



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

ELSIO CARLOS DE CHICO JUNIOR

**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**

**São Paulo
2016**

ELSIO CARLOS DE CHICO JUNIOR

**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**

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

**São Paulo
2016**

ELSIO CARLOS DE CHICO JUNIOR

**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**

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

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 / E. C. Chico Junior -- São Paulo, 2016.

41 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. Sistema de Tração Elétrica 3. Teste 4. Tecnologia
5. Metodologia I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

DEDICATÓRIA

À minha esposa Andréa e aos nossos filhos, Catarina, Frederico, 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 5^a Turma do Curso de Especialização em Tecnologia, pela amizade e companheirismo.

À Companhia do Metropolitano de São Paulo pela oportunidade de integrar a 5^a 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 apresenta um estudo das características e comportamento do relé de proteção sobrecorrente di/dt - DDL da Linha 3 - Vermelha do Metrô de São Paulo, em função das novas demandas de operação. A partir deste estudo, propõe-se a analisar, questionar e responder às necessidades quanto à proteção do Sistema de Tração Elétrica, relacionadas aos métodos de testes em campo e laboratório.

Com a disponibilidade de acesso a novas tecnologias, este trabalho se propõe a apresentar novas metodologias que resultaram em propostas de novos modelos de testes.

Palavras-chave: Proteção. DDL. Sistema de Tração Elétrica. Teste. Tecnologia. Metodologia.

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 presents a study of the characteristics and behavior of the overcurrent protection relay di / dt - Line 3 DDL - Red of the São Paulo Metro, according to the new demands of operation. From this study, it is proposed to analyze, question and respond to the needs for the protection of the Electric Traction System, related to methods of testing in the field and laboratory.

With the availability of access to new technologies, this paper proposes to present new methodologies that resulted in proposals for new types of tests.

Keywords: Protection. DDL. System for Electric Traction. Test. Technology. Methodology.

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).	8
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).	11
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).	13
Figura 9 - Gráfico da região de atuação da rampa F (METRÔ, 2003).....	14
Figura 10 - Módulo Testador do relé DDL.	17
Figura 11 - Esquema elétrico de testes do DDL (METRÔ, 2003).....	18
Figura 12 - Esquema de teste de atuação em laboratório.....	20
Figura 13 - Gráfico da onda triangular padrão utilizada para realização dos testes em laboratório.	21
Figura 14 – Gráfico da Função gerada nos testes de campo e laboratório.	24
Figura 15 - Gráfico representativo da condição 1 – Fluxograma.....	25
Figura 16 - Gráfico representativo da condição 2 – Fluxograma.....	25
Figura 17 - Gráfico representativo da condição 3 – Fluxograma.....	26
Figura 18 – Gráfico representativo da condição 4 – Fluxograma.	26
Figura 19 - Gráfico representativo da condição 5 – Fluxograma.....	27
Figura 20 - Fluxograma dos testes a serem realizados em campo.	28
Figura 21 - Fluxograma dos testes a serem realizados em laboratório.	29
Figura 22 - Montagem dos equipamentos e a realização dos testes em laboratório.	31
Figura 23 - Simulação da condição 1 _ em amarelo – Sinal de Corrente (7,5kA/div);em azul - Sinal de Trip.	32
Figura 24 - Simulação da condição 2 _ em amarelo - Sinal de Corrente (7,5kA/div); em azul - Sinal de Trip	32
Figura 25 - Simulação da condição 3 _ em amarelo - Sinal de Corrente (7,5kA/div); em azul - Sinal de Trip.....	33

Figura 26 - Simulação da condição 4 _ em amarelo - Sinal de Corrente (7,5kA/div); em azul - Sinal de Trip.....	34
Figura 27 - Simulação da condição 5 _ em amarelo - Sinal de Corrente (7,5kA/div); em azul - Sinal de Trip.....	34

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 - Escalas do parâmetro E (METRÔ, 2003).....	14
Tabela 4 - Escalas do parâmetro F (METRÔ, 2003)	15
Tabela 5 - Escalas do parâmetro ΔI (METRÔ, 2003).....	15
Tabela 6: Teste de funcionamento atuais no relé DDL	18
Tabela 7 - Valores de amplitudes e frequências utilizados nos testes em laboratório.	21
Tabela 8 - Atuação por ΔI em função da rampa E.	22

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.....	7
2.2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	9
2.2.2 PARÂMETROS DE AJUSTE DO DDL	14
3. METODOLOGIA PARA TESTES DO RELÉ DDL - CAMPO E LABORATÓRIO...16	16
3.1 MODELO ATUAL DE TESTES EM CAMPO	16
3.1.1 TESTES DE FUNCIONAMENTO DO RELÉ	17
3.1.2 TESTES DE ATUAÇÃO	18
3.1.3 ITENS NÃO VERIFICADOS NOS TESTES DE CAMPO	19
3.2 MODELO ATUAL DE TESTES EM LABORATÓRIO	19
3.2.1 TESTES DE FUNCIONAMENTO DO RELÉ	19
3.2.2 TESTES DE ATUAÇÃO	19
3.2.3 ITENS NÃO VERIFICADOS NOS TESTES DE LABORATÓRIO.....	22
3.3 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE NOVA METODOLOGIA DE TESTES	23
3.3.1 PREMISSAS	23
3.3.2 ESBOÇO DA SOLUÇÃO.....	23
3.3.3 FLUXOGRAMA	24
3.3.4 IMPLEMENTAÇÃO	29
3.3.4.1 CÓDIGO DA PARAMETRIZAÇÃO.....	30
3.3.4.2 VALORES DE PARAMETRIZAÇÃO	30
3.3.4 RESULTADOS	30
4. PROPOSTA DE PROJETO FUTURO.....	35
5. CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXO I – CÓDIGO DA PARAMETRIZAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA NOS PROCEDIMENTOS DE TESTES	39

ANEXO II – VALORES DE PARAMETRIZAÇÃO DAS CURVAS PARA A
REALIZAÇÃO DOS TESTES LABORATORIAIS E DE CAMPO 41

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:

INFORMAÇÕES SOBRE O SISTEMA / SITUAÇÃO - FEVEREIRO 2016						
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.

DEMANDA DE PASSAGEIROS POR LINHA - ANO: 2015 (EM MILHARES)						
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

O objetivo deste trabalho consiste em estabelecer uma nova metodologia para realizar ensaios de laboratório e de campo, nos relés Detectores de Defeito de Linha – DDL, instalados nos Disjuntores de Corrente Contínua das Subestações Retificadoras da Linha 3 Vermelha do Metrô de São Paulo, com a introdução de novos recursos tecnológicos, visando aumentar a segurança e a confiabilidade do Sistema de Tração Elétrica.

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 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 ou modelos mais eficientes e confiáveis para os processos de manutenção em campo e em laboratório.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado conforme figura 1, a seguir.

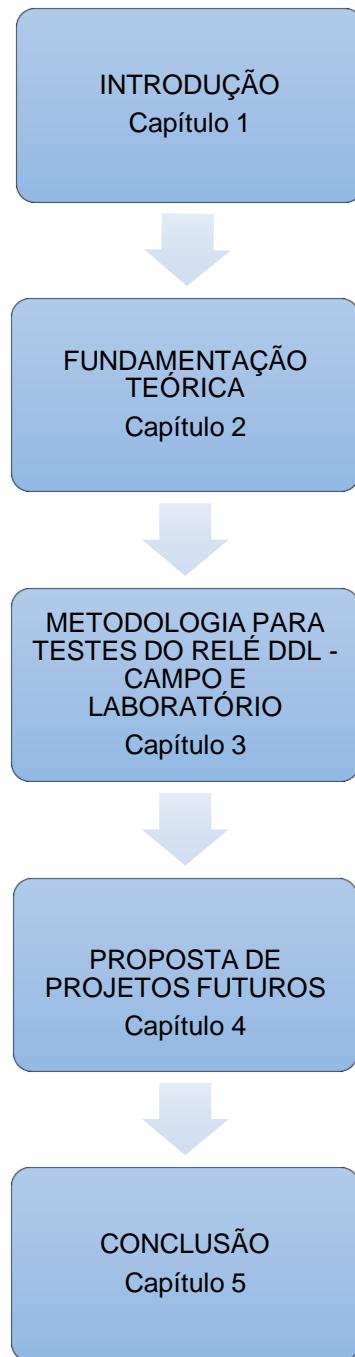


Figura 1 - Fluxograma da estrutura organizacional do trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Conforme (LEMOS, 2016), é apresentada uma nova metodologia para determinação de parametrização do relé DDL, como 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.

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.

Em (ROCHA, 2016), é apresentada uma análise dos processos de manutenção atuais do DDL, bem como são apresentadas propostas de processos mais confiáveis e eficientes.

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-círcuito 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.

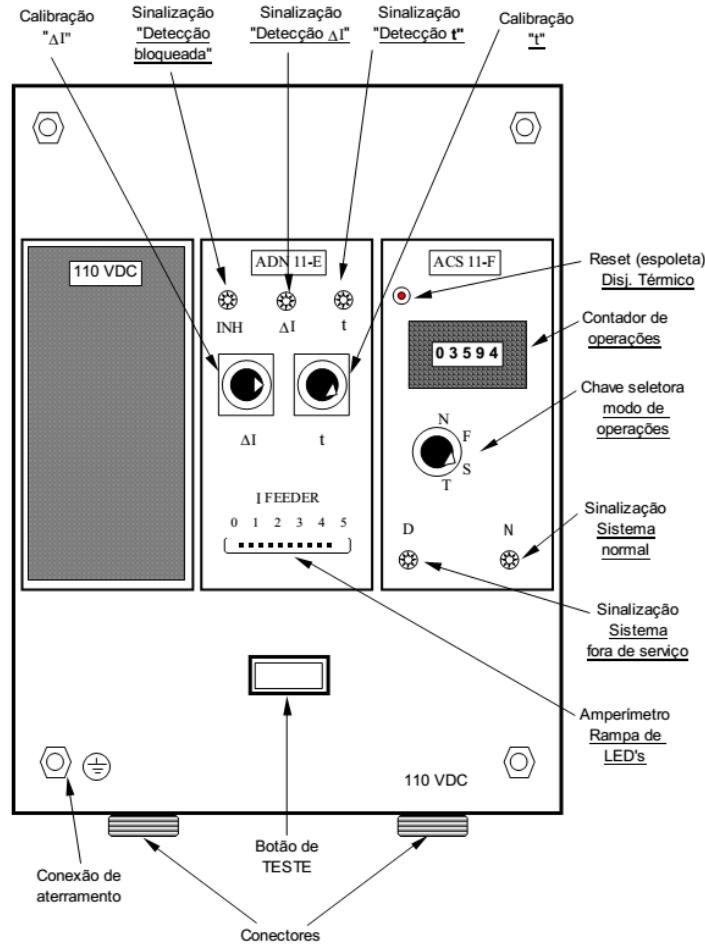


Figura 3 - Vista frontal do relé Detector de Defeito de Linha - DDL com seus botões, conexões e suas indicações (METRÔ, 2003).

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 ΔI ;
- 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 ΔI ;
- 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 ΔI 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.

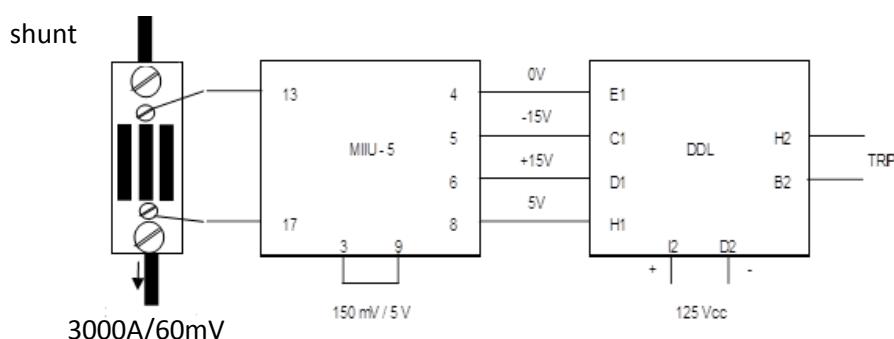


Figura 4 - Esquema de conexões, níveis de tensões e relação do transdutor. DDL. (BBC, 1981).

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 ± 5 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.

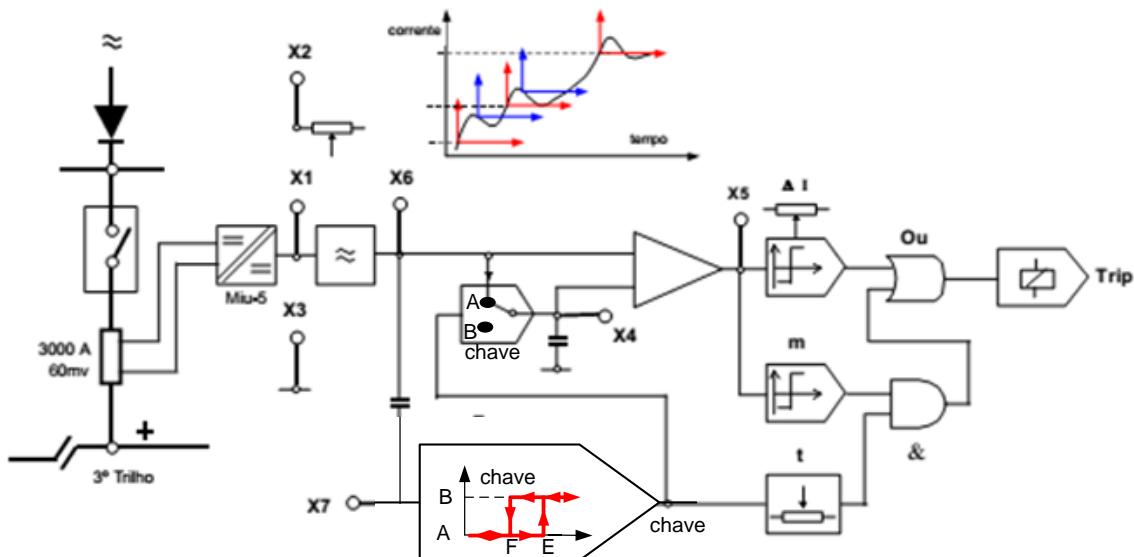


Figura 5 - Diagrama de blocos de funcionamento do DDL (METRÔ, 2003).

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.

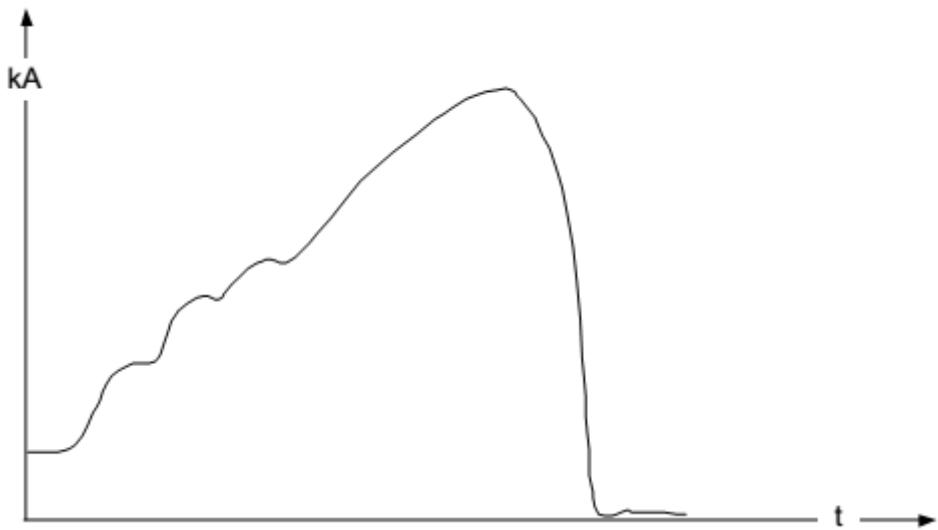


Figura 6 - Corrente de linha monitorada em X6 (METRÔ, 2003).

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 ΔI , 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 ΔI .

Cumpre ressaltar que se o sistema estava na situação “b” e passar para a situação “a”, interrompe-se o processo de contabilização de ΔI (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.

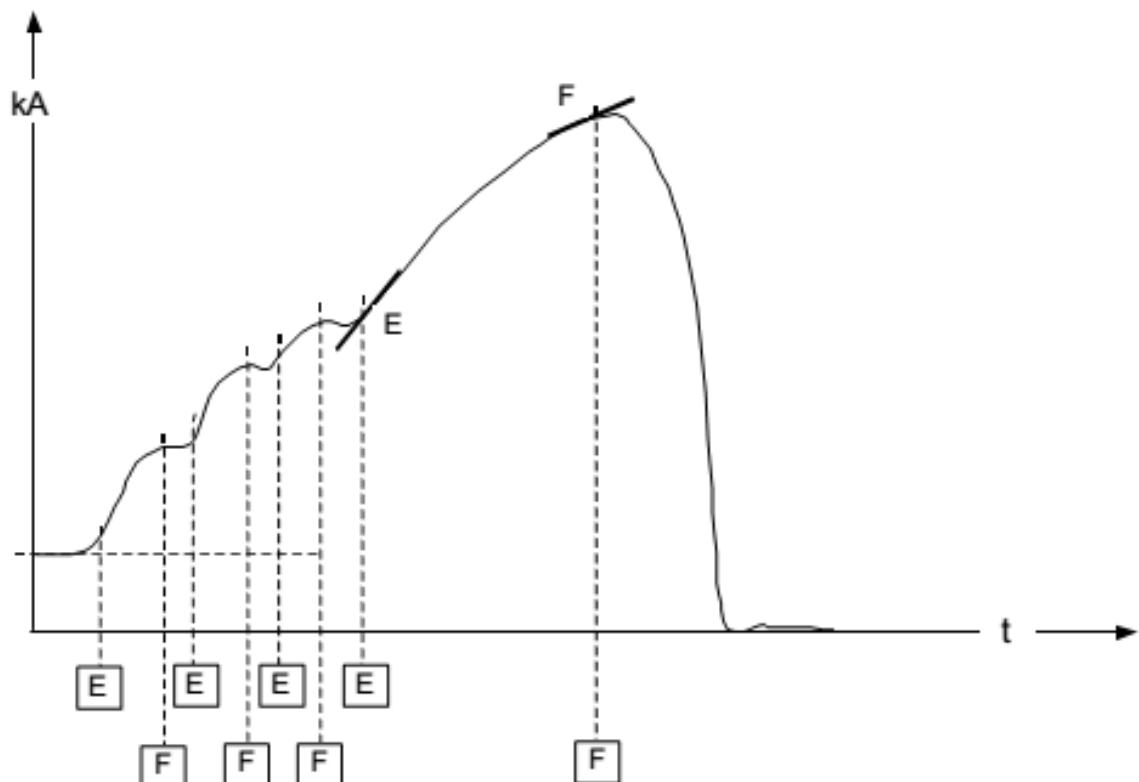


Figura 7 - Composição das rampas E e F, disparadas na corrente de linha (METRÔ, 2003).

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 $E=1$.

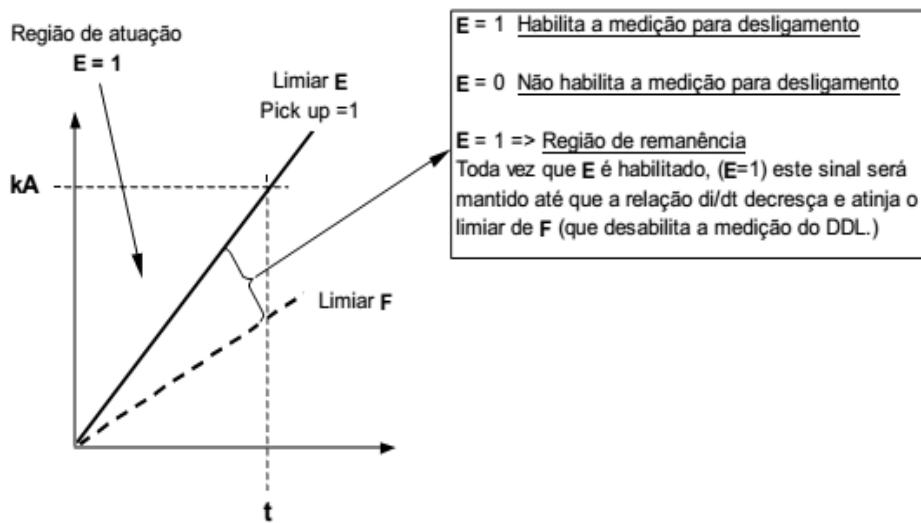


Figura 8 - Gráfico da região de atuação da rampa E (METRÔ, 2003).

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.

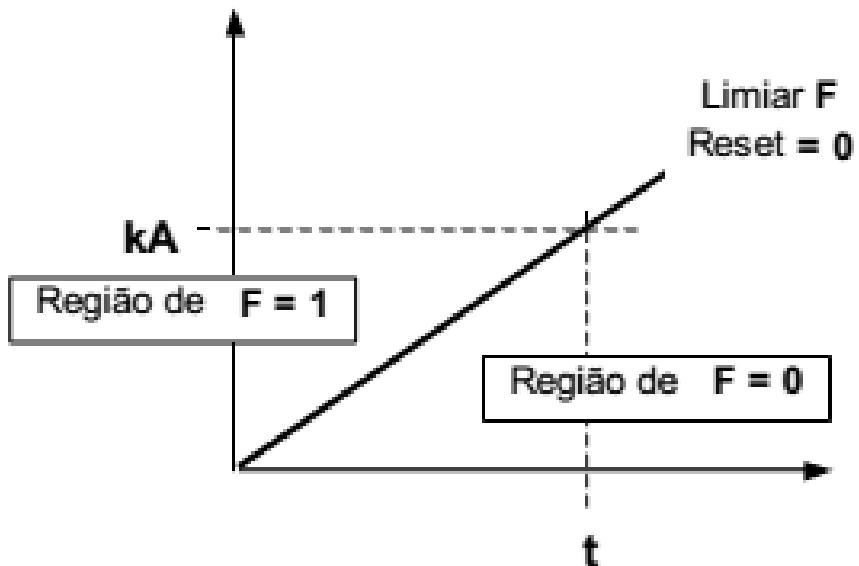


Figura 9 - Gráfico da região de atuação da rampa F (METRÔ, 2003).

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.

A tabela 3 apresenta as escalas do parâmetro E.

PARÂMETRO E											
Divisão	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta i/\Delta t$ (kA/s)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150

Tabela 3 - Escalas do parâmetro E (METRÔ, 2003).

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 ΔI é interrompido.

A tabela 4 apresenta as escalas do parâmetro F.

PARÂMETRO F											
Divisão	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta i/\Delta t$ (kA/s)	0	7,5	15	22,5	30	37,5	45	52,5	60	67,5	75

Tabela 4 - Escalas do parâmetro F (METRÔ, 2003).

Parâmetro ΔI : 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.

A tabela 5 apresenta as escalas do parâmetro ΔI .

PARÂMETRO ΔI											
Divisão	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Corrente (kA)	0	0,75	1,5	2,25	3	3,75	4,5	5,25	6	6,75	7,5

Tabela 5 - Escalas do parâmetro ΔI (METRÔ, 2003).

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. METODOLOGIA PARA TESTES DO RELÉ DDL - CAMPO E LABORATÓRIO

O contexto operacional no qual estão inseridos os equipamentos como o relé DDL, suas funções e inter-relações, bem como as consequências para o processo operacional, merece atenção especial da área de manutenção, na eventualidade da ocorrência de falhas.

Considerando o universo dos equipamentos mantidos, o DDL destaca-se entre os que necessitam de uma diferenciação no tratamento, uma vez que o conjunto de tarefas de manutenção não é requerido de forma idêntica para a totalidade dos equipamentos da instalação.

Quando se fala de Manutenção Centrada em Confiabilidade, na definição das ações de manutenção a serem desenvolvidas, esta metodologia apresenta destaque especial para as falhas ocultas em equipamentos associados aos sistemas de proteção, ou seja, aquelas que não são evidentes para o operador ou profissional de manutenção.

A importância dos equipamentos associados a estes sistemas exige um tratamento especial da área de manutenção objetivando garantir seu desempenho adequado, visto que estes sistemas são compostos principalmente por dispositivos de proteção. A metodologia de testes desenvolvida visa atender a todas as características para as quais o sistema de proteção foi projetado, garantindo a sua integridade e relevância no sistema, suprimindo desta forma os riscos inerentes às falhas ocultas. Ao mesmo tempo a metodologia pretende apresentar alternativas mais eficazes e precisas, face aos métodos de teste atualmente praticados em campo e oficina.

3.1 MODELO ATUAL DE TESTES EM CAMPO

Devido à confiabilidade e segurança do equipamento DDL e ao seu fator crítico no sistema serem bastante elevados, visto que o mesmo opera somente quando da ocorrência de uma falha na linha, é necessário que o DDL seja avaliado periodicamente em campo, para verificação de seu perfeito funcionamento.

Os testes realizados em campo podem ser divididos em duas partes.

Inicialmente, são executados os testes de funcionamento do relé DDL e posteriormente o teste de atuação.

3.1.1 TESTES DE FUNCIONAMENTO DO RELÉ

Os testes realizados atualmente direcionam a verificação do comportamento da eletrônica interna do DDL, no qual se aplica uma onda quadrada com um valor de pico pré-determinado (suficiente para atuação de ΔI) e verifica-se o comportamento do DDL nos modos de operação.

O primeiro a ser realizado no relé DDL em campo é o auto-teste, que é realizado pressionando um botão na caixa frontal do relé, cuja finalidade é verificar o funcionamento dos led's indicativos.

Para a realização dos demais testes do relé DDL, as equipes de campo e oficina utilizam um equipamento conhecido como Módulo Testador, conforme ilustra a figura 10.



Figura 10 - Módulo Testador do relé DDL.

O relé DDL pode operar em três modos possíveis: Modo Normal; Modo Falha e Modo Estatística.

Modo Normal - o DDL atua com um valor pré-determinado ΔI no qual se verifica a sinalização externa, contagem do evento de trip no contador interno ao DDL e acionamento do relé de trip.

Modo Falha - o DDL não atua com um valor pré-determinado de ΔI , (que causaria uma atuação em condição normal); verifica-se a não sinalização externa, a não

contagem do evento de trip no contador interno e consequente não acionamento do relé de trip.

Modo Estatístico - o DDL atua com um valor pré-determinado de ΔI no qual se verifica sinalização externa, contagem do vento de trip no contador interno, porém sem acionamento do relé de trip.

A tabela 6 mostra um resumo dos testes de funcionamento atuais.

MODO DE OPERAÇÃO	SINALIZAÇÃO ΔI ALCANÇADO	INCREMENTO DO CONTADOR	ATUAÇÃO DO RELÉ DE TRIP
NORMAL	SIM	SIM	SIM
FALHA	SIM	NÃO	NÃO
ESTATÍSICO	SIM	SIM	NÃO

Tabela 6: Teste de funcionamento atuais no relé DDL.

3.1.2 TESTES DE ATUAÇÃO

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 11 apresenta o circuito elétrico do teste de atuação do DDL.

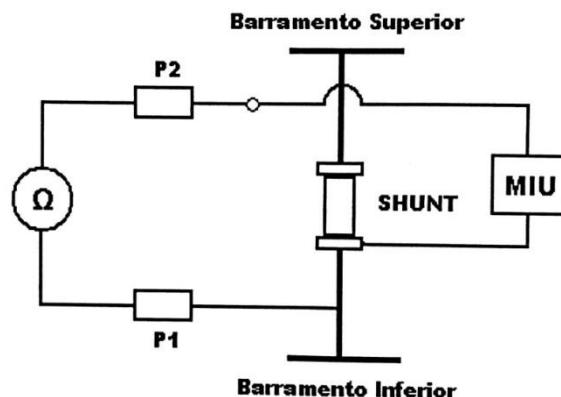


Figura 11 - Esquema elétrico de testes do DDL (METRÔ, 2003).

3.1.3 ITENS NÃO VERIFICADOS NOS TESTES DE CAMPO

Com os testes de campo descritos nos itens 3.1.1 e 3.1.2, algumas condições relevantes do funcionamento do DDL não são verificadas e consequentemente são potenciais falhas ocultas do sistema de proteção.

Como a corrente de linha é formada por rampas de subidas e descidas, as correntes íngremes em um determinado intervalo de tempo (di/dt) que são ajustadas no DDL pelo parâmetro E (rampa de subida de corrente) e pelo parâmetro F (rampa de descida de corrente), não são avaliadas pelos testes propostos. Desta forma, os relés instalados em campo podem estar com suas aferições para as rampas E e F não conformes aos parâmetros determinados.

3.2 MODELO ATUAL DE TESTES EM LABORATÓRIO

Os testes realizados em laboratório podem ser divididos em duas partes.

Inicialmente são executados os testes de funcionamento do relé DDL e posteriormente o teste de atuação.

3.2.1 TESTES DE FUNCIONAMENTO DO RELÉ

Testes realizados conforme testes descritos no item 3.1.1.

3.2.2 TESTES DE ATUAÇÃO

Os testes de atuação são realizados em duas etapas:

1 - Na primeira etapa, é realizada verificação da atuação do relé em função do valor alcançado ΔI , por meio da inserção de sinais triangulares gerados por um gerador de função, conforme figura 12.

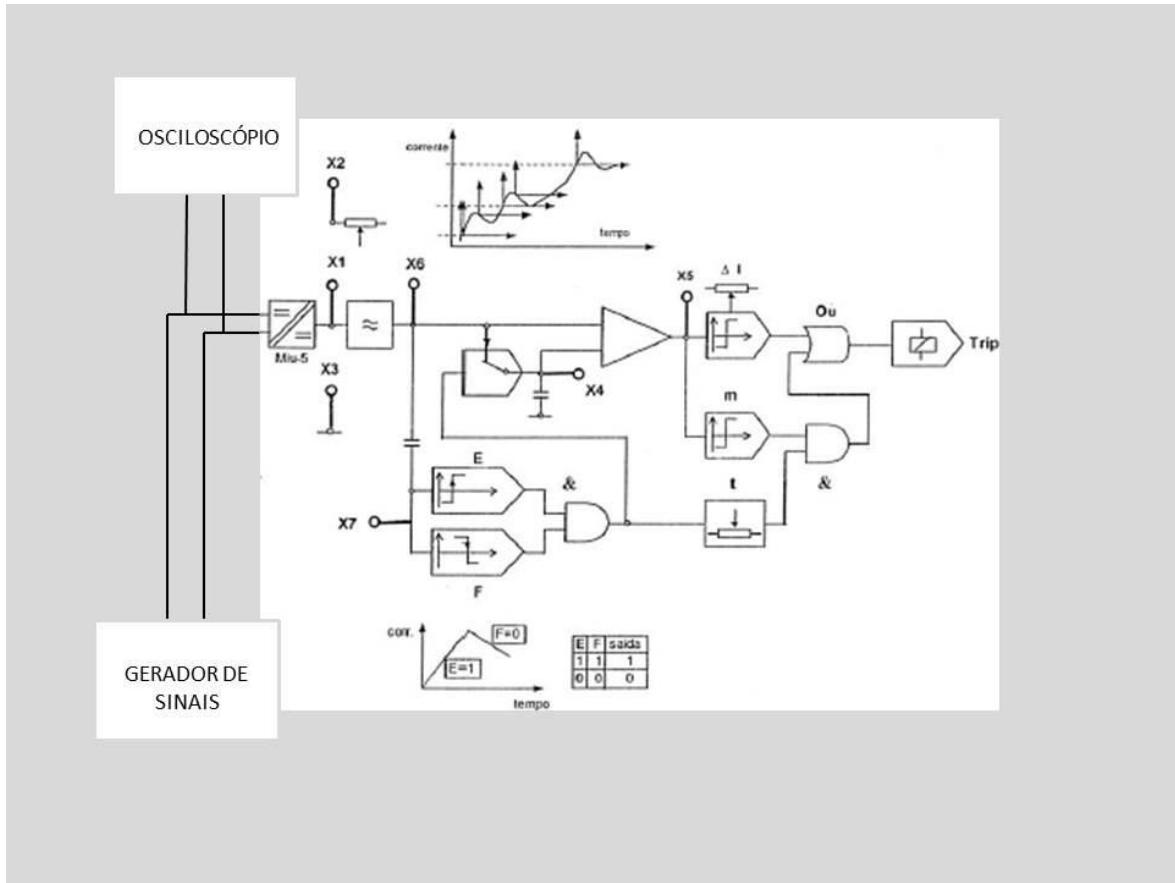


Figura 12 - Esquema de teste de atuação em laboratório.

Os sinais triangulares gerados são determinados em uma faixa de frequência, de forma que os valores inseridos sejam bastante superiores à rampa E máxima do relé.

A figura 13 apresenta o gráfico da onda triangular padrão utilizada para realização dos testes em laboratório, e a tabela 7 apresenta os valores de amplitudes e frequências para estes testes.

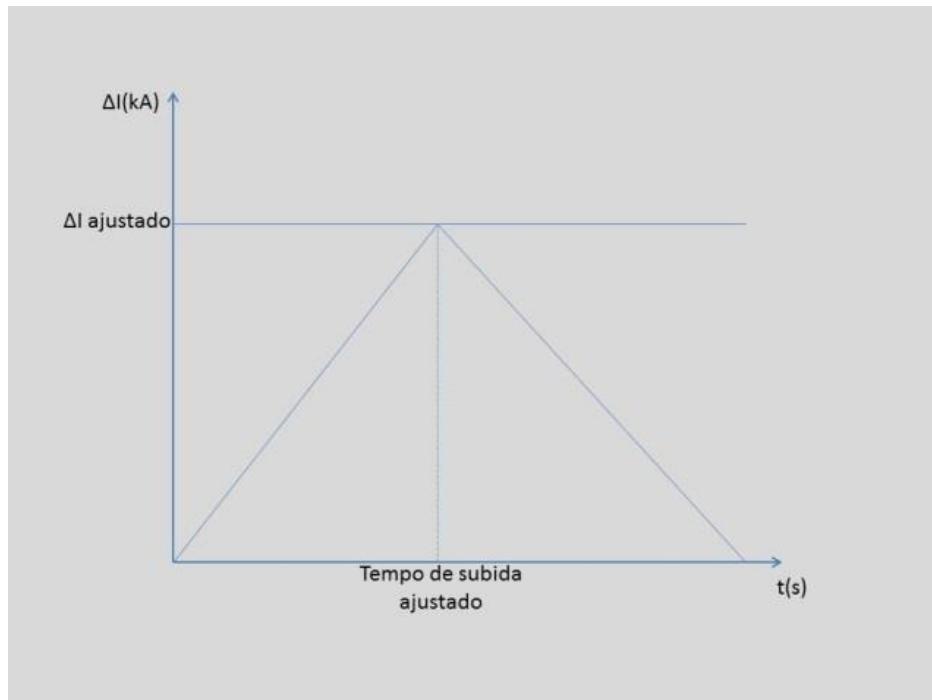


Figura 13 - Gráfico da onda triangular padrão utilizada para realização dos testes em laboratório.

FREQUÊNCIA (hz)	TEMPO (s)	ATUAÇÃO POR ΔI (kA)
12	0,041	7,5
22	0,022	7,5
50	0,010	7,5
12	0,041	3,75
22	0,022	3,75
50	0,010	3,75

Tabela 7 - Valores de amplitudes e frequências utilizados nos testes em laboratório.

2 - Na segunda etapa, é verificada a atuação do relé em todo o seu range de atuações possíveis, em função das rampas de $\Delta i/\Delta t$ – rampa E, que considera apenas as duas primeiras faixas de rampa, ou seja, E=1 e E=2, conforme tabela 8.

TESTES E AFERIÇÃO - ΔI			
ΔI	Tempo (s)	Tensão (Vpp)	E
1	0,1	0,5	1
2	0,2	1	1
3	0,3	1,5	1
4	0,4	2	1
5	0,5	2,5	1
6	0,6	3	1
7	0,7	3,5	1
8	0,8	4	1
9	0,9	4,5	1
10	1	5	1
1	0,05	0,5	2
2	0,1	1	2
3	0,15	1,5	2
4	0,2	2	2
5	0,25	2,5	2
6	0,3	3	2
7	0,35	3,5	2
8	0,4	4	2
9	0,45	4,5	2
10	0,5	5	2

Tabela 8 - Atuação por ΔI em função da rampa E.

3.2.3 ITENS NÃO VERIFICADOS NOS TESTES DE LABORATÓRIO

Os testes em laboratório permitem que seja verificada a atuação do relé por ΔI em todas as suas faixas de ajuste, além da realização do auto-teste, que permite validar a integridade de algumas funcionalidades do relé, como por exemplo, os seus modos de operação.

Porém os testes atuais estão limitados, por procedimento, às faixas de E=1 e E=2, devido à complexidade e tempo gasto no modelo atual. Entretanto, os relés DDL atualmente instalados em campo são ajustados, também por procedimento, para E=3.

Outro item não verificado em laboratório é a variável F, em função das limitações de tecnologia e da documentação existentes à época.

3.3 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE NOVA METODOLOGIA DE TESTES

3.3.1 PREMISSAS

Para o desenvolvimento do projeto, algumas premissas foram definidas de forma a otimizar os procedimentos de testes em laboratório e em campo, bem como torná-los mais eficazes, atendendo as características do relé, conforme seu projeto.

Algumas premissas destacam-se, a saber:

- Varredura de atuação do relé em todos os ΔI possíveis;
- Varredura de atuação do relé em todas as rampas E possíveis;
- Varredura de atuação e desativação em todas as combinações das rampas E e F possíveis;
- Aumento da confiabilidade dos testes em campo e em laboratório;
- Repetitividade;
- Registro e arquivo dos testes realizados;
- Verificação dos limiares de atuação dentro de uma faixa pré-estabelecida;
- Possibilidade de realização de testes com a composição com todas as combinações de faixas possíveis entre ΔI , E F(testes de laboratório);
- Possibilidade de realização de testes com a composição de uma única combinação de faixa possível entre ΔI , E F(teste de campo);
- Portabilidade dos equipamentos de testes;
- Possibilidade de implementação de novas parametrizações dos testes, em função de novas demandas técnicas.

3.3.2 ESBOÇO DA SOLUÇÃO

Diante das premissas definidas, a solução encontrada consiste basicamente na geração de uma função composta de uma rampa de inclinação E, uma rampa de inclinação F subsequente e uma rampa de finalização sequencial aleatória, todas com as variações de ΔI abrangendo a totalidade da sua faixa de ajuste.

A figura 14 apresenta o gráfico da função a ser geradas, em suas diversas combinações possíveis, para a implementação dos testes em campo e de laboratório.

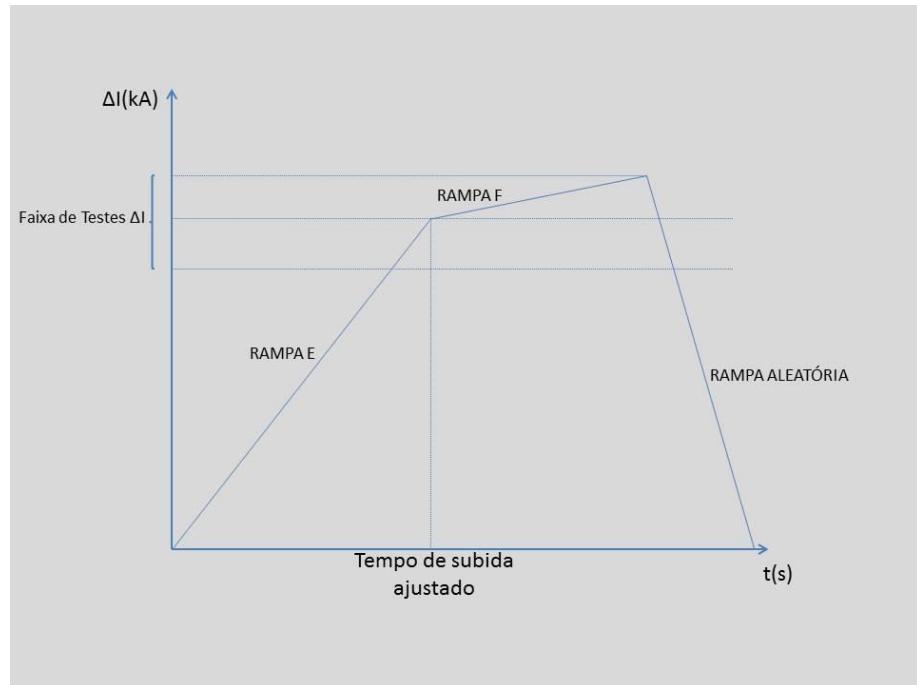


Figura 14 – Gráfico da Função gerada nos testes de campo e laboratório.

3.3.3 FLUXOGRAMA

Desta maneira, uma sequência de condições (testes do tipo “passa/não passa”) é aplicada no relé, buscando contemplar o comportamento para o qual foi projetado, resultando nas condições listadas a seguir.

- Condição 1 – Relé deve atuar com a aplicação de um ΔI superior ou igual ao ΔI parametrizado, durante aplicação de uma rampa E e rampa F, iguais às parametrizadas, conforme representado no gráfico da figura 15, se $di/dt > F$ durante toda a rampa de subida.

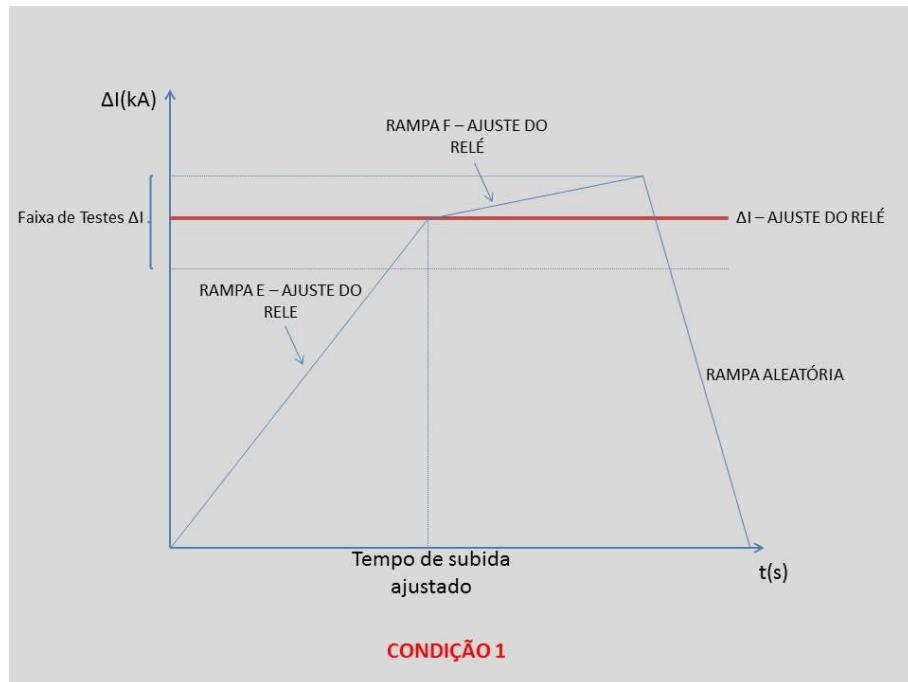


Figura 15 - Gráfico representativo da condição 1 – Fluxograma.

- Condição 2 – Relé não deve atuar com aplicação de um ΔI inferior ao ΔI parametrizado, durante aplicação de uma rampa E e rampa F, iguais às parametrizadas, conforme representado no gráfico da figura 16.

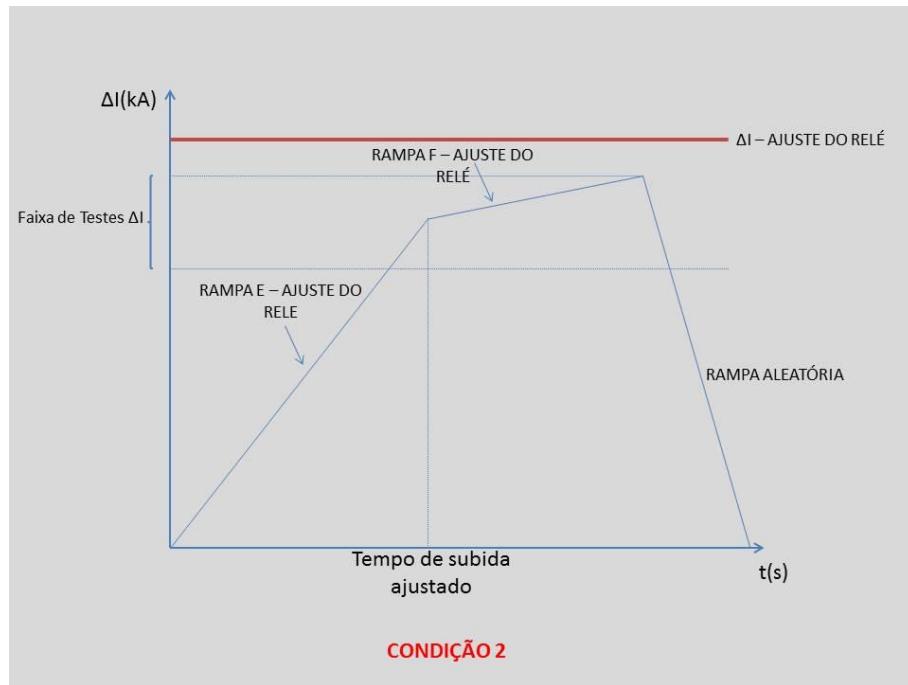


Figura 16 - Gráfico representativo da condição 2 – Fluxograma.

- Condição 3 - Relé não deve atuar com aplicação de um ΔI superior ou igual ao ΔI parametrizado, durante aplicação de uma rampa E inferior e uma rampa F, iguais às parametrizadas, conforme representado no gráfico da figura 17.

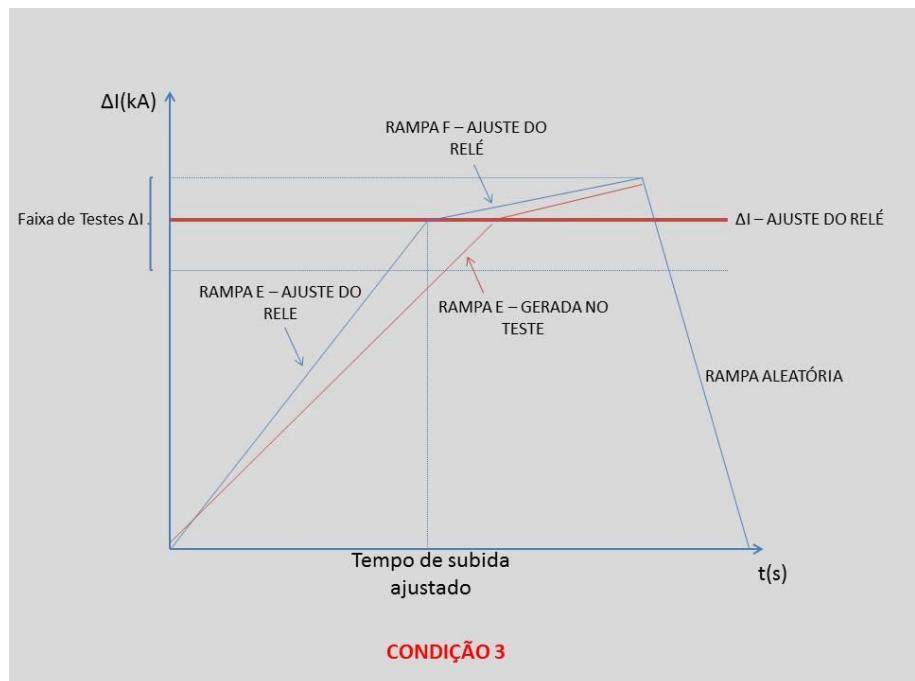


Figura 17 - Gráfico representativo da condição 3 – Fluxograma.

- Condição 4 - Relé deve atuar com aplicação de um ΔI superior ao ΔI parametrizado, durante aplicação de uma rampa E superior e uma rampa F, iguais às parametrizadas, conforme representado no gráfico da figura 18.

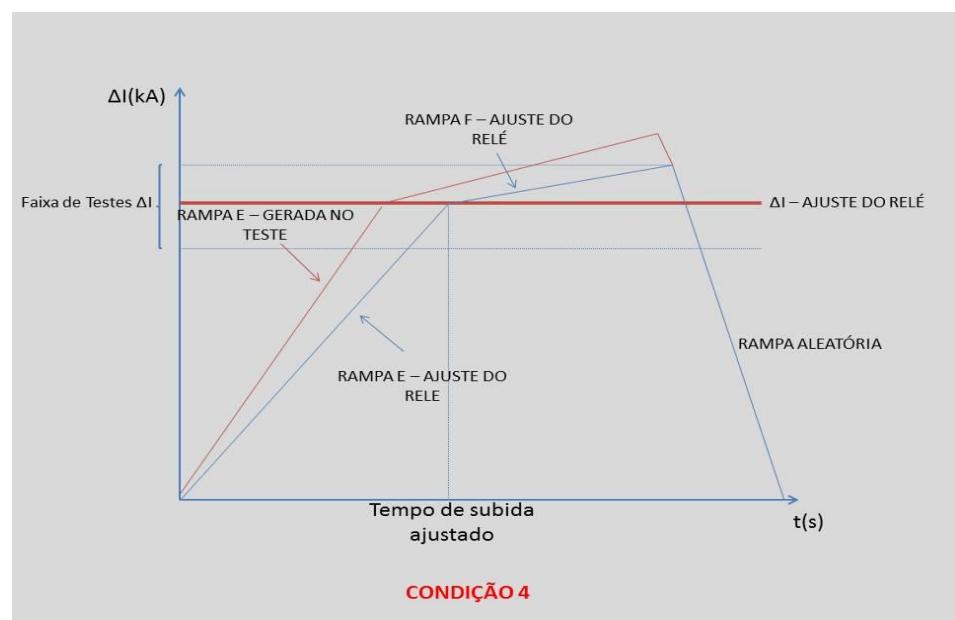


Figura 18 – Gráfico representativo da condição 4 – Fluxograma.

- Condição 5 - Relé deve atuar com aplicação de ΔI igual ou superior ΔI parametrizado, durante aplicação da composição de duas rampas somadas, sendo a primeira referente a E, e a outra, referente a F, conforme representado no gráfico da figura 19.

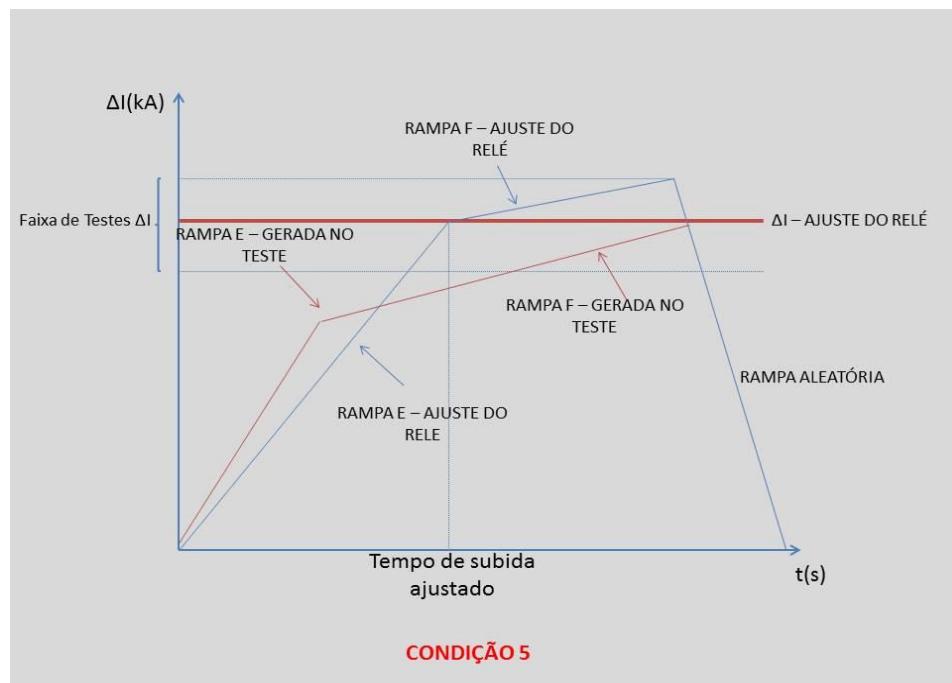


Figura 19 - Gráfico representativo da condição 5 – Fluxograma.

A figura 20 apresenta o fluxograma dos testes a serem realizados em campo.

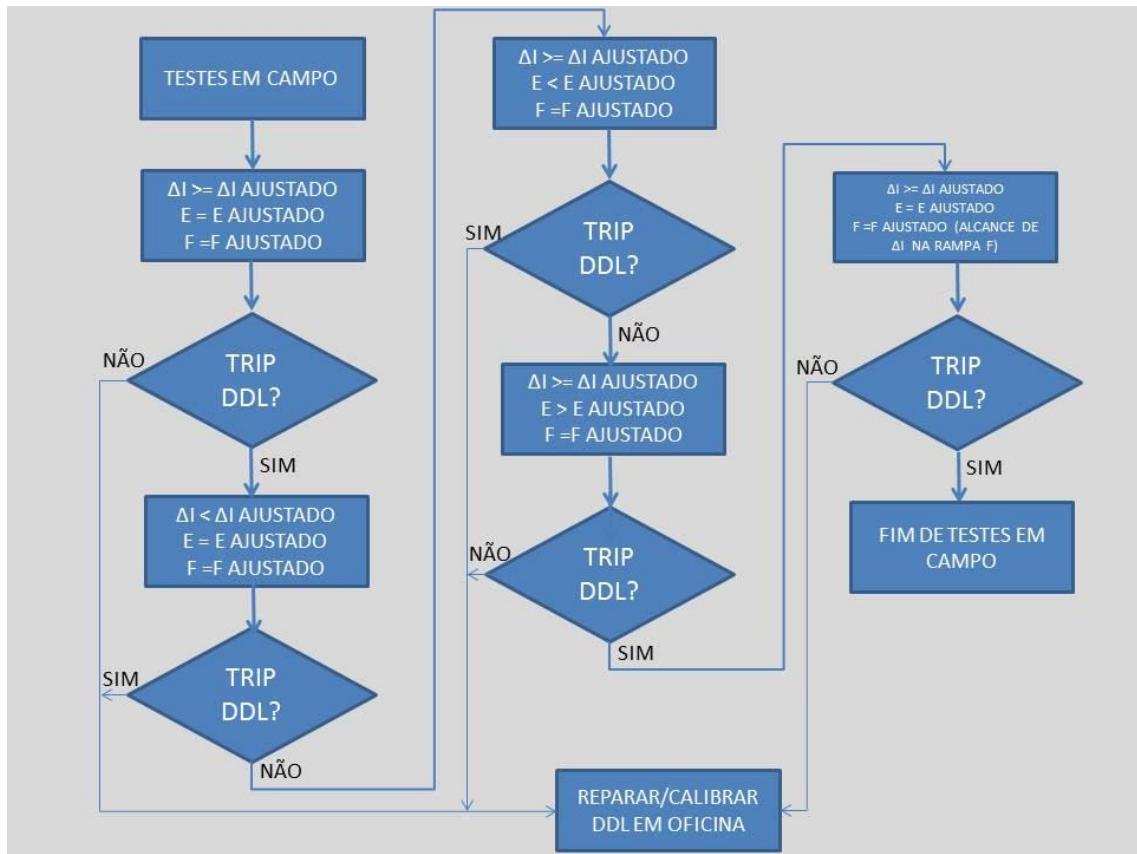


Figura 20 - Fluxograma dos testes a serem realizados em campo.

De forma análoga, os testes em laboratório deverão obrigatoriamente passar pelo fluxograma listado na figura 20.

Além disto, nos testes em laboratório deverão ser realizadas todas as combinações possíveis de rampas E e F e atuações em ΔI do relé, conforme fluxograma descrito na figura 21.

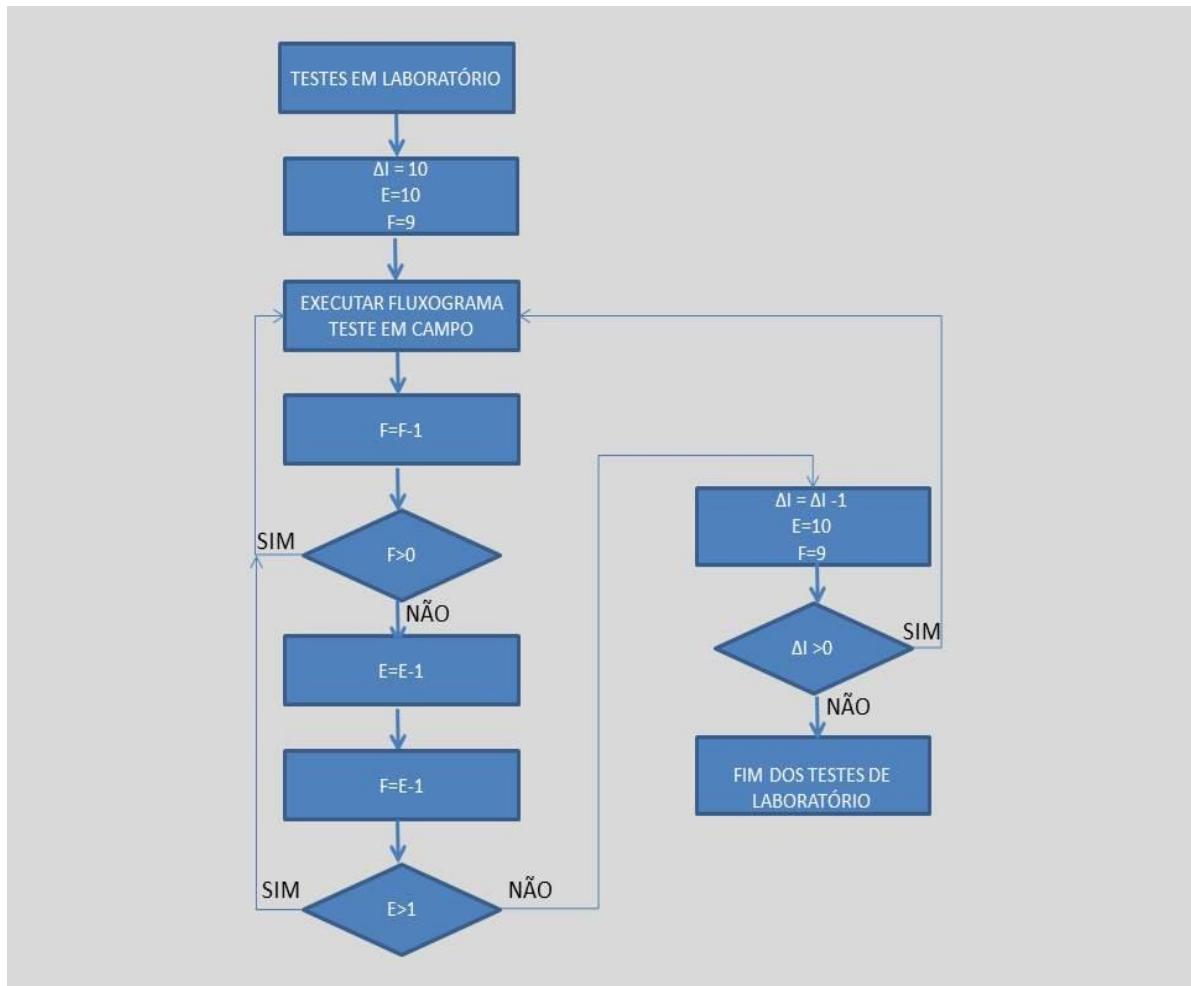


Figura 21 - Fluxograma dos testes a serem realizados em laboratório.

3.3.4 IMPLEMENTAÇÃO

A implementação das lógicas descritas nos fluxogramas das figuras 20 e 21, poderia ser realizada por meio de programação de linguagem de instrumentação virtual com hardwares e acessórios, constituindo assim uma jiga de testes.

No entanto optou-se pela utilização de uma fonte programável de última geração, modelo N6705B de fabricação KEYSIGHT, que possibilitou a programação de curvas sequenciais, ajustando-se às necessidades descritas para a realização dos testes, conforme fluxogramas das figuras 20 e 21.

Para tanto, foi necessária a realização da parametrização do instrumento. Foram utilizadas cinco parametrizações, obedecendo a lógica estabelecida no fluxograma dos testes, conforme figuras 20 e 21.

3.3.4.1 CÓDIGO DA PARAMETRIZAÇÃO

No anexo I, encontra-se listado o exemplo da parametrização do instrumento utilizado para a realização dos testes, no qual está listada a geração de três rampas subsequentes, conforme mostrado na figura 14.

A sequência apresentada no anexo descreve a condição que o relé não deve atuar com aplicação de um ΔI superior ou igual ao ΔI parametrizado, durante aplicação de uma rampa E inferior (rampa com valor de di/dt inferior ao parâmetro E ajustado no relé) e uma rampa F iguais à parametrizada (rampa F com valor de di/dt igual ao parâmetro F ajustado no relé).

3.3.4.2 VALORES DE PARAMETRIZAÇÃO

Para as diversas combinações de parametrizações das curvas, foi estabelecido um banco de pontos paramétricos, que estabelecem todas as possibilidades de testes, de forma que podem ser realizados cerca de 2250 ensaios. No anexo II, encontra-se a tabela de parametrização, para o ΔI escolhido igual a 10, considerando-se a condição 1, conforme figura 15. Os pontos listados em cada combinação constituem a sequência das coordenadas dos quatro pontos básicos que formarão a curva descrita na figura 14.

3.3.4 RESULTADOS

Para realização dos ensaios em laboratório, foram utilizados equipamentos de propriedade do Metrô de São Paulo, aferidos e calibrados conforme padrões de qualidade.

A seguir é apresentada a relação de equipamentos utilizados nas medições:

- Fonte programável modelo N6705B de fabricação KEYSIGHT;
- Osciloscópio 4 Canais Tektronix Mod: 3054C

- Fonte Agilent N5750A 150 Volts 5 Ampéres
- Notebook Elitebook 8440P da HP;
- Multímetro FLUKE 6 e meio dígitos modelo 8846^a
- Multímetro Agilent U1252B.

A figura 22 ilustra a montagem dos equipamentos e a realização dos testes em laboratório.

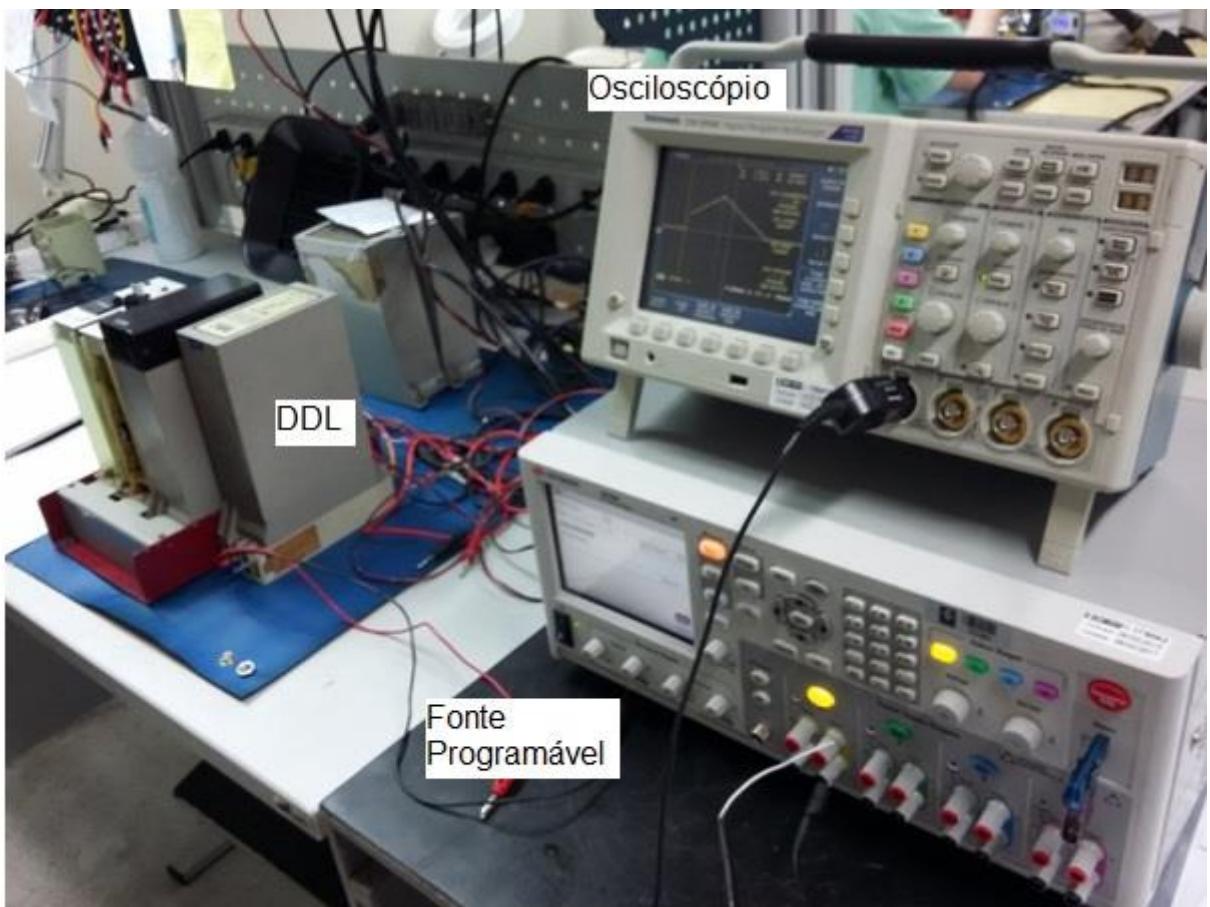


Figura 22 - Montagem dos equipamentos e a realização dos testes em laboratório.

As figuras 23, 24, 25, 26 e 27 apresentam as curvas para validação dos testes propostos para o relé, considerando-se $\Delta I=10$ (7,5kA), $E=3$ (45 kA/s) e $F=1$ (7,5kA/s), conforme as condições apresentadas no item 3.3.3.

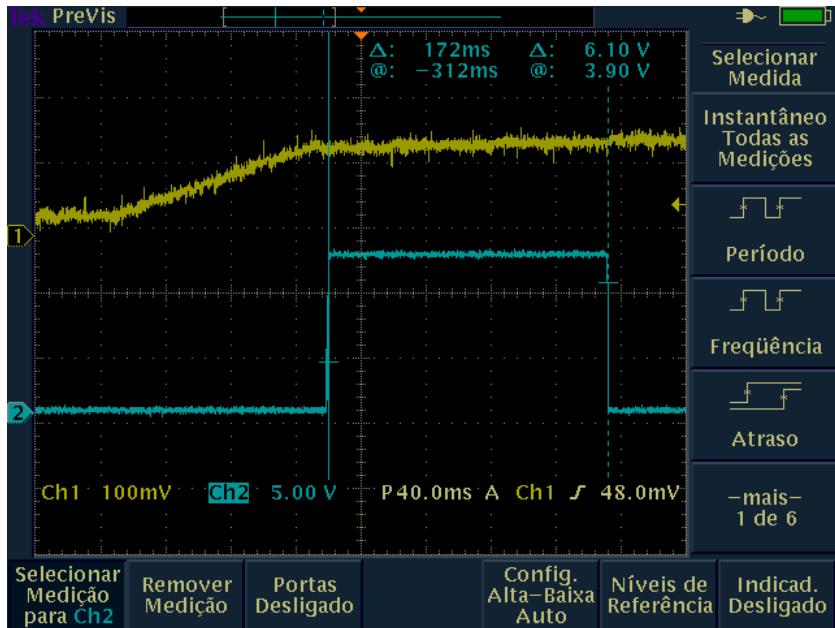


Figura 23 - Simulação da condição 1 _ em amarelo – Sinal de Corrente (7,5kA/div);em azul - Sinal de Trip.

Condição 1 – Relé deve atuar com a aplicação de um ΔI superior ou igual ao ΔI parametrizado, durante aplicação de uma rampa E e rampa F, iguais às parametrizadas (rampas com valor de di/dt iguais aos parâmetros E e F ajustados no relé), conforme representado no gráfico da figura 15, se $di/dt > F$ durante toda a rampa de subida.

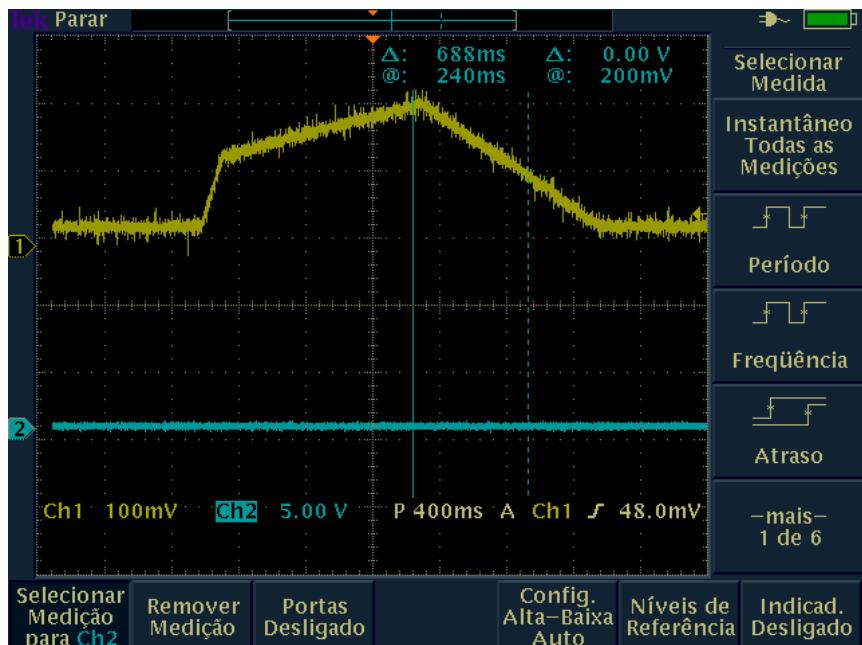


Figura 24 - Simulação da condição 2 _ em amarelo - Sinal de Corrente (7,5kA/div); em azul - Sinal de Trip .

Condição 2 – Relé não deve atuar com aplicação de um ΔI inferior ao ΔI parametrizado, durante aplicação de uma rampa E e rampa F, iguais às parametrizadas (rampas com valor de di/dt iguais aos parâmetros E e F ajustados no relé), conforme representado no gráfico da figura 16.

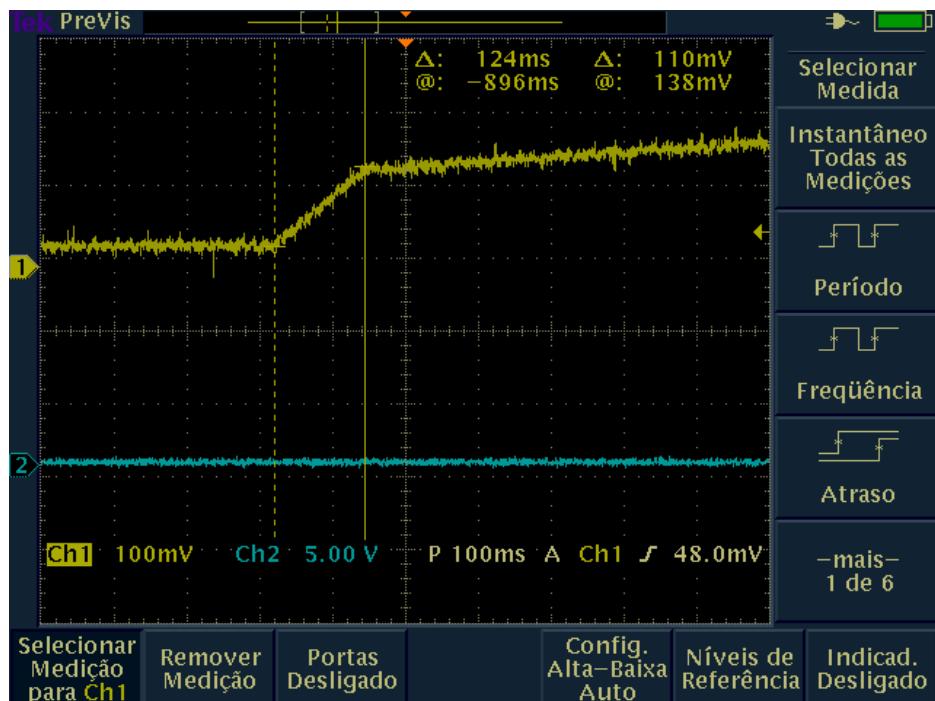


Figura 25 - Simulação da condição 3 _ em amarelo - Sinal de Corrente (7,5kA/div); em azul - Sinal de Trip.

Condição 3 - Relé não deve atuar com aplicação de um ΔI superior ou igual ao ΔI parametrizado, durante aplicação de uma rampa E inferior (rampa com valor de di/dt inferior ao parâmetro E ajustado no relé) e uma rampa F igual à parametrizada (rampa F com valor de di/dt igual ao parâmetro F ajustado no relé), conforme representado no gráfico da figura 17.

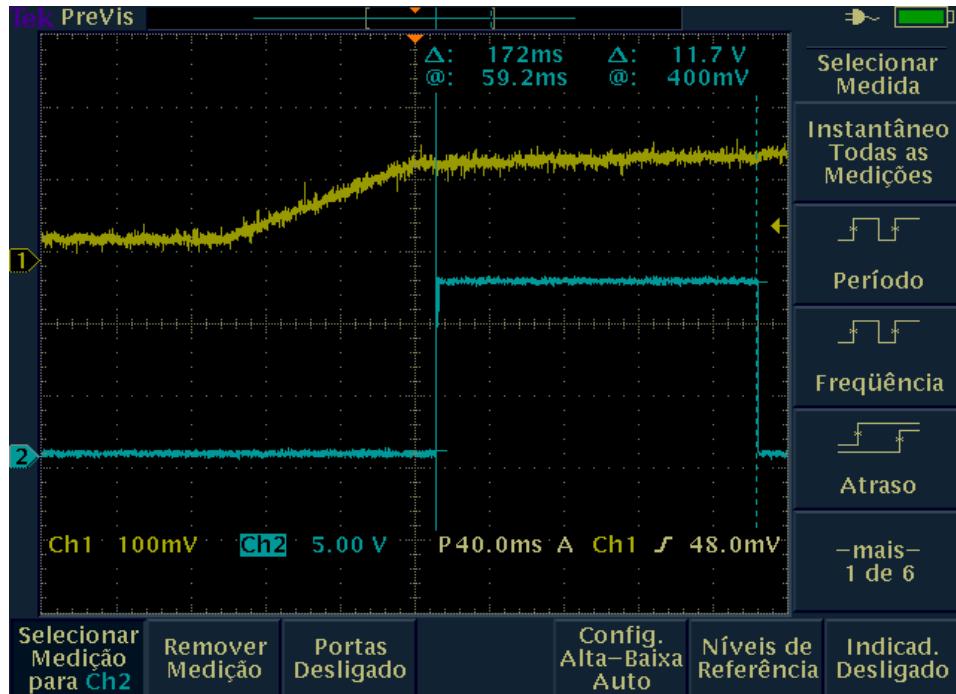


Figura 26 - Simulação da condição 4 _ em amarelo - Sinal de Corrente (7,5kA/div); em azul - Sinal de Trip.

Condição 4 - Relé deve atuar com aplicação de um ΔI superior ao ΔI parametrizado, durante aplicação de uma rampa E superior (rampa com valor de di/dt superior ao parâmetro E ajustado no relé) e uma rampa F igual à parametrizada (rampa F com valor de di/dt igual ao parâmetro F ajustado no relé), conforme representado no gráfico da figura 18.

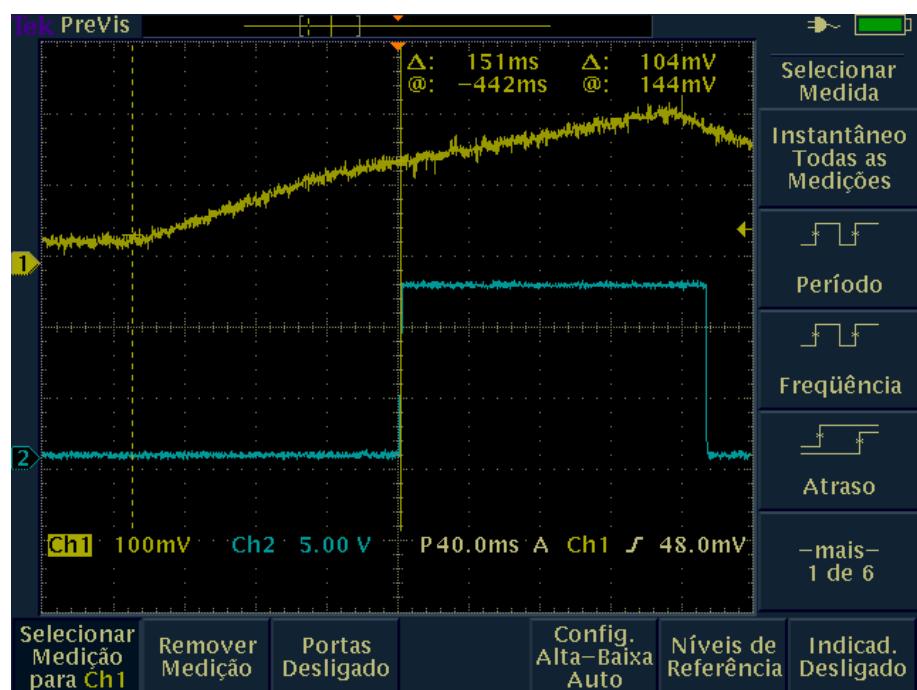


Figura 27 - Simulação da condição 5 _ em amarelo - Sinal de Corrente (7,5kA/div); em azul - Sinal de Trip.

4. PROPOSTA DE PROJETO FUTURO

A continuidade deste trabalho pode caminhar para a simplificação ou compactação dos equipamentos para realização da manutenção conforme o novo método.

Para aplicação das equipes de manutenção em campo, todas as funções realizadas com os instrumentos utilizados ao longo dos trabalhos aqui descritos poderiam ser implementadas através de linguagem de instrumentação virtual. Este novo equipamento compacto para manutenção aperfeiçoaria os trabalhos, por diminuir tamanhos e conexões, e simplificar os processos.

5. CONCLUSÃO

Em virtude da necessidade de mudanças de frotas e linhas em que estes trens circularão, devido a necessidades operacionais, novas parametrizações dos relés para adequação as suas novas demandas de proteção deverão acontecer constantemente.

A metodologia apresentada na realização de testes e verificação de todas as funcionalidades do relé mostrou-se eficiente, por permitir a verificação dos diversos parâmetros em todas as faixas possíveis de ajuste.

A calibração dos relés em suas novas faixas de atuação dentro dos laboratórios oferece um grande ganho no processo de manutenção, com a garantia de sua atuação dentro da faixa a qual foi parametrizado.

Um dos ganhos consideráveis no processo de manutenção refere-se à minimização dos tempos empregados em calibração, ensaio, pesquisas e testes tanto em campo quanto em laboratório.

O modelo proposto tornar-se-ia mais eficiente se ajustado dentro de um software em uma instrumentação virtual. Desta forma a sequência de realização de testes poderia ser realizada em um tempo menor. O registro de cada sequência de testes poderia ficar mais bem armazenado. Com a instrumentação virtual poder-se-ia criar uma interface de usuário apropriada para melhor adequação ao propósito da aplicação.

O relé apresenta potenciômetros de ajustes das variáveis ΔI , E e F e consequentemente o ajuste em faixas intermediárias às definidas. Com o modelo proposto, é possível a utilização destas faixas, desde que a configuração das correntes na linha exija este grau de ajuste mais apurado, pois seria necessária apenas a reparametrização das tabelas já apresentadas.

O modelo proposto poderia substituir o modelo atual dos testes em campo, que se utiliza de um multímetro para a verificação de atuação ou não do DDL. Desta forma não é assegurada a atuação dentro dos ajustes das três variáveis analisadas ΔI , E e F.

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/demanda.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.

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.

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.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.

ANEXO I – CÓDIGO DA PARAMETRIZAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA NOS PROCEDIMENTOS DE TESTES

```
-- N6705X arb sequence -->

<arbseq type="volt">

    <continuous>0</continuous>

    <count>1</count>

    <step>

        <continuous>0</continuous>

        <count>1</count>

        <pacing>dwell</pacing>

        <ramp>

            <level>

                <end>0.205</end>

                <start>0.025</start>

            </level>

            <time>

                <delay>0</delay>

                <end>0</end>

                <ramp>0.225</ramp>

            </time>

        </ramp>

    </step>

    <step>

        <continuous>0</continuous>

        <count>1</count>

        <pacing>dwell</pacing>

        <ramp>

            <level>

                <end>0.3805</end>

                <start>0.205</start>

            </level>

        </ramp>

    </step>

</arbseq>
```

```
</level>

<time>
    <delay>0</delay>
    <end>0</end>
    <ramp>1.2</ramp>
</time>

</ramp>

</step>

<step>
    <continuous>0</continuous>
    <count>1</count>
    <pacing>dwell</pacing>
    <ramp>
        <level>
            <end>0</end>
            <start>0.3805</start>
        </level>
        <time>
            <delay>0</delay>
            <end>0</end>
            <ramp>1.2</ramp>
        </time>
    </ramp>
</step>
```

**ANEXO II – VALORES DE PARAMETRIZAÇÃO DAS CURVAS PARA A
REALIZAÇÃO DOS TESTES LABORATORIAIS E DE CAMPO**

CURVA 1 - $\Delta I = 10$										
E / F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	xxxxxx	xxxxxx	xx							
2	(0,0);(0,3;0,18);(0,5;0,21);(0,6;0)	xxxxxx	xxxxxx	xx						
3	(0,0);(0,2;0,18);(0,4;0,21);(0,6;0)	(0,0);(0,2;0,18);(0,4;0,24);(0,6;0)	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xx xx x
4	(0,0);(0,15;0,18);(0,35;0,21);(0,6;0)	(0,0);(0,15;0,18);(0,35;0,24);(0,6;0)	(0,0);(0,15;0,18);(0,35;0,27);(0,6;0)	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xx xx x
5	(0,0);(0,12;0,18);(0,32;0,21);(0,6;0)	(0,0);(0,12;0,18);(0,32;0,24);(0,6;0)	(0,0);(0,12;0,18);(0,32;0,27);(0,6;0)	(0,0);(0,12;0,18);(0,32;0,30);(0,6;0)	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xx xx xx x
6	(0,0);(0,10;0,18);(0,3;0,21);(0,6;0)	(0,0);(0,10;0,18);(0,3;0,24);(0,6;0)	(0,0);(0,10;0,18);(0,3;0,27);(0,6;0)	(0,0);(0,10;0,18);(0,3;0,30);(0,6;0)	(0,0);(0,10;0,18);(0,3;0,33);(0,6;0)	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xx xx xx x
7	(0,0);(0,088;0,18);(0,29;0,21);(0,6;0)	(0,0);(0,088;0,18);(0,29;0,24);(0,6;0)	(0,0);(0,088;0,18);(0,29;0,27);(0,6;0)	(0,0);(0,088;0,18);(0,29;0,30);(0,6;0)	(0,0);(0,088;0,18);(0,29;0,33);(0,6;0)	(0,0);(0,088;0,18);(0,29;0,36);(0,6;0)	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xx xx xx x
8	(0,0);(0,075;0,18);(0,275;0,21);(0,6;0)	(0,0);(0,075;0,18);(0,275;0,24);(0,6;0)	(0,0);(0,075;0,18);(0,275;0,27);(0,6;0)	(0,0);(0,075;0,18);(0,275;0,30);(0,6;0)	(0,0);(0,075;0,18);(0,275;0,33);(0,6;0)	(0,0);(0,075;0,18);(0,275;0,36);(0,6;0)	(0,0);(0,075;0,18);(0,275;0,39);(0,6;0)	xxxxxx	xxxxxx	xx xx xx x
9	(0,0);(0,066;0,18);(0,266;0,21);(0,6;0)	(0,0);(0,066;0,18);(0,266;0,24);(0,6;0)	(0,0);(0,066;0,18);(0,266;0,27);(0,6;0)	(0,0);(0,066;0,18);(0,266;0,30);(0,6;0)	(0,0);(0,066;0,18);(0,266;0,33);(0,6;0)	(0,0);(0,066;0,18);(0,266;0,36);(0,6;0)	(0,0);(0,066;0,18);(0,266;0,39);(0,6;0)	(0,0);(0,066;0,18);(0,266;0,42);(0,6;0)	xxxxxx	xx xx xx x
10	(0,0);(0,060,18);(0,260,21);(0,6;0)	(0,0);(0,060,18);(0,260,24);(0,6;0)	(0,0);(0,060,18);(0,260,27);(0,6;0)	(0,0);(0,060,18);(0,260,30);(0,6;0)	(0,0);(0,060,18);(0,260,33);(0,6;0)	(0,0);(0,060,18);(0,260,36);(0,6;0)	(0,0);(0,060,18);(0,260,39);(0,6;0)	(0,0);(0,060,18);(0,260,42);(0,6;0)	(0,0);(0,060,18);(0,260,45);(0,6;0)	xx xx xx x