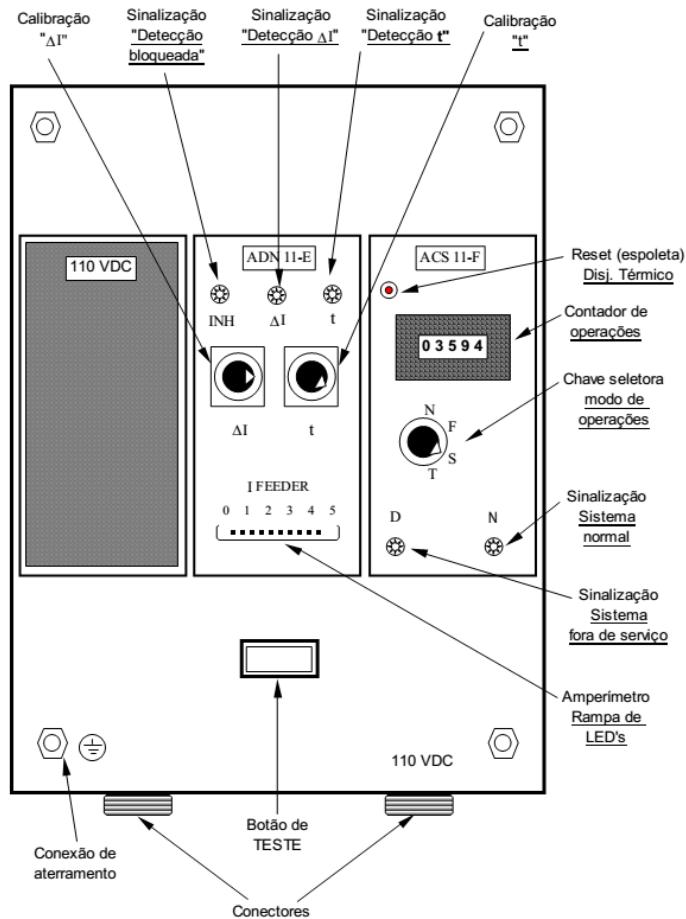


Figura 3 - Vista frontal do relé Detector de Defeito de Linha - DDL com seus botões, conexões e suas indicações (METRÔ, 2003).

O módulo à esquerda possui conectores responsáveis pelo recebimento e distribuição da tensão de alimentação de 110 a 125Vcc, que manterão os demais módulos em funcionamento.

No módulo central estão localizados os seguintes potenciômetros e indicadores:

- Potenciômetro de ajuste  $\Delta I$ ;
- Potenciômetro de ajuste  $t$ ;
- Interno ao módulo, potenciômetro de ajuste E;
- Interno ao módulo, potenciômetro de ajuste F;
- Interno ao módulo, potenciômetro de ajuste m;
- Led de indicação de detecção por  $\Delta I$ ;
- Led de indicação de bloqueio da detecção INH;
- Led de indicação de detecção por  $t$ ;
- Barra de led's que indicam o aumento ou diminuição da corrente.

No módulo da direita encontram-se:

- Contador de atuações, onde há desligamentos por  $\Delta I$  e  $t$ ;
- Botão de reset da espoleta do térmico do relé;
- Led que indicação N, operação normal do DDL;
- Led que indicação D, defeito no DDL;
- Chave seletora de modo de operação do DDL:
  - N - Normal;
  - F - Simulação de defeito - manda uma ordem de desligamento para o disjuntor;
  - S – Estatística - a unidade detecta os defeitos, porém não desliga o disjuntor;
  - T - Teste do circuito - simula um defeito interno e atua a proteção térmica do relé após 12 segundos.

## 2.2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Para que o DDL realize a análise das variações de corrente fornecidas pela subestação à sua carga, existe um shunt com relação de 3000A/60mV, conectado em série ao barramento de saída do disjuntor, cuja finalidade é transmitir esta

informação à unidade MIU (Módulo de Interface das Unidades), que também tem a finalidade de isolar galvanicamente os circuitos e criar uma réplica da medição real e transmitir ao DDL.

A figura 4 ilustra as conexões existentes do MIU com o Shunt e com o DDL.

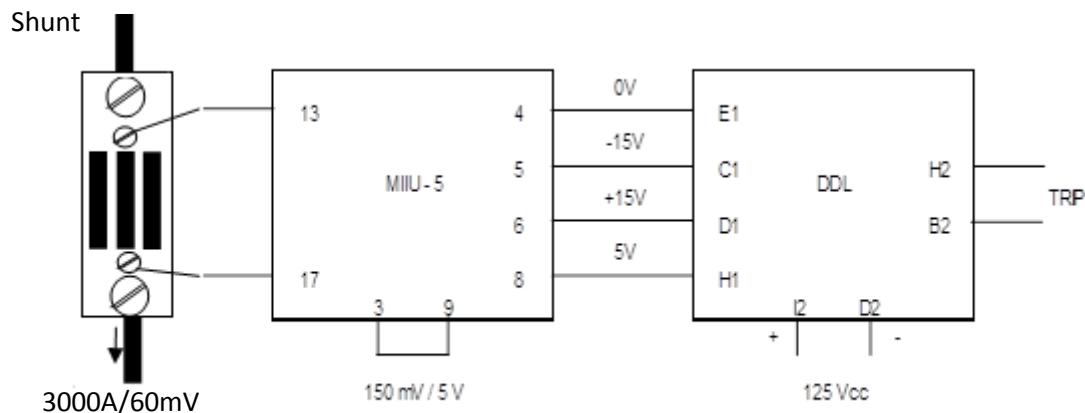


Figura 4 - Esquema de conexões, níveis de tensões e relação do transdutor. DDL. (BBC, 1981).

A corrente que alimenta o terceiro trilho conhecida por corrente de linha, passa através de um shunt de relação 3000A/60mV que esta conectado em série como barramento de 750Vcc do disjuntor.

A tensão de saída do shunt é injetada no MIU-5. O sinal no MIU-5 é convertido e amplificado com ganho controlado, resultando em uma tensão que é réplica da corrente de linha, monitorada no terminal X1 e que tem amplitude máxima de  $\pm 5\text{Vcc}$ . No terminal X6 a mesma tensão é monitorada após ser filtrada por um filtro passa baixa.

A figura 5 ilustra o diagrama de blocos de funcionamento do DDL.

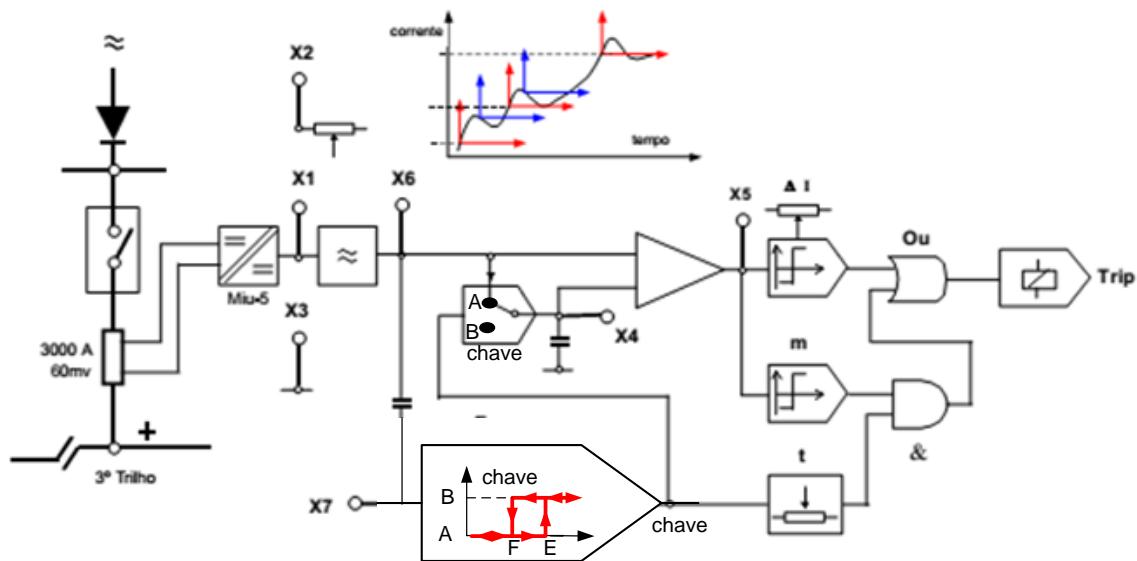


Figura 5 - Diagrama de blocos de funcionamento do DDL (METRÔ, 2003).

A corrente de linha é formada de rampas aperiódicas de subidas e descidas, figurando uma imagem típica da movimentação dos trens, que ora tracionam, ora freiam em um determinado trecho da via, conforme representado na figura 6.

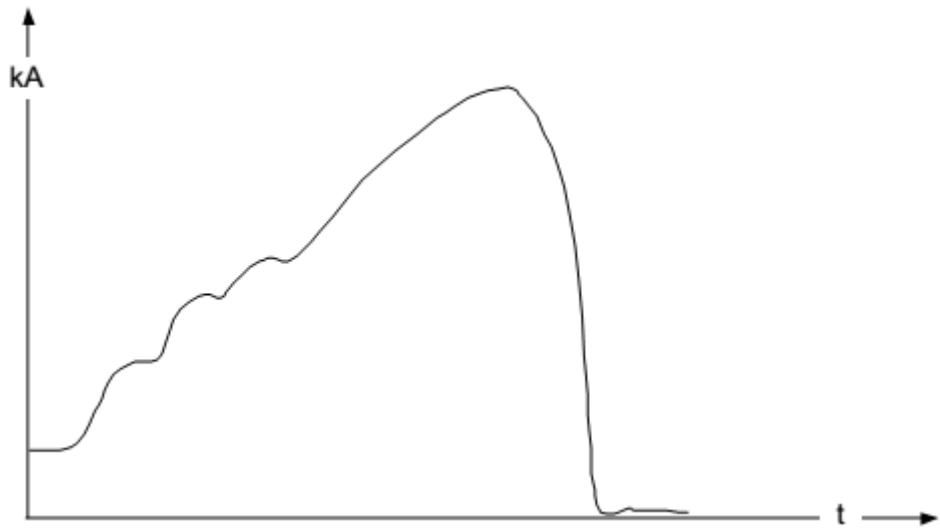


Figura 6 - Corrente de linha monitorada em X6 (METRÔ, 2003).

A corrente de linha monitorada  $i(t)$  passa por circuito diferenciador (capacitor entre X6 e X7) que produzem o sinal  $di/dt$ . Este sinal será aplicado ao comparador por histerese (figura 5). Existem basicamente 4 modos de operação, descrita seguir,

baseados nos parâmetros E e F, onde E é o valor de  $di/dt$  que inicia o algoritimo de proteção, que poderá levar ao trip, e F ( $F < E$ ) é o valor tal que se  $di/dt < F$ , interrompe-se o processo de trip.

- a)  $di/dt < F < E$ : corresponde à operação sem falha. A chave fica na posição A, que garante  $X4=X6$ , que ao passar pelo amplificador de diferença resulta em  $X5=0$ .
- b)  $di/dt > E > F$ : corresponde a uma possibilidade de falha. A chave passa para a posição B, de modo que X4 armazena o valor da corrente no instante em que  $di/dt > E$ , e X5 passa a apresentar o incremento de corrente a partir deste instante. Se este incremento ultrapassar o valor ajustado no parâmetro  $\Delta I$ , ocorrerá trip.
- c)  $F < di/dt < E$ : esta situação corresponde à zona de histerese e poderá apresentar duas ações distintas:
  - c1: se o relé estava na condição “a” e passa para a condição “c”, a chave continua na posição A, de modo que  $X5=0$ ,
  - c2: se o relé estava na condição “b” e passa para a condição “c”, a chave continua na posição B, de modo que X5 continua a contabilizar o incremento de corrente, que poderá levar ao trip caso este seja maior que  $\Delta I$ .

Cumpre ressaltar que se o sistema estava na situação “b” e passar para a situação “a”, interrompe-se o processo de contabilização de  $\Delta I$  (reset do relé), que só será reiniciado quando entrar novamente na condição “b”.

Sendo assim, em outras palavras, a rampa E é caracterizada por uma íngreme corrente em um intervalo de tempo ( $\Delta i/\Delta t$ ). Este evento pode acontecer a partir de um ponto qualquer da composição da corrente de linha e dispara a medição do DDL. A rampa F é aquela caracterizada por uma suave declinação de corrente, cuja grandeza é um valor inferior ao estabelecido no parâmetro E. A função da rampa F consiste em resetar a medição do DDL, quando ocorre o declínio da variação da corrente de linha em função do tempo até atingir um valor inferior ao ajustado como parâmetro F.

Portanto, o princípio de funcionamento do relé DDL consiste no monitoramento das rampas E e F, e consequente disparo ou não do trip (comando de desligamento), conforme ilustrado na figura 7.

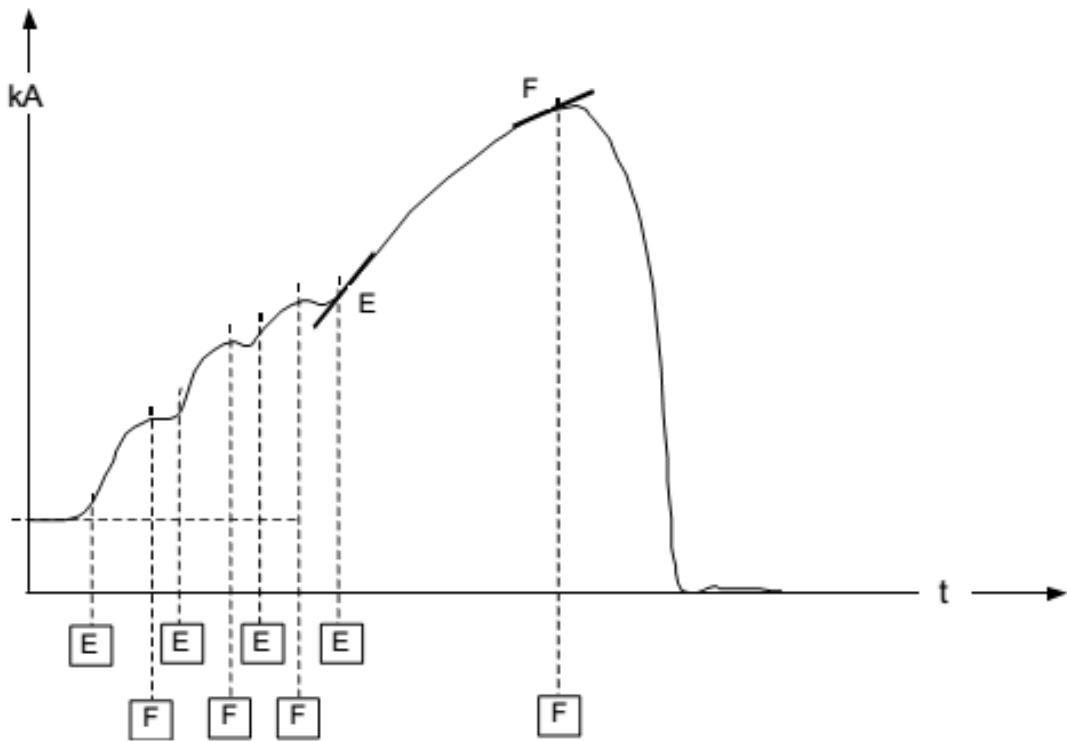


Figura 7 - Composição das rampas E e F, disparadas na corrente de linha (METRÔ, 2003).

O gráfico da figura 8 apresenta as regiões de atuação da rampa E. Sempre que tivermos a condição de que a rampa da corrente  $di/dt$  for maior ou igual ao valor ajustado de rampa para o parâmetro E, consideraremos que o relé é habilitado para o desligamento, ou seja  $E=1$ .

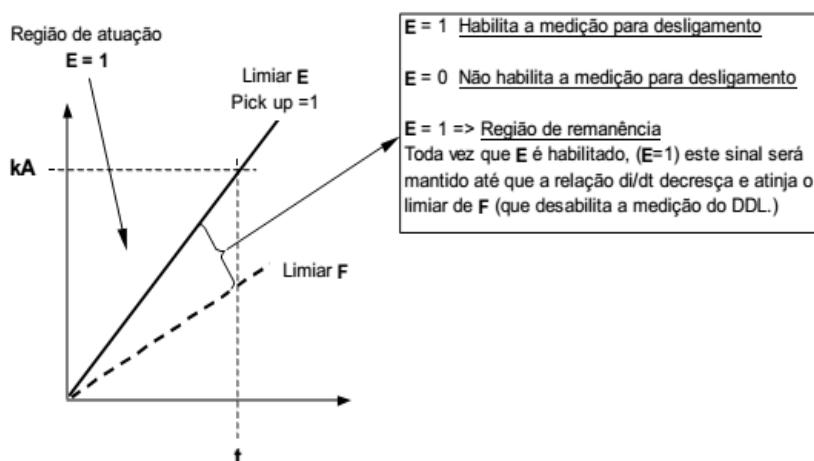


Figura 8 - Gráfico da região de atuação da rampa E (METRÔ, 2003).

Para a condição de que a rampa da corrente  $di/dt$  for menor ao valor ajustado de rampa para o parâmetro, consideraremos que o relé é desabilitado , ou seja  $F=0$ , conforme o gráfico da figura 9.

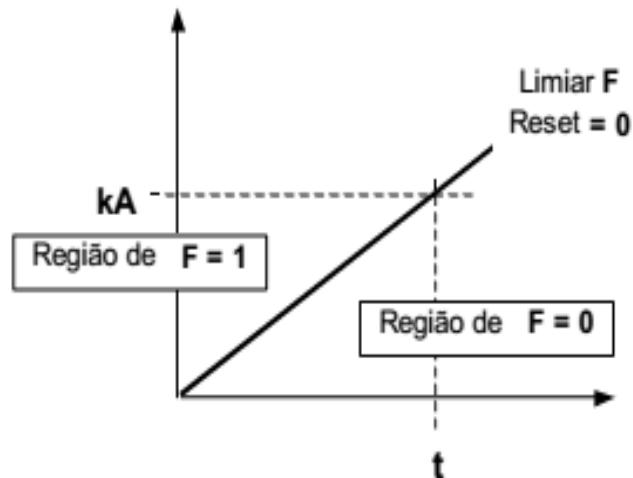


Figura 9 - Gráfico da região de atuação da rampa F (METRÔ, 2003).

## 2.2.2 PARÂMETROS DE AJUSTE DO DDL

**Parâmetro E:** É responsável pela detecção do início do incremento de corrente.

A detecção do início do incremento ocorre quando a inclinação da corrente resulta de uma variação abrupta em função da tração ou de um defeito, e este ultrapassa o valor parametrizado para E, neste instante terá o início da medição do incremento de corrente.

**Parâmetro F:** É responsável pela detecção do final do incremento de corrente.

A detecção do final do incremento de corrente ocorre quando a inclinação da corrente atinge o valor parametrizado para F, sendo assim a medição do incremento de corrente  $\Delta I$  é interrompido.

**Parâmetro  $\Delta I$ :** É responsável por determinar o limite do incremento de corrente, ou seja, o instante de atuação do disjuntor, a partir do ponto onde  $\Delta i/\Delta t > E$ .

A parametrização deste deve ocorrer com um valor capaz de interpretar a partida dos trens de modo a não gerar desligamentos indevidos.

Além dos parâmetros citados, o DDL possui os parâmetros m e t, que estão desabilitados no sistema de Tração do Metrô de São Paulo, e por isto, não são objeto deste trabalho.

### **3 ANÁLISE DOS PROCESSOS DE MANUTENÇÃO**

#### **3.1 HISTÓRICO DE IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS RELÉS DDL**

Os primeiros relés DDL foram introduzidos no Metrô no início dos anos 1980, na Linha 3, então conhecida como Linha Leste/Oeste ou Linha L/O, fornecidos pela BBC – Brown Boveri Electric Company, que depois de algum tempo depois tornou-se ABB – Asea Brown Boveri.

A princípio os DDLs vinham instalados nos carrinhos dos Feeders, como ainda é atualmente, mas estavam inoperantes.

Durante toda a década de 1980 e princípio dos anos 1990, estavam ligados, porém no modo S, ou estatística (conforme item 2..4), ajustados conforme projeto. Iniciaram-se então os primeiros estudos sobre as características de correntes de carga e de curto-círcuito, e os testes foram realizados em diversas faixas de ajustes. Neste período diversas fontes de corrente contínua DDL apresentaram defeito, o que levou a ABB a pesquisar uma nova fonte como solução para o problema, com o apoio da engenharia do Metrô.

Em 1994, a ABB chegou a um consenso a respeito de uma nova fonte desenvolvida e testada em campo. Com a aprovação do Metrô, foram reinstalados os DDL com as novas fontes. Depois de um período de seis meses de observação e testes, em conjunto com a ABB, foram colocados em operação, já com os ajustes de E e F em 1 e 3, respectivamente, como ainda é atualmente.

#### **3.2 PROCESSOS DE MANUTENÇÃO DO DDL**

Os processos de manutenção no Metrô de São Paulo dividem-se em Manutenção Corretiva, Preventiva e Preditiva, e são certificados por meio das Normas ISO 9001 – Qualidade, ISO 14001 – Ambiental e OHSAS 18001 – Segurança e Saúde Ocupacional (GMT, 2015).

##### **3.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA (MC)**

O CCO – Centro de Controle Operacional é uma central da Companhia que monitora continuamente e de forma centralizada todos os sistemas de operação do Metrô, através de painéis de controle de operações/movimentação de trens, de estações,

fluxo de passageiros, segurança, e operação do Sistema de Alimentação Elétrica. O CCO das linhas 1, 2 e 3 fica na Rua Vergueiro, entre as estações Paraíso e Vergueiro. Em caso de falha no funcionamento do Sistema de Alimentação Elétrica, o operador do painel de elétrica do CCO verifica um alarme indicativo do problema e registra a abertura de ocorrência no sistema de gestão de Ocorrências (software), e comunica à Central de Informações da Manutenção. Esta envia uma equipe de técnicos para atendimento da ocorrência, geralmente em caráter de urgência. A equipe de Manutenção Corretiva atua em regime de escala de revezamento, 24 horas por dia.

Após o atendimento da ocorrência, esta é finalizada no sistema de controle de falhas, com apontamento das intervenções, e diagnóstico da natureza da ocorrência, que pode ser por falha real no equipamento ou decorrente de outro sistema, como por exemplo, um defeito no trem que causa uma abertura do Feeder por  $di/dt$ .

O software de registro, controle e apontamento de ocorrências é acessível às Gerências de Manutenção e Operação, e serve também de fonte de informações para controle estatístico.

### **3.2.1.1 ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS (OC)**

O conhecimento das OCs e falhas no DDL são de grande importância para o acompanhamento do desempenho de todo o Sistema de Tração.

A Gerência de Manutenção do Metrô tem um rigoroso sistema de acompanhamento de Desempenho mensal da Manutenção de Equipamentos e seu reflexo junto à Operação do Sistema.

Um destes indicadores é o de Duração da Restrição na Operação Comercial, que visa controlar a imposição de restrição na circulação de trens em função de problemas no sistema elétrico nas S/Es retificadoras e auxiliares.

Porém, mesmo que este indicador mostre um número baixo, e algumas vezes na Linha 3 este indicador é igual a zero, não quer dizer exatamente que eventuais falhas por  $di/dt$  ou internas ao DDL que causem sua atuação, não causaram transtornos à Operação ou circulação dos trens. Muitas falhas obrigam os operadores que controlam o sistema elétrico remotamente a partir do CCO – Centro de Controle Operacional, ou mesmo operadores alocados nas estações, a se desdobrarem em manobras, muitas vezes causando retenção na circulação dos

treins, o que gera desconforto aos usuários e riscos à continuidade e confiabilidade do sistema, embora não causem restrição na circulação ou operação comercial diretamente, pois através desta manobra é possível recuperar a oferta de trens prevista.

As áreas de Engenharia emitem relatórios periódicos com os índices de realização de MP e de atendimento de Ocorrências para análise em reuniões gerenciais de desempenho.

As áreas de MP – Campo também fazem reuniões mensais de avaliação de Ocorrências e de questões relevantes ao processo, com o propósito de conhecer o que acontece no dia da dia e também de identificar, propor e implantar melhorias.

As equipes de campo conhecem a análise de resultados das suas atividades e tem livre acesso ao banco de dados do sistema de controle de ocorrências, e assim também podem acompanhar a medição de seu desempenho e propor melhorias.

Em um levantamento de ocorrências registradas no relé DDL de 2010 a 2015, pelos gráficos das figuras 10 e 11, observam-se os principais modos de defeito e reparo, respectivamente.

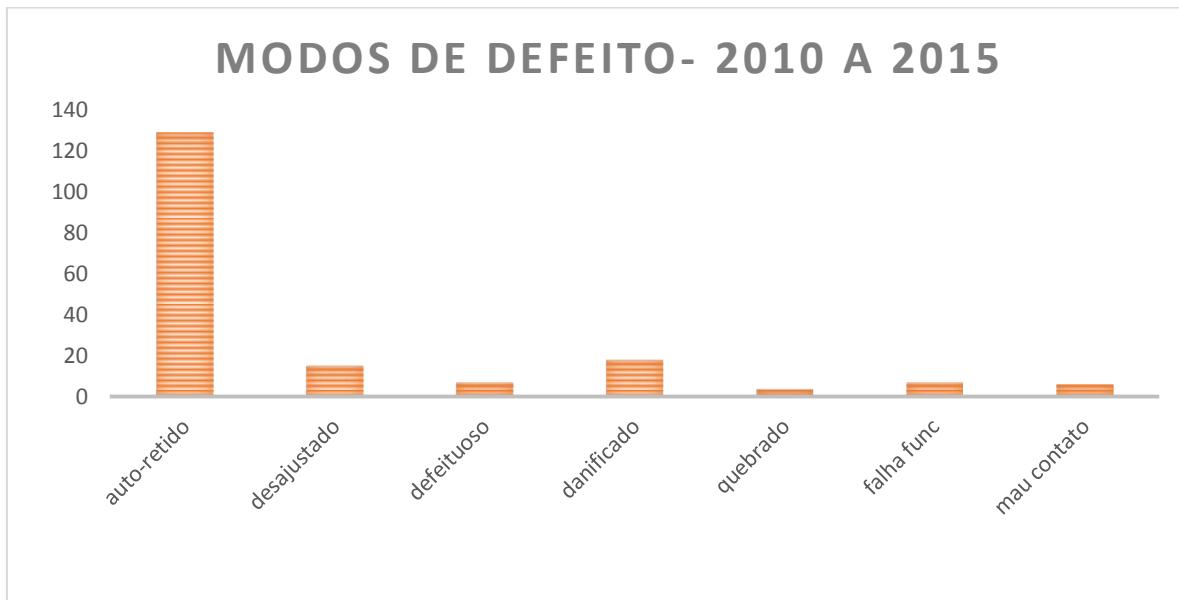


Figura 10 - Quantidade de ocorrências por tipo de defeito.

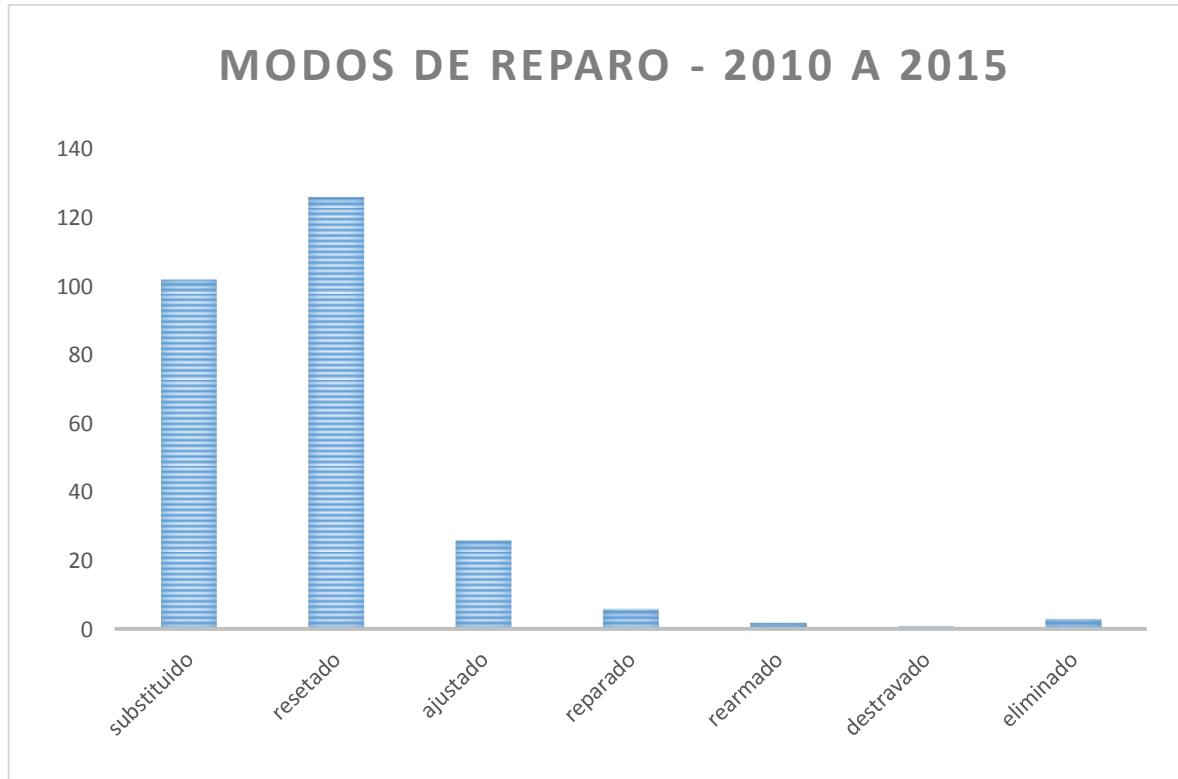


Figura 11 - Quantidade de ocorrências por tipo de reparo.

### **3.2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA (MP)**

As Manutenções Preventivas seguem programação, roteiros e procedimentos elaborados pela área de Engenharia da Manutenção.

#### **3.2.2.1 EQUIPES DE MANUTENÇÃO**

A Manutenção Preventiva no DDL é realizada por equipes distintas.

Na rotina da equipe de Inspeção, é prevista a realização do auto-teste do DDL, e é verificada a presença de algum alarme.

A equipe que realiza anualmente a Manutenção Preventiva no Feeder, também realiza o auto-teste e a verificação de alarmes do DDL.

Ambas as equipes, caso constatem algum problema, podem atuar na substituição imediata do DDL, ou podem registrar ou abrir uma ocorrência para ser atendida diretamente pela equipe de Manutenção em Sistemas de Proteção.

A Equipe de MP em Sistemas de Proteção é formada por dois técnicos treinados e especializados neste sistema.

A MP no DDL é realizada a cada três anos, e a equipe atende também às ocorrências repassadas ou transferidas através de sistema informatizado interno da Cia., pelas equipes de MP ou MC.

### **3.2.2.2 MÉTODOS, ROTEIROS E PROCEDIMENTOS**

Para a execução de MP no DDL, a equipe, ao chegar à estação, registra sua entrada junto às equipes de Operação, que são responsáveis pelo controle de acesso áreas, incluindo as subestações, salas de equipamentos eletromecânicos e de controle.

A equipe solicita a abertura do Feeder via CIM, que faz a solicitação da manobra ao CCO. Este comanda remotamente a manobra de abertura que deve ser realizada preferencialmente sem a presença de trem no trecho alimentado pelo Feeder. Após receber confirmação da manobra via CIM, a equipe de MP confere o estado do Feeder.

Confirmado o estado “aberto”, o Feeder deve ser colocado na posição de teste, quando está desconectado do barramento, mas permanece dentro do cubículo, ou extraído, quando tem seu plugue de comando e sinalização desconectado no corpo do carrinho e é levado para fora do cubículo.

A figura 12 ilustra o Feeder na posição de teste e também extraído, fora do cubículo.



Figura 12 - Feeder em posição de teste, extraído e fora do cubículo.

O roteiro de MP de campo prevê limpeza, inspeção de caixa e tampa do relé, inspeção de fiação, conectores e outros componentes quanto à integridade, fixação, identificação, isolação e sinais de aquecimento.

Um Procedimento indica em uma tabela os valores de ajuste de  $\Delta I$  (delta I) para todos os Feeders de todas as estações, um a um, com valores pré-definidos pela área de Engenharia. A equipe confere se o valor ajustado em campo de um determinado DDL corresponde ao valor da tabela, e o ajusta, se necessário. Além disto, também são verificadas as posições das chaves, conforme descrito no procedimento.

Em seguida são iniciados os testes, que são realizados com o auxílio de um Módulo Testador do DDL, ferramentas e um multímetro analógico.

Os plugues do DDL que o conectam ao carrinho e à fiação do Feeder devem ser desconectados e conectados ao Módulo Testador, apresentado na figura 13.



Figura 13 - Módulo Testador do relé DDL.

O Procedimento indica uma série de testes que são realizados, comandados através das chaves do Módulo e alterando também as posições das chaves do DDL. Nestes testes são verificadas principalmente as funções internas do DDL.

Não sendo encontrada nenhuma anormalidade, deve-se voltar aos ajustes iniciais, e o DDL deve ser novamente plugado ao carrinho do Feeder.

Para a realização do teste de atuação, devem-se aplicar pulsos aleatórios por meio de um multímetro, no modo Ohmímetro, na entrada do DDL (fios do shunt de entrada soltos e aplicação do sinal no replicador da corrente de linha MIU). Desta forma deve se constatar a atuação do contador e da saída de trip.

A figura 14 apresenta o circuito elétrico do teste de atuação do DDL.

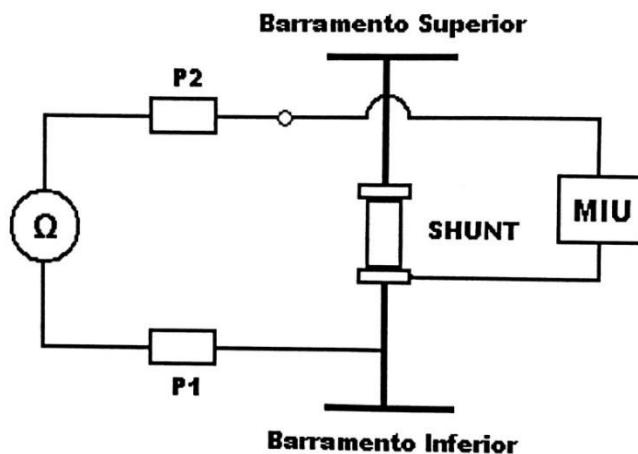


Figura 14 - Esquema elétrico de testes do DDL (METRÔ, 2003).

Os relés DDL que apresentam defeito são enviados ao laboratório de eletroeletrônicos, do Departamento de Oficinas da Gerência de Manutenção, para serem reparados.

Após reparo, são disponibilizados no almoxarifado de Gerência de Materiais, acessíveis às equipes de MP e MC.

Após a realização da Manutenção, as equipes apontam no sistema de controle toda a mão de obra empregada, os materiais aplicados e registram outras informações relevantes.

### **3.2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA**

A Manutenção Preditiva no Metrô de São Paulo baseia-se na utilização de recursos como análise de vibração, análise de óleo, termografia, monitoramento de assinaturas elétricas de motores dentre outras ferramentas consagradas.

No Sistema de Alimentação Elétrica, dentre as técnicas definidas, são a termografia e análise de óleo.

Os desvios encontrados pela equipe de Manutenção Preditiva são encaminhados para serem sanados pelas equipes de Manutenção Preventiva.

### **3.3 NOVO MODELO PARA PARAMETRIZAÇÃO E TESTES DE CAMPO E LABORATÓRIO**

Conforme (LEMOS, 2016), é apresentada uma nova metodologia para determinação da parametrização do relé DDL, com nova proposta de análise de dados das correntes elétricas do sistema de tração em função do tráfego de trens, que fornecerão subsídios para um ajuste otimizado do DDL.

Conforme (CHICO JUNIOR, 2016), é apresentada uma proposição de um novo modelo de realização de testes de campo e laboratório, verificando a sua implementação, resultados e ganhos obtidos.

### **3.4 PROPOSTAS DE ALTERAÇÕES NOS PROCEDIMENTOS, ROTEIROS, ROTINA**

Considerando o novo modelo de testes e ajustes do DDL proposto em 3.2, concluir-se que os procedimentos, roteiros e toda a rotina de trabalho no DDL pode e deve sofrer alterações.

As propostas são apresentadas a seguir.

#### **ALTERAÇÕES INICIAIS:**

- implementação do novo modelo de teste e ajuste do DDL aos trabalhos em laboratório;
- aplicação do novo modelo de teste e ajuste do DDL em laboratório, para os que estão em estoque;
- programar um ciclo de MP único, para verificação dos DDL instalados em campo, dentro de seus parâmetros atuais;
- efetuar aquisição de dados em campo, quanto às novas demandas operacionais, e efetuar análises e estudos, a fim de estabelecer novas parametrizações, quando necessário.

#### **PROCEDIMENTOS DE ROTINA:**

- manter a periodicidade de para o ciclo de MP;
- manter a realização do auto teste;
- manter a rotina de limpeza, inspeção de caixa e tampa do relé, inspeção de fixação, conectores e outros componentes quanto à integridade, fixação, identificação, isolamento e sinais de aquecimento.
- realizar testes de verificação da atuação considerando os parâmetros de ajuste atuais.
- aplicação do novo modelo de teste e ajuste do DDL em laboratório, para os relés que apresentaram defeito em campo ou eventuais necessidades de reparametrização.

## 4 CONTRAPOSIÇÃO DO SISTEMA DDL COM SISTEMAS MAIS MODERNOS

Os Sistemas de Tração de todas as linhas do Metrô são providos de algum tipo de proteção de corrente, assim como o DDL, objeto deste trabalho.

A seguir é apresentado de modo sucinto, dois destes Sistemas de Proteção, instalados na Linha 1 e Linha 15, respectivamente. Os modelos de manutenção são semelhantes, quanto aos roteiros, formação de equipes e modo de atendimento de MPs e MCs.

### 4.1 MÓDULO DE ANÁLISE DIA-IGT - INEPAR

A linha 1 do Metrô foi a primeira a ser montada e colocada em operação, ainda no início dos anos 1970.

A partir dos anos 1990, o sistema de tração da Linha 1 foi modernizado, com a substituição dos Feeders e do sistema de proteção em Corrente Contínua, além de outros, sendo que todo este sistema ainda é operacional na tração da Linha 1.

Todo o novo sistema instalado foi fornecido e instalado/montado pela empresa INEPAR.

Os disjuntores instalados como Feeders são de fabricação da ANSALDO – Itália, modelo IR-6140. Este disjuntor é um modelo ultra-rápido e tem capacidade de corrente nominal de 4kA.

O sistema de proteção de Corrente Contínua fornecido pela INEPAR é principalmente formado pelo MÓDULO DE ANÁLISE DIA-IGT ou simplesmente relé DIA, que é mostrado na figura 14 a seguir.



Figura 15 - Módulo de análise Dia-IGT - Relé Dia.

O relé DIA da INEPAR representa um grande avanço tecnológico em relação aos DDL da BBC, com cerca de vinte anos de desenvolvimento.

Segundo (INEPAR 1993), o sinal de corrente, fornecido por um shunt similar ao utilizado no sistema da Linha 3 e DDL é processado por conversores e enviado a um microprocessador que fornece os dados necessários para a implementação de todas as funções de proteção.

Dentre as principais características do relé DIA, destacam-se:

- . Gestão das funções por meio do teclado na parte frontal do relé ou através de comunicação serial RS485;
- . Leitura no display alfanumérico de oito dígitos dos parâmetros mensuráveis, regulações impostas e dados de diagnóstico. Todas as informações estão também disponíveis para a comunicação serial;
- . Presença de um sistema de auto-diagnóstico;
- . Teclado que permite de modo simplificado:

- Regular os parâmetros necessários para seu funcionamento;
- Endereçar os relés de saída para cada função;
- Efetuar um teste local para verificar o funcionamento do módulo.

Dentre suas principais funções de proteção, destacam-se as seguintes:

$I>$  = Atuação instantânea de máxima corrente;

$tI>$  = Atuação temporizada de máxima corrente  $i>$

$di>$  = Atuação por máximo gradiente  $di/dt \geq [A/ms]$

$DR>$  = Atuação por máximo incremento exponencial  $[Ir - iO] \geq$

$EXP$  = Atuação por máximo incremento exponencial calculado

$T>$  = Atuação da função de imagem térmica  $T >= 110\% [Tn]$

$N>$  = Atuação por número máximo de manobras.

Para as funções  $I>, tI>, di>, DR>$  e  $EXP$ , o módulo analisa a variação da corrente fornecida pelo disjuntor/feede com a finalidade de distinguir se é devida às partidas normais dos motores ou provocada por defeito na linha, longe da subestação. A condição de carga da linha, particularmente no serviço metropolitano, é tal que impõe uma calibração do disjuntor em níveis de corrente superiores aos provocados por defeitos na linha longe da subestação.

Para solucionar este problema é necessário definir os seguintes parâmetros, definidos em projeto:

- . Gradiente de corrente ( $gL$ ), no caso de defeitos distante na condição de carga máxima e mínima tensão de alimentação;
- . Valor máximo da corrente ( $IL$ ) no caso de defeito distante na condição de carga máxima e mínima tensão de alimentação;
- . Valor máximo da corrente instantânea fornecida na condição de carga máxima;

A função  $N>$  tem por finalidade fornecer informações relativas ao estado geral do disjuntor e do estado de uso dos contatos e da câmara de extinção do arco. O relé DIA faz uma contagem de número de manobras elétricas convencionais, ou em carga, manobras de corrente de interrupção (abertura em curto-círcuito ou por sobrecarga), e número de manobras mecânicas. Quando é atingido 90% do número limite definido/parametrizado, o led  $[N>]$  fica piscando, indicando “alarme leve”, que é retransmitido ao CCO, que comunica à manutenção, para que intervenha no equipamento que atingiu este limite, e libere o relé através de reset.

Quando é atingido 100%, no caso em que não foi efetuada a manutenção prevista ou solicitada, o led [N>] se acende permanentemente. Este alarme não provoca a abertura do Feeder, mas quando aberto, impede o fechamento.

## 4.2 SITRAS

O Sistema de Proteção apresentado a seguir é o que está instalado na Linha 15 Prata – Monotrilho, a mais recente do sistema e ainda em fase de testes e expansão.

Nesta linha, apesar do modelo construtivo ser bastante diverso dos demais do Metrô, a corrente de tração também é fornecida em 750VCC. O disjuntor utilizado como Feeder é o modelo UR40 da Sécheron, e difere do UR36 citado anteriormente neste trabalho, especialmente no que tange ao modo de extinção de arco, que funciona por sistema de Sopro Magnético, e por isto aumenta a capacidade de corrente nominal para 4kA.

O sistema de proteção instalado é o modelo SITRAS PRO, do fornecedor SIEMENS. O Sitrás é utilizado para proteção de sistemas alimentados em CC. Isto protege o seccionador CC (Feeder) e sistemas de linha de contato (terceiro trilho) contra sobrecarga, e detecta curtos-circuitos durante a elevação de corrente e até antes de ser atingida a máxima corrente de curto-circuito (Siemens, 2014).

O Sitrás é um dispositivo de proteção secundário, mostrado na figura 16, podendo ser operado somente junto com um dispositivo de proteção primário, que é fornecido pelo dispositivo de sobrecorrente do disjuntor.



Figura 16 - Sitrás PRO Simens (SIEMENS, 2014).

Segundo (SIEMENS, 2014), as funções básicas de proteção servem para diagnosticar os principais curto-circuitos:

Curto-Círcito Franco - Proteção de corrente máxima – Sobrecorrente ( $I_{MAX}$ )

Curto-Círcito Curta Distância - Proteção de surto de corrente ( $\Delta I$ )

Curto-Círcito Longa Distância - Proteção de variação de corrente ( $di/dt$ ) Curto-Círcito Longa Distância - Proteção de corrente por tempo definido (IDTM).

A figura 17 mostra algumas curvas características do curto-círcuito.

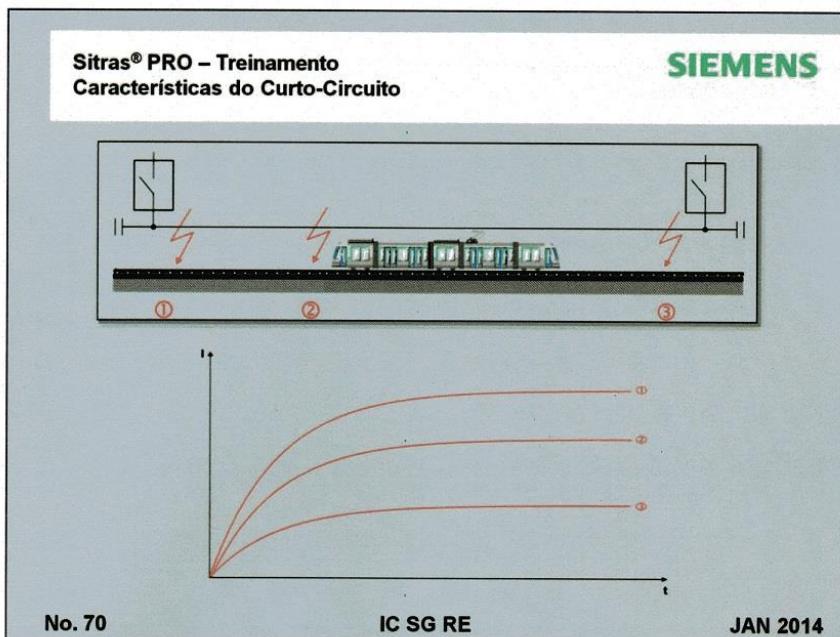


Figura 17 - Características do Curto-Círcuito (SIEMENS, 2014).

#### 4.2.1 SOBRECORRENTE ( $I_{MAX}$ )

A corrente é monitorada quando a função de proteção por corrente máxima positiva  $I_{MAX}$  – direção de alimentação, e a corrente máxima negativa  $I_{MAXREV}$  – direção de recuperação, estão ativas.

Se um destes limites for excedido por certo tempo definido, o desarme é iniciado e uma saída binária é ativada. Como padrão, o tempo da função  $I_{MAX}$  é definido em 0ms, sendo monitorada a cada 100 $\mu$ s.

#### **4.2.2 SURTO DE CORRENTE ( $\Delta I$ )**

Esta função analisa o aumento de corrente  $\Delta I$  em um determinado período. Se for detectado um rápido aumento de corrente anormal dentre seus parâmetros, a unidade entende como um curto-círcito próximo do ponto de alimentação, sendo detectado muito antes do pico de corrente ser atingido.

Para o monitoramento de  $\Delta I$ , a corrente diferencial  $\Delta I$  é considerada entre um valor medido e o valor de referência armazenado internamente. Se a corrente cair para um valor abaixo de um  $di/dt$  mínimo, a corrente instantânea do sistema assume o valor de referência a ser armazenado.

Se a diferença entre o valor medido atual e o valor de referência ultrapassar o limiar definido para alarme, este alarme será ativado. Se exceder o limiar de desarme, o desarme será iniciado, ativando uma saída binária.

O desarme indesejado do monitoramento de  $\Delta I$  devido a picos de corrente, pode ser evitado com certo tempo de atraso, geralmente parametrizado entre 3 e 5ms.  $\Delta I$  é monitorado a cada 100 $\mu$ s.

#### **4.2.3 VARIAÇÃO DE CORRENTE ( $di/dt$ )**

O curto-círcito de longa distância são detectados neste modo de proteção.

Se for excedido o valor definido para aumento de corrente e o tempo expirar, a saída binária correspondente será ativada. A função  $di/dt$  é monitorada a cada 2ms.

#### **4.2.4 CORRENTE POR TEMPO DEFINIDO ( $I_{DTM}$ )**

São detectadas correntes de longa duração que não correspondem às condições operacionais normais. Com a função  $I_{DTM}$ , a corrente é monitorada sempre na direção da alimentação, e com  $I_{MAXREV}$  a corrente será monitorada na direção de recuperação. Se os valores de parâmetro forem excedidos, uma saída binária é ativada. A função é monitorada a cada 10ms.

### 4.3 COMPARATIVOS DOS MODELOS DE RELÉS DE PROTEÇÃO EM SISTEMAS DE TRAÇÃO

Considerando o relé DDL, objeto deste trabalho, e os sistemas mais modernos apresentados em 4.1 e 4.2, a tabela 3 apresenta um quadro comparativo dos modelos de relés citados.

<b>COMPARATIVO DOS MODELOS DE RELÉS DE PROTEÇÃO EM SISTEMAS DE TRAÇÃO</b>			
	<b>DDL - BBC</b>	<b>DIA - ANSALDO</b>	<b>SITRAS - SIEMENS</b>
<b>FUNÇÕES BÁSICAS DE PROTEÇÃO</b>	di/dt	di/dt, sobrecorrente instantâneo, sobrecorrente temporizado, atuação por máximo gradiente, atuação por máximo incremento exponencial	di/dt, sobrecorrente instantâneo, sobrecorrente temporizado,
<b>INTERFACE</b>	Atuação em ajustes internos, botões e potênciômetros externos	Atuação em ajustes internos, interface por meio de botões e display eletrônico	Atuação em ajustes internos, interface por IHM, acesso externo por notebook
<b>TECNOLOGIA</b>	Eletrônica analógica	Eletrônica micro-processada	Eletrônica micro-processada
<b>COMUNICAÇÃO</b>	Não	RS 232	TCP/IP
<b>SISTEMA DE DIAGNÓSTICO</b>	Não	Não	Sim
<b>GERAÇÃO</b>	Anos 1970	Anos 1990	Anos 2000

Tabela 3 - Comparativo dos modelos de relés de proteção em sistemas de tração.

## 5. PROPOSTA DE PROJETO FUTURO

É recomendado um estudo de viabilidade econômica de substitui-los por novos relés de proteção com tecnologias modernas, apesar das novas propostas de alterações de roteiros e procedimentos para manutenção.

## 6 CONCLUSÃO

Os testes realizados em campo não garantem a perfeita funcionalidade do DDL, por não testar sua atuação em função das rampas ajustadas. Nem mesmo em oficina, a equipe do laboratório consegue o ajuste destas funções.

Em termos práticos, as equipes apenas garantem que o DDL está funcionando como um sistema, mas não garantem sua principal proteção, que é a atuação por  $di/dt$  nas rampas pretendidas e mesmo ajustadas.

Considerando que os testes atuais de MP e reparo em campo e em laboratório podem não garantir sua funcionalidade de proteção eficaz da função  $di/dt$ , em função dos critérios originais de projeto, o novo modelo de testes e ajustes proposto neste trabalho procura melhorar o modelo atual, através de propostas de alterações nos procedimentos, roteiros, rotina.

Quando comparado aos sistemas de proteção de Tração mais modernos instalados nas linhas 1 e 2, observamos que o monitoramento das correntes no sistema com vistas à proteção, é item de cuidado e atenção nos projetos, com adoção de sistemas cada vez mais modernos.

Novas tecnologias aplicadas aos sistemas de proteção de corrente contínua oferecem maior precisão e mais funções de proteção além de proporcionar maior facilidade de parametrização, sistema de diagnóstico interno e comunicação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Procedimento de Inspeção Ajuste e Testes – **Detector de Defeito de Linha DDL – Linha 3.** Procedimento. Companhia do Metropolitano de São Paulo. São Paulo, 2007.

SIEMENS, **Sitras PRO Unidade Digital de Proteção e Controle** – Material de Treinamento, Janeiro, 2014

GMT - **GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO. Realizações GMT – 2015** – Gerência de Manutenção, Cia do Metropolitano de São Paulo. Periódico: Metrô, 2015.

INEPAR S.A. INDÚSTRIA E COMÉRCIO - **Manual de Manutenção e Fornecimento da Modificação Elétrica da Linha 1 – Azul.** São Paulo, 1993.

Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô – QUEM SOMOS. Disponível em: <http://www.metro.sp.gov.br/metro/institucional/quem-somos/index.aspx>. Acessado em 30/10/2015. (Metrô 1, 2016)

Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô – **Relatório da Administração 2014** – Disponível em: <http://www.metro.sp.gov.br/metro/institucional/pdf/rel-administracao.pdf> Acessado em 30/10/2015. (Metrô, 2014)

Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô – **Informações sobre a Demanda.** Disponível em <http://www.metro.sp.gov.br/metro/numeros-pesquisa/demandas.aspx>. Acessado em 16/03/2016. (Metrô, 2015)

Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô – **Estrutura Física.** Disponível em <http://www.metro.sp.gov.br/metro/numeros-pesquisa/estrutura-fisica.aspx>. Acessado em 16/03/2016. (Metrô3, 2016)

KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.** Florianópolis: UFSC – EEL – LabPlan. 1999.

MAMEDE FILHO, João. MAMEDE, Daniel Ribeiro. **Proteção de Sistema Elétricos de Potência.** LTC Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro, 2011

Inspeção, Ajustes e Testes (Oficina) – Dispositivo de Proteção DDL. Procedimento. Metrô, 2003.

BBC. **Instrução de Teste, Ajuste e Calibração do DDL Linha Leste/Oeste.** Código BPR 400.151. São Paulo, 1981.

YOKOGAWA. **User's Manual DL850/DL850V ScopeCorder Getting Started Guide.** 7ª Edição. 2012.

REIS, Marcus. **Optimization of DC Feeder Rate of Rise Overcurrent Protection Settings Using Delta I Cumulative Distribution.** Toronto transit Commission. 2004.

CHICO JUNIOR , Elsio Carlos de. **Estudo das Características e Comportamento do Relé de Proteção de Sobrecorrente Di/Dt – DDL, da Linha 3 – Vermelha do Metrô de São Paulo – Testes de Laboratório e Campo.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.

LEMOS, Marcelo. **Estudo das Características e Comportamento do Relé de Proteção de Sobrecorrente Di/Dt – DDL, da Linha 3 – Vermelha do Metrô de São Paulo – Parametrização.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.