

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

Restabelecimento de Redes de Distribuição
sob Condição de Falta Permanente Através
de Sistema Próprio de Sinalização

Matheus Lasmar Pereira

Itajubá, 16 de agosto de 2018

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

Matheus Lasmar Pereira

**Restabelecimento de Redes de Distribuição
sob Condição de Falta Permanente Através
de Sistema Próprio de Sinalização**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Orientador: Prof. Dr. Estácio Tavares Wanderley Neto

**16 de agosto de 2018
Itajubá**

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus, por permitir o desenvolvimento do trabalho com saúde, segurança e empenho.

Aos meus pais, Júlio César Campos Pereira e Selma Lopes Lasmar Pereira, bem como toda minha família, por estarem ao meu lado, sempre dispostos a ouvir e compartilhar todas as emoções encontradas ao longo desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Estácio Tavares Wanderley Neto, pela orientação, atenção às necessidades do trabalho, apoio e sugestões enriquecedoras.

A equipe HVEX, em especial aos sócios Renato Massoni Capelini, Guilherme Martinez Figueiredo Ferraz e Rogério Salustiano, que também contribuíram de forma ímpar para a concretização deste trabalho no meu amadurecimento profissional.

Aos colegas do Laboratório de Alta Tensão, pela confiança, amizade e aprendizado.

À UNIFEI, pelo ensino e estrutura disponibilizados. A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

*"Alguns homens vêem as coisas como são, e dizem 'Por quê?' Eu sonho com as coisas
que nunca foram e digo 'Por que não?'"*
(Geroge Bernard Shaw)

Resumo

O restabelecimento de redes rurais em condições de falta permanente impõe algumas dificuldades às equipes de atendimento, o que resulta em elevado tempo de indisponibilidade do alimentador e deteriora os indicadores de qualidade de serviço. Desprovidas de elementos de proteção sofisticados e com um número limitado de religadores, alguns defeitos podem causar a desconexão de trechos com elevada extensão territorial, que cortam morros, vegetações, e que, de forma geral, impõem dificuldade no acesso e inspeção da rede. Essa condição ainda pode ser agravada pela falta de cobertura telefônica, condições meteorológicas e horário da ocorrência. Por isso, o presente trabalho propõe um novo método de restabelecimento com utilização de um sistema próprio de sinalização de falta, capaz de agilizar o processo de atendimento. O sistema é composto por indicadores de falta de instalação temporária com módulo de comunicação Xbee, uma central móvel para parametrização e operação dos sensores e um *software* para indicação georreferenciada dos dispositivos. O método proposto é aplicado em diferentes alimentadores reais sob diferentes condições. Os resultados apontam que a aplicação do mesmo pode reduzir em até 60% o tempo de localização do trecho com defeito se comparada com os procedimentos atuais. Destacam-se também, como vantagens do método supramencionado, a redução de exposição da equipe de atendimento a condições desfavoráveis de trabalho e a diminuição de custos hora homem.

Palavras-chaves: Indicadores de Falta, Qualidade de Serviço, Restabelecimento de Energia, Alimentadores Rurais, Módulo Xbee, Sistema Georreferenciado.

Abstract

The reestablishment of rural networks in conditions of permanent fault imposes some difficulties on the maintenance teams that result in a high time of unavailability of the overhead distribution network and worsen the indicators of quality of service. Devoid of sophisticated protection elements and with a limited number of reclosers, some defects can cause the disconnection of branches with high territorial extension, which crossing hills, vegetation, and that, in general, impose difficulty in access and inspection of the network. This condition can still be aggravated by the lack of telephone coverage, meteorological conditions and time of occurrence. Therefore, the present work proposes a new methodology of restoration with the use of own fault indicator system capable of assisting and streamlining the process of attending to these critical cases. The system consists of fault indicators for temporary installation with Xbee communication module, a mobile central for parameterization and operation of the sensors, and software for georeferenced indication of the devices. The proposed methodology is applied in different real distributions networks under different conditions. The results indicate that the application of the proposed methodology can reduce the location of the fault branch by up to 60% compared to current methodologies. Other gains of the methodology are the reduction of exposure to unfavorable conditions and maintenance costs.

Key-words: Fault Indicators, Quality of Service, Rural Overhead Networks, Xbee Module, Geographic System.

Lista de Figuras

Figura 1 – Apuração dos indicadores de qualidade até o ano de 2017.(ANEEL, 2018)	17
Figura 2 – Exemplo de aplicação do método de pesquisa de faltas auxiliada por IF.	21
Figura 3 – Gráfico: Alcance da comunicação X potência transmissão – com obstáculos. Adaptado de (YANG et al., 2014).	24
Figura 4 – Indicador de falta para redes aéreas Horstmann Navigator. (HORSTMANN, 2015)	26
Figura 5 – IF trifásico P360 Alpha, fabricado pela Streamer (STREAMER, 2017).	27
Figura 6 – Princípio de funcionamento do IF trifásico. Adaptado de (STREAMER, 2017).	27
Figura 7 – IF com indicação por bandeirola Cooper STAR (COOPER, 2015). O display circular em formato de bolha e a pintura reflexiva da bandeirola facilitam a leitura do estado do IF.	28
Figura 8 – Base do IF SELAR-OH (SCHWEITZER, 2015b), onde está localizada a sinalização luminosa.	29
Figura 9 – IF com sinalização local híbrida (luminosa e bandeirola) - modelo EMG-FLA (ELEKTRO-MECHANIK, 2016).	29
Figura 10 – Chave magnética SEL CRSRTT (SCHWEITZER, 2015a).	30
Figura 11 – Topologia de rede de comunicação mais usual. Figura adaptada de (HORSTMANN, 2015).	31
Figura 12 – Curva de trip ajustável do SELWSO-11 (SCHWEITZER, 2015c).	32
Figura 13 – Momentos de leitura de corrente para distinção entre faltas permanentes e momentâneas do WSO-11. Adaptado de (SCHWEITZER, 2015c). Falta representada: permanente.	33
Figura 14 – Momentos de leitura de corrente para distinção entre faltas permanentes e momentâneas do WSO-11. Adaptado de (SCHWEITZER, 2015c). Falta representada: momentânea.	34
Figura 15 – Exemplo de surto de corrente não relacionado a qualquer tipo de falta. Adaptado de (SCHWEITZER, 2015c).	35
Figura 16 – Exemplo de aumento súbito da corrente devido ao incremento de carga. Adaptado de (SCHWEITZER, 2015c).	35
Figura 17 – Exemplo de corrente de backfeed depois de uma falta. Adaptado de (SCHWEITZER, 2015c).	36
Figura 18 – Topologia de rede de comunicação do WSO-11. Adaptado de (SCHWEITZER, 2015c).	37
Figura 19 – Definição dos blocos de restabelecimento	42
Figura 20 – Ilustração do procedimento de instalação dos IFT.	43

Figura 21 – Definição dos blocos e sub-blocos.	44
Figura 22 – Resultado do caso 1: instalação de IFT em todos os sub-blocos.	48
Figura 23 – Resultado do caso 2: instalação de IFT no final do alimentador.	49
Figura 24 – Resultado do caso 3: instalação de IFT no nó 441 do alimentador.	50
Figura 25 – Resultado do caso 4: instalação de IFT nos nós 441 e 919 do alimentador.	51
Figura 26 – Estrutura monofásica do tipo ancoragem - U4 (ENERGISA, 2012).	52
Figura 27 – Abertura do <i>jumper</i> . Adaptado de (ENERGISA, 2012).	53
Figura 28 – Rede didática - Zona de Proteção da chave fusível atuada.	54
Figura 29 – Rede didática - Novo espaço de busca.	54
Figura 30 – Grampo de linha viva. Modificado de CEB (2013).	57
Figura 31 – Central de operação.. . . .	59
Figura 32 – Topologia com a central de operação.	59
Figura 33 – Sinalizador desenvolvido pra instalação temporária.	62
Figura 34 – Software de operação - rede fictícia.	64
Figura 35 – Localização dos pontos V01 e V02, distantes entre si de 10 km em visada direta.	66
Figura 36 – Perfil de elevação entre os pontos V01 (direita) e V02 (esquerda).	67
Figura 37 – Ponto V01, com a central conectada ao PC para avaliação do software.	67
Figura 38 – Sinalizador 1 posicionado no ponto V02.	67
Figura 39 – Sinalizador 2 (esquerda) em teste com a central.	68
Figura 40 – Resultado da comunicação entre os sinalizadores 1 e 2 com a central.	68
Figura 41 – Pontos de referência do ensaio.	69
Figura 42 – Rota 1– de BASE para P02.	71
Figura 43 – Ponto E03 – Rota 1.	71
Figura 44 – Perfil de elevação entre os pontos BASE e P02.	72
Figura 45 – Rota 2 – de BASE para P01.	72
Figura 46 – Áreas de falha intermitente (1 e 2) e de falha completa (3).	73
Figura 47 – Perfil de elevação entre os pontos BASE e P01.	73
Figura 48 – Perfil de elevação entre o ponto BASE e a área 1.	74
Figura 49 – Rota 3 – de P01 para P09.	74
Figura 50 – Rota 4 – de P09 para BASE.	75
Figura 51 – Rota 5 – de BASE para P14.	75
Figura 52 – Perfil de elevação entre o ponto BASE e o ponto E06.	76
Figura 53 – Perfil de elevação entre os pontos BASE e E07.	77
Figura 54 – Mapa da região dos ensaios com os pontos de interesse.	80
Figura 55 – Ponto de instalação dos sinalizadores.	81
Figura 56 – Drone com o circuito eletrônico repetidor.	82
Figura 57 – Mapa dos pontos de instalação dos Sinalizadores - Boqueirão - S00	83
Figura 58 – Mapa dos pontos de instalação dos Sinalizadores - Boqueirão - S20	84

Figura 59 – Mapa dos pontos de instalação dos Sinalizadores - Areia - S00	86
Figura 60 – Teste de comunicação - Central de operação e software georreferenciado.	87
Figura 61 – Teste de comunicação - Software georreferenciado.	87
Figura 62 – Mapa dos pontos de instalação dos Sinalizadores - Areia - S10	88
Figura 63 – Deslocamento total de S00 para P02	89
Figura 64 – Rota para deslocamento de S00 para P01	89
Figura 65 – Rota para deslocamento de S01 para P02	90
Figura 66 – Deslocamento total de S20 para P01	91
Figura 67 – Deslocamento total de P21 para P22	92
Figura 68 – Unifilar sistema IEEE 13 barras (USIDA, 2011).	100
Figura 69 – Unifilar sistema IEEE 13 barras - Tronco principal em destaque (USIDA, 2011).	104

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Alcance da comunicação X potência transmissão. (YANG et al., 2014)	24
Tabela 2 – Dados de linha de um alimentador real.	45
Tabela 3 – Características do alimentador de estudo. Modificado de (USIDA, 2011)	46
Tabela 4 – Nós com chaves de manobra	47
Tabela 5 – Caso 1: Entrada dos dados - Nós de instalação dos IFT	47
Tabela 6 – Resultado caso 1: instalação de IFT em todos os sub-Blocos.	47
Tabela 7 – Caso 2: Entrada dos dados - Nós de instalação dos IFT	48
Tabela 8 – Resultado caso 2: instalação de IFT no final do alimentador.	49
Tabela 9 – Caso 3: Entrada dos dados - Nós de instalação dos IFT	49
Tabela 10 – Resultado caso 3: instalação de IFt no nó 441 do alimentador	50
Tabela 11 – Caso 4: Entrada dos dados - Nós de instalação dos IFT	50
Tabela 12 – Resultado caso 4: instalação de IFT nos nós 441 e 919 do alimentador	51
Tabela 13 – Descrição dos procedimento adotados para atendimento da ocorrência.	56
Tabela 14 – Descrição dos procedimento simulados para atendimento à ocorrência.	57
Tabela 15 – Pontos de referência para os ensaios.	70
Tabela 16 – Pontos de instalação dos Sinalizadores - Miradouro	80
Tabela 17 – Pontos de instalação dos Sinalizadores - Boqueirão - S00	83
Tabela 18 – Pontos de instalação dos Sinalizadores - Boqueirão - S20	85
Tabela 19 – Pontos de instalação dos Sinalizadores - ARA-L2-S00	86
Tabela 20 – T_3 estimado para a sequência de teste BQR-S00	90
Tabela 21 – T_3 estimado para a sequência de teste ARA-S00	91
Tabela 22 – T_3 estimado para a sequencia de teste BQR-S20	92
Tabela 23 – T_3 estimado para a sequencia de teste BQR-S20 - Duas equipes de atendimento	93
Tabela 24 – T_3 estimado para a sequencia de teste Miradouro	93
Tabela 25 – T_3 estimado para a sequencia de teste Miradouro - Duas equipes de atendimento	93

Lista de Abreviatura e Siglas

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APR	Análise Preliminar de Risco
COD	Centro de Operação da Distribuição
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
EPC	Equipamento de proteção coletiva
EPI	Equipamento de proteção individual
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FI	<i>Fault Indicator</i>
FCI	<i>Fault Circuit Indicator</i>
G.A	<i>Genetics Algorithm</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
I_{at}	Corrente de ativação
I_{trip}	Corrente de gatilho (Trip)
IF	Indicador de Falta
IFT	Indicador de Falta Temporário
IHM	Interface Homem Maquina
I_m	Corrente mínima medida pelo sensor
IOT	<i>Internet Of Things</i>

JOSM	<i>Java OpenStreet Map Editor</i>
SCADA	Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados
T_{af}	Tempo de análise de falta
T_{at}	Tempo de ativação
T_{pc}	Tempo de perda de corrente
T_{prot}	Tempo de proteção
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Relevância do Tema	15
1.2	Motivação	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Métodos de Pesquisa de Falhas em Redes de Distribuição	18
2.1.1	Método Sem Auxílio de Ferramentas	18
2.1.2	Método Auxiliado Por Indicadores de Falta	19
2.1.3	Métodos Avançados de Alocação de Indicadores de Falhas	22
2.2	Ferramentas de Sinalização de Falta	25
2.2.1	Tipos de Indicadores de Falta	25
2.3	Principais Funcionalidades e Filosofia de Operação	28
2.3.1	Indicadores de Falta Com Sinalização Local	28
2.3.2	Indicadores de Falta Com Sinalização Remota	30
2.3.3	Funcionalidades Avançadas	32
2.3.3.1	Ajuste Automático do Trip	32
2.3.4	Distinção Entre Tipos de Falhas	33
2.3.5	Proteções Contra Falsos Diagnósticos	33
2.3.6	Sistemas de Comunicação e Sinalização Remota	36
3	DESENVOLVIMENTO DO NOVO MÉTODO DE RESTABELECIMENTO	38
3.1	Proposta do Novo Método	38
3.2	Modelagem do Processo de Pesquisa pelo Defeito	40
3.2.1	Estimativa do Tempo de Pesquisa (t_3)	41
3.2.1.1	Equacionamento do Método Trecho a Trecho	41
3.2.1.2	Equacionamento da Novo Método com Instalação dos IFT	43
3.2.1.3	Organização dos Dados	45
3.2.2	Simulações e Resultados Parciais	46
3.2.2.1	Caso 1: Instalação de IFT em Todos os Sub-Blocos	46
3.2.2.2	Caso 2: Instalação de IFT no final do alimentador	48
3.2.2.3	Caso 3: Instalação de IFT no Nó 441 do Alimentador	49
3.2.2.4	Caso 4: Instalação de IFT nos Nós 441 e 919 do Alimentador	50
3.2.3	Análise dos Resultados	51
3.3	Entendimento do Problema	52
3.4	Simulação do Método com Grampo de Linha Viva	54

4	FERRAMENTAS DESENVOLVIDAS E TESTES DE AFERIÇÃO . .	58
4.1	Equipamentos Desenvolvidos	58
4.1.1	Central de Operações	58
4.1.2	Sinalizador	61
4.1.3	Software Georeferenciado	63
4.2	Teste em Campo para Aferição do Equipamento	64
4.2.1	Método de Ensaio	64
4.2.2	Ensaio de Visada	66
4.2.3	Ensaio com Obstáculos	69
4.2.4	Análise dos Resultados e Condições de Contorno	77
5	TESTE DE APLICAÇÃO	79
5.1	Introdução	79
5.2	Rede de Miradouro - Minas Gerais	79
5.3	Redes Paraíba	81
5.3.1	Zona Rural de Boqueirão - BQR - L1	83
5.3.2	Zona Rural de Areia - Ara - L1	85
5.4	Análise dos Resultados	88
5.4.1	Análise da Sequência de Teste BQR-S00	89
5.4.2	Análise da Sequência de Teste ARA-S00	90
5.4.3	Análise da Sequência de Teste BQR-S20	91
5.4.4	Análise da Sequência de Miradouro	93
6	CONCLUSÃO	94
6.1	Trabalhos Futuros	95
	REFERÊNCIAS	96
	ANEXOS	99
	ANEXO A – DEFINIÇÃO DO TRONCO PRINCIPAL	100
	ANEXO B – DADOS DO SISTEMA ELÉTRICO	105
	ANEXO C – INSTALAÇÃO DO SINALIZADOR	115
	ANEXO D – CORTE DE JUMPER	116
	ANEXO E – INSTALAÇÃO DE JUMPER	117

1 Introdução

1.1 Relevância do Tema

A localização de faltas em redes de distribuição de média tensão tem sido um dos temas amplamente discutidos na academia, concessionárias de energia e meio industrial. Com a reestruturação do setor elétrico, a qualidade no fornecimento de energia elétrica tem gerado preocupação para as empresas distribuidoras. Os contratos de concessão de serviço público de energia elétrica estabelecem obrigações e encargos a serem cumpridos pela concessionária de forma a assegurar ao consumidor qualidade e continuidade na prestação do serviço.

A qualidade do serviço prestado pode ser entendida como a continuidade do fornecimento de energia elétrica. Tal continuidade é afetada pelas interrupções no fornecimento que, geralmente, são provocadas por falhas no sistema elétrico e outras perturbações. Com o objetivo de mensurar a qualidade do serviço supracitado, no Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu diversos indicadores que avaliam o desempenho das concessionárias (ANEEL, 2010).

No intuito de reduzir os impactos das interrupções de energia, a identificação de distúrbios e a localização de defeitos em linhas de transmissão é realizada através de relés de distância ou da análise de sinais, como discutidos em Bello e Corrêa (2013), Geethanjali et al. (2009), Jorge, Coury e Carvalho (1999), Raybolt (2011), Santos (2008), GOMES et al. (2006) e Malange (2010).

Essas soluções não são aplicáveis em redes de distribuição de média tensão, uma vez que essas redes apresentaram muitas ramificações, fazendo com que as dificuldades técnicas de implementação aumentem substancialmente, sendo necessária a instalação de uma grande quantidade de sensores, bobinas de bloqueio e equipamentos de comunicação. À vista disso, a solução torna-se extremamente cara quando comparada aos atuais custos de manutenção das redes de distribuição e ao faturamento que elas proporcionam às concessionárias.

Dessa forma, faz-se necessário o emprego de soluções mais simples e de custo reduzido. Uma das opções mais difundidas é a utilização de indicadores de falta (IF), mais conhecidos pelos termos em inglês por *Fault Indicators* (FI) e *Faulted Circuit Indicators* (FCI). Esse dispositivo tem a função de indicar a ocorrência de falta à terra no condutor onde é instalado, podendo sinalizar tal ocorrência de forma local, em seu próprio corpo, ou de forma remota, comunicando-se com uma central de operações, por exemplo. Logo, a partir da instalação de vários IF em pontos estratégicos da rede, é

possível determinar o trecho onde a falha se encontra, auxiliando as equipes de manutenção no restabelecimento da rede sob falta. Os IF, nesse caso, consistem em equipamentos estáticos, instalados permanentemente nas redes, como qualquer outro equipamento de proteção.

Ainda que tenham custo reduzido em relação às soluções empregadas em linhas de transmissão, os indicadores de falta apresentam custos de aquisição e manutenção consideráveis devido aos impostos e taxas de importação, fazendo com que sua aplicação esteja restrita a poucas redes de distribuição.

Dessa forma, a maioria das distribuidoras de energia realiza a localização de faltas através da chamada pesquisa trecho a trecho, a qual demanda muito tempo de execução.

Em casos extremos, o restabelecimento de redes através desse tipo de pesquisa pode levar mais de vinte quatro horas, o que acarreta perdas para a concessionária relacionadas à energia não entregue ao consumidor e a incidência de penalidades, além dos transtornos suportados pela sociedade, de forma geral, devido à falta de energia.

Para melhorar o método de localização de defeitos e evitar situações como as citadas anteriormente, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas e métodos alternativos cujas aplicações em redes de media tensão sejam eficientes e de baixo custo.

1.2 Motivação

Este trabalho apresenta um novo método de pesquisa de faltas em redes de distribuição, baseada na aplicação de indicadores de falta. Entretanto, de forma a reduzir os custos de aquisição desses dispositivos, os indicadores de falta aplicados nesse método não são destinados à instalação permanente nas redes, mas utilizados somente durante a pesquisa de falta.

O desenvolvimento e a aplicação desse novo método exigiam que novos dispositivos fossem desenvolvidos. Neste contexto, este trabalho fez parte de um P&D realizado pela empresa HVEX em parceria com o grupo ENERGISA no projeto que conta com instalação de IF com capacidade de operação temporária, o que não é encontrado no mercado. Tal equipamento conta com capacidade de enviar dados a longas distâncias para uma IHM (Interface Homem-Máquina) em uma estação de operação remota e disponibilizar informações georreferenciadas da situação dos alimentadores para a equipe de manutenção.

Os benefícios esperados com essa nova aplicação são:

- Com a considerável redução no tempo necessário para o restabelecimento da rede, reduzir a perda de faturamento devido à energia não fornecida e redução das pena-

lidades aplicadas pela ANEEL;

- Refrear o impacto social e econômico causado pela indisponibilidade de energia, aumentando a satisfação dos clientes e gerando marketing positivo para a companhia;
- Moderar a exposição das equipes de manutenção a condições desfavoráveis de atendimento, bem como diminuir os riscos operacionais e preservar vidas;
- Reduzir os recursos necessários (humanos e materiais) para os atendimentos emergenciais, permitindo a otimização da manutenção;
- Expandir o método e sistema a todas as redes de distribuição da companhia.

Com foco na redução dos tempos de pesquisas pelo defeito em redes de distribuição e melhoria dos indicadores de qualidade, esta pesquisa se mostra alinhada com as necessidades das concessionárias de energia elétrica de todo país. Conforme a Figura 1, onde é apresentada a apuração dos indicadores ao longo dos últimos anos em todo o Brasil, é possível observar que as empresas tem conseguido dar a resposta adequada na melhoria do indicador FEC, porém quanto ao indicador DEC é constatado que nenhuma melhoria significativa foi implementada ao longo dos anos, o que realça a importância deste trabalho. (ANEEL, 2018).

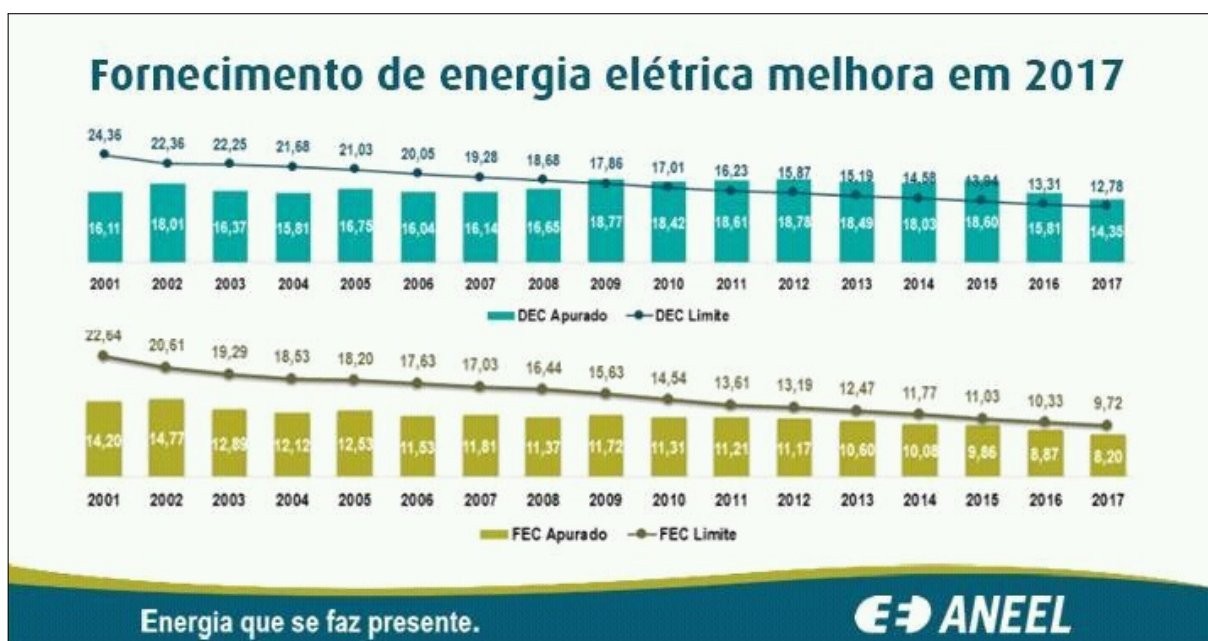


Figura 1 – Apuração dos indicadores de qualidade até o ano de 2017.(ANEEL, 2018)

2 Revisão Bibliográfica

Esta seção apresenta a primeira etapa do desenvolvimento da dissertação, que consistiu na revisão bibliográfica, onde os resultados da pesquisa são expostos de forma sucinta. A primeira seção aborda os métodos de pesquisa de faltas e alocação de sinalizadores de falta. A segunda trata das ferramentas de sinalização de falta que dão suporte a cada método, sendo elas os equipamentos existentes e suas funcionalidades, dispositivos em desenvolvimento, tecnologias emergentes e sistemas de comunicação e localização por GPS (Global Positioning System).

2.1 Métodos de Pesquisa de Faltas em Redes de Distribuição

Nesta seção, são abordados os métodos de pesquisa de falta em redes de distribuição com e sem indicadores de falta. A seção 2.1.1 explana acerca dos procedimentos típicos praticados pelas concessionárias de distribuição em atendimento as ocorrências utilizando os métodos de pesquisa trecho a trecho. Na seção 2.1.2 é considerada a presença dos indicadores de falta nas redes, como esses dispositivos influenciam no processo de restabelecimento e como são alocados na rede de distribuição.

2.1.1 Método Sem Auxílio de Ferramentas

Nesse método, também conhecido como pesquisa trecho a trecho, a localização da falta à terra é realizada sem o auxílio de indicadores de falta ou ferramentas do tipo.

Conforme discutido em Short (2014) e Usida (2011), o aludido procedimento consiste nos seguintes passos:

- A falta ocorre em um trecho da rede desconhecido e os dispositivos de proteção, como disjuntor de saída do alimentador primário ou religador de distribuição, atuam através da curva rápida de proteção conforme as configurações de coordenação e seletividade, desconectando o trecho com defeito do sistema;
- O dispositivo religador realiza as tentativas de religamento automáticas, que variam em quantidade e intervalo de tempo conforme o normativo da concessionária;
- Ao realizar a última tentativa de religamento, sem sucesso, o dispositivo entende que a falta é permanente e atua através da curva lenta de proteção conforme as configurações de coordenação e seletividade a fim de promover a queima dos elos fusíveis dos equipamentos instalados à jusante no alimentador. Caso não ocorra a

normalização do sistema no tempo de coordenação, o equipamento de proteção atua novamente seccionando o trecho e entrando em modo de bloqueio;

- A partir dessa condição, as equipes de manutenção são acionadas para realizar a inspeção da rede com a finalidade de localizar o ponto de ocorrência da falta;
- A inspeção é realizada à jusante do dispositivo de proteção que seccionou o circuito. São definidos blocos de carga, delimitados pelas chaves de manobra existentes no trecho desconectado;
- A pesquisa de falta consiste na abertura da chave a jusante do bloco, seguida de uma tentativa de religamento. Sendo o religamento realizado com sucesso, deduz-se que a falta está localizada à jusante da chave aberta. Esse procedimento é repetido até que o trecho sob falta seja identificado;
- Uma vez identificado o trecho sob falta, a equipe de manutenção realiza uma inspeção visual detalhada para que a falta seja localizada e eliminada.

Todos os procedimentos são coordenados pelo centro de operações da concessionária através de um rádio de comunicação instalado no COD (Central de Operação da Distribuição) e nas viaturas das equipes de manutenção.

O método de pesquisa se inicia a partir do dispositivo de proteção, da fonte em direção a carga, alinhado às informações fornecidas pelos clientes, juntamente com experiência dos operadores, histórico de falhas e outras informações pertinentes à operação do alimentador, os quais podem conduzir a equipe de manutenção a pontos específicos do alimentador a procura do defeito.

Dependendo do tamanho da rede e da natureza da falta, pode se tornar bastante demorado o processo. Em condições onde o defeito não é visualmente notável, como um isolador furado, ou condições de chuva, falta de iluminação, e condições onde o alimentador corta regiões com morros e vegetação, o processo de restabelecimento pode levar horas.

2.1.2 Método Auxiliado Por Indicadores de Falta

De forma a tornar a pesquisa de falta mais eficiente, ou seja, diminuir o tempo gasto até que o problema seja identificado, foi criado em 1946, pela Horstmann Company, um dispositivo destinado a sinalizar a passagem de uma corrente de falta por um condutor (ANGERER, 2001). Esse dispositivo, denominado indicador de falta pelo próprio fabricante, nome posteriormente adotado por outros fabricantes, tornou-se uma importante ferramenta para a pesquisa de faltas tanto em redes de distribuição aéreas quanto subterrâneas.

O método de pesquisa de faltas baseada em IF, de forma geral, consiste em dois procedimentos principais: alocação dos IF e a pesquisa de falta em si. O procedimento de alocação dos IF varia conforme o tipo de rede e a concessionária, podendo ser realizado tanto a partir da experiência das equipes de manutenção quanto a partir da aplicação de algoritmos sofisticados, que serão discutidos mais adiante.

Entretanto, de forma geral, o referido procedimento visa instalar a menor quantidade possível de IF ao longo da rede de modo a possibilitar a identificação do caminho da falta e, por consequência, a localização do trecho que a contém. Isso é geralmente realizado instalando os IF em derivações do alimentador ou trechos rurais da rede, os quais costumam ser demasiadamente longos.

Uma vez instalados os IF, o procedimento de pesquisa de faltas é realizado da seguinte forma:

- A falta ocorre em um trecho da rede desconhecido e os dispositivos de proteção, como disjuntor de saída do alimentador primário ou religador de distribuição, atuam através da curva rápida de proteção conforme as configurações de coordenação e seletividade e desconecta o trecho com defeito do sistema;
- O dispositivo religador realiza as tentativas de religamento automáticas, que variam em quantidade e intervalo de tempo conforme o equipamento adotado pela concessionária;
- Ao realizar a última tentativa de religamento, sem sucesso, o dispositivo entende que a falta é permanente e atua através da curva lenta de proteção conforme as configurações de coordenação e seletividade a fim de promover a queima dos elos fusíveis dos equipamentos instalados à jusante no alimentador. Caso não ocorra a normalização do sistema no tempo de coordenação, o equipamento de proteção atua novamente seccionando o trecho e entrando em modo de bloqueio;
- A partir dessa condição, as equipes de manutenção são acionadas para realizar a inspeção da rede com a finalidade de localizar o ponto de ocorrência da falta;
- Em vez de se realizar a pesquisa trecho a trecho, conforme descrito no procedimento de pesquisa de faltas sem o auxílio de IF, a equipe de manutenção se dirige aos pontos onde estão localizados os IF, que possuem sinalização de falta local por meio de bandeirola ou elemento luminoso de alta intensidade;
- Cada IF é inspecionado visualmente, sendo identificados aqueles que foram sensibilizados pela passagem da falta, permitindo que a equipe de manutenção deduza o caminho da mesma;

- Sendo a quantidade de IF suficientemente grande para que o trecho que contém a falta seja precisamente identificado, a equipe de manutenção realiza a inspeção desse trecho em busca da natureza da falta;
- Entretanto, a condição anterior não é frequentemente encontrada, sendo a quantidade de IF insuficiente para permitir a imediata identificação do trecho sob falta. Nesse caso, os IF permitem a identificação de uma região maior da rede, composta por vários trechos que possam conter a falta. À vista disso, uma vez que essa região é identificada, a equipe de manutenção realiza a pesquisa trecho a trecho, como no procedimento anterior, até que a falta seja localizada.

Um exemplo de aplicação do método é mostrado na Figura 2, onde os IF são representados por círculos na rede de distribuição em questão.

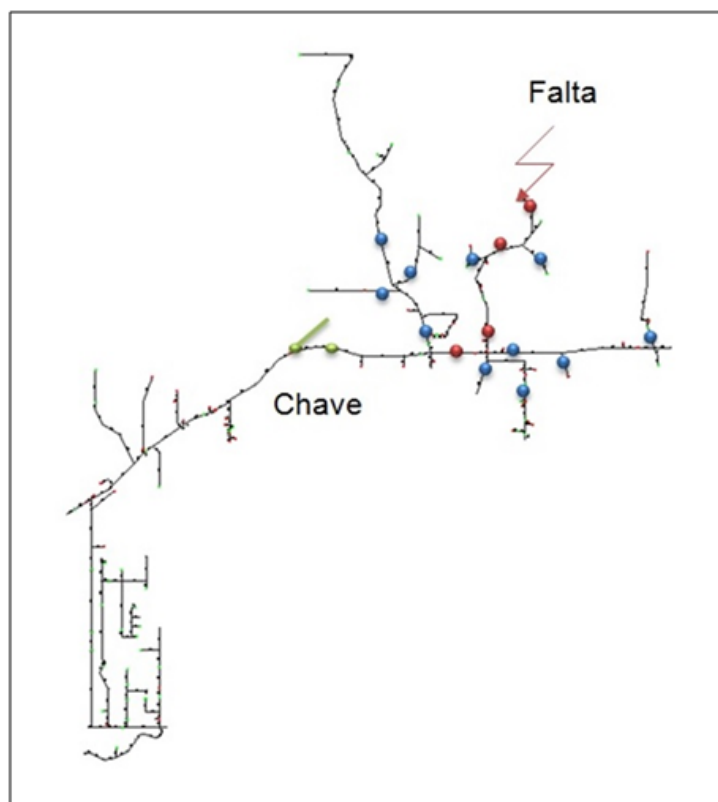


Figura 2 – Exemplo de aplicação do método de pesquisa de faltas auxiliada por IF.

Uma vez ocorrida a falta, o dispositivo de proteção (chave fusível) atua e secciona o circuito. Entretanto, antes que o circuito seja seccionado, os IF que estão no caminho da falta são sensibilizados e ativam seus dispositivos de sinalização. Esses IF são representados na Figura 2 na cor vermelha, à medida que os IF não sensibilizados são representados na cor azul. A sinalização dos IF sensibilizados, então, permite que a equipe de manutenção identifique o caminho da falta e restrinja a inspeção detalhada da rede a uma região específica.

A aplicação de IF com sinalização de falta local apresenta consideráveis ganhos sobre a pesquisa de falta sem auxílio de IF. Em alguns casos, como discutido em Andrade et al. (2009), onde IF foram instalados em redes rurais de topologia complexa, houve uma redução estimada do tempo localização de falta em 50%.

O procedimento descrito acima pode ainda ser melhorado se houver o emprego de IF dotados de sinalização de falta remota, isto é, que consigam se comunicar de alguma forma com a equipe de manutenção, à distância, reduzindo a necessidade da inspeção visual de cada IF para a dedução do caminho da falta. Essa funcionalidade possibilita um considerável ganho de tempo durante a pesquisa de falta. No caso discutido (SMALLWOOD; LATNER; GARDNER, 2011), por exemplo, estima-se uma redução de até 75 % no tempo de indisponibilidade da rede com a aplicação desse tipo de solução.

Segundo Falaghi, Haghifam e Tabrizi (2005), a quantidade e a localização dos IF influenciam nos índices de disponibilidade das redes de distribuição.

2.1.3 Métodos Avançados de Alocação de Indicadores de Faltas

Devido ao custo elevado dos IF, ainda mais quando possuem funcionalidades de comunicação e supervisão remota, e à subjetividade dos métodos clássicos de alocação de IF, que muitas vezes são pautadas na experiência da equipe de manutenção, metodologias baseadas em algoritmos sofisticados têm sido desenvolvidas principalmente a partir dos anos 2000. Tais métodos de alocação podem ser divididos em dois grupos que consideram diferentes aspectos para a resolução do problema.

O primeiro grupo utiliza técnicas de inteligência artificial e estudos probabilísticos para encontrar os pontos ótimos de alocação dos IF ao longo das redes de distribuição, tanto aéreas quanto subterrâneas, utilizando a mínima quantidade possível de IF (MAN; TANG; KWONG, 2012).

Para isso, leva em conta fatores como a topologia da rede, a probabilidade de ocorrência de falta, a carga do circuito, o tipo de condutor, entre outros fatores. Essas condições são considerados em uma função objetivo em que se busca otimizar os indicadores de qualidade, deslocamentos de equipe, etc.

O segundo grupo é voltado para aplicações onde os sinalizadores de falta possuem capacidade de comunicação, sendo assim necessário considerar as influências dos pontos de instalação na qualidade do sinal enviado e recebido (YANG et al., 2014).

Uma das técnicas de inteligência artificial mais empregadas no desenvolvimento dos algoritmos é chamada de Algoritmos Genéticos (MAN; TANG; KWONG, 2012), frequentemente referidos na literatura pela sua abreviação em língua inglesa GA. A técnica de GA é amplamente utilizada no desenvolvimento de métodos de otimização de processos, que é o caso da alocação de IF em pontos ótimos da rede.

Ainda que em grande parte restritos ao meio acadêmico, algoritmos baseados em GA foram desenvolvidos para redes de diversas características nos últimos anos. Em Usida et al. (2012), por exemplo, é mostrada um método desenvolvido para aplicação nas redes de distribuição da Elektro. Para o caso-exemplo mostrado no artigo, onde foi considerada uma rede de distribuição composta por áreas urbanas e rurais, a alocação de 10 IF com o auxílio dos algoritmos desenvolvidos resultou em um tempo médio de pesquisa de falta de 62 % do tempo original, isto é, sem a utilização dos IF.

Desenvolvimento similar foi realizado para redes de distribuição da Coelba (Santana, Almeida e Costa (2008) e Almeida et al. (2011)), porém com um algoritmo diferente, ainda que baseado em GA.

Estudos similares também têm sido realizados em outros países, principalmente aqueles que possuem grande quantidade de redes de distribuição áreas. Em Shahsavari et al. (2014), é discutido um método desenvolvido a partir de GA, o qual foi experimentado em um alimentador real (Bandargah) de 25 km, ainda que apresentando ganhos menores quando comparados aos estudos realizados no Brasil.

Outro estudo (SANTANA; ALMEIDA; COSTA, 2008) propôs um procedimento com a mesma finalidade, porém com algoritmos baseados nos métodos de otimização por enxame de partículas (CLERC, 2010) e *Fuzzy* (ZIMMERMANN, 2011), que são técnicas de inteligência artificial utilizadas para otimização e tomada de decisões com incertezas, respectivamente.

Nesse estudo, foram avaliadas as quantidades ótimas de IF para determinada rede de distribuição real, considerando requisitos mínimos similares aos DEC, FEC, DIC e FIC, além de avaliar o retorno de investimento em IF para a distribuidora. Dos resultados mostrados, é interessante notar que o maior retorno de investimento não foi obtido quando todos os índices foram otimizados ao mesmo tempo, pois isso exigiria uma quantidade consideravelmente maior de IF instalados na rede.

No trabalho de Yang et al. (2014) os pesquisadores avaliaram o desempenho da comunicação utilizando um módulo com protocolo ZibBee Xbee Pro S2B que opera na frequência 2.4 GHZ e possui cinco níveis de potência. São considerados vários fatores que podem influenciar o alcance da comunicação, sendo estes: a potência do módulo de rádio, o ganho da antena utilizada, os tipos de obstáculos e a distância do solo.

A partir da avaliação dos resultados é possível entender como cada fator influencia no alcance da comunicação, sendo a de maior impacto na aplicação, a presença dos obstáculos. A tabela 1 apresenta os resultados obtidos dos testes sem a presença de obstáculos, mostrando o alcance máximo em função da potência utilizada.

Na Figura 3 é apresentado um gráfico onde o eixo vertical indica a distância máxima de comunicação e o eixo horizontal à potência do módulo de rádio. A curva com

Tabela 1 – Alcance da comunicação X potência transmissão. (YANG et al., 2014)

Potência [mW]	10	18	25	48	63
Distância [km]	1,3	2,1	2,3	2,4	2,5

quadrados (em vermelho) é obtida considerando construções como obstáculos, já a curva com losangos (em azul) é obtida considerando árvores como obstáculos.

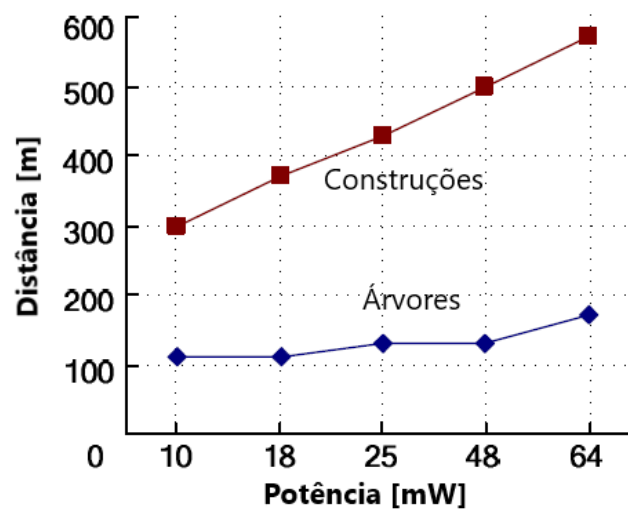


Figura 3 – Gráfico: Alcance da comunicação X potência transmissão – com obstáculos. Adaptado de (YANG et al., 2014).

Como observado, o alcance é fortemente afetado pela presença de obstáculos, sendo que as árvores possuem um efeito ainda maior no bloqueio do sinal. Os autores justificam esse fato devido às reflexões que ocorrem quando o sinal encontra uma construção. Por outro lado, quando o sinal encontra uma árvore ele é difratado, e parte absorvido pela árvore. Esses resultados apontam como é importante o processo de alocação desses dispositivos de forma a contornar as condições reais encontradas em campo.

O trabalho de Luan et al. (2011) discute uma técnica de alocação dos dispositivos em pontos estratégicos através de uma análise do relevo e possíveis obstáculos. Para isso, foi implementado o cálculo de indicadores de qualidade do sinal em um algoritmo com base no padrão IEEE 802.15.4. Após uma análise dos dados do alimentador, relevo e possíveis obstáculos utilizando o Google Maps, são conduzidos testes reais de campo onde são levantados os indicadores de qualidade do sinal e armazenados no banco de dados do software. Com base nessas informações, o software aloca os dispositivos em pontos que apresentam os melhores indicadores de qualidade de forma otimizada.

De forma geral todos os métodos de alocação apresentados na revisão bibliográfica dependem de estudos prévios do alimentador, em alguns casos utilizam uma grande quan-

tidade de dados, consomem tempos elevados de simulações computacionais e, em outros casos ainda, dependem de testes reais em campo envolvendo deslocamento de equipe e recurso. Dessa forma são pouco práticos e de difícil implementação em aplicações dinâmicas, onde as condições de contorno mudam o tempo todo. Portanto, não-aplicáveis no método que será proposta neste trabalho.

2.2 Ferramentas de Sinalização de Falta

Esta seção trata das ferramentas de sinalização de faltas existentes até o momento, principalmente as disponíveis comercialmente. O foco deste trabalho não é aprofundar nas características técnicas de cada tecnologia e suas formas construtivas. Diante disso, esta seção trata apenas das características que impactam no método de aplicação do dispositivo.

2.2.1 Tipos de Indicadores de Falta

Os IF existentes no mercado podem ser classificados de acordo com suas principais características:

- Aplicação: aérea ou subterrânea;
- Monofásico ou trifásico;
- Classe de tensão;
- Sinalização local e/ou remota.

Os IF projetados para aplicação em redes de distribuição subterrâneas não são o foco deste trabalho e por isso não serão discutidos. Entretanto, muitas de suas funcionalidades, características construtivas e filosofia de aplicação são em parte similares aos dos IF destinados a redes de distribuição aéreas. Assim, a etapa de revisão bibliográfica envolveu também a análise de documentos sobre este tipo de IF.

Os IF para aplicação em redes de distribuição aérea consistem na maioria dos produtos disponíveis no mercado. Projetados para instalação permanente na rede, diferem entre si pelas funcionalidades disponíveis e pelas tecnologias empregadas, o que reflete diretamente no preço dessas soluções. Os principais fabricantes deste tipo de IF são: Horstmann Company, Schneider Electric e Schweitzer Engineering Laboratories (SEL). Existe ainda uma grande quantidade de fabricantes que detém menores fatias do mercado, apresentando produtos geralmente mais simples. Entretanto, apesar de terem sido lançados no mercado pela Horstmann Company na segunda metade dos anos 1940, os IFs não são uma solução bastante difundida no Brasil.

Dos IF para utilização em redes aéreas, a grande maioria consiste em unidades monofásicas, instaladas diretamente nas fases (*cablemounted*) através de garras, que muitas vezes consiste no próprio sensor de corrente, conforme o modelo Navigator, da Horstmann, mostrado na Figura 4 .



Figura 4 – Indicador de falta para redes aéreas Horstmann Navigator. (HORSTMANN, 2015)

Além dos modelos monofásicos, podem ser encontrados no mercado modelos trifásicos, como é o caso do P360 Alpha, fabricado pela Streamer, mostrado na Figura 5. Esse tipo de IF possui princípio de funcionamento distinto dos modelos monofásicos, detectando a ocorrência de falta a partir do desequilíbrio do campo magnético das fases, conforme mostra a Figura 6. Para isso, é instalado no poste e não diretamente na fase, sendo chamado de "pole mounted". Uma grande desvantagem desse tipo de IF é a impossibilidade de se distinguir entre as fases sãs e a fase onde ocorreu a falta. Outra desvantagem, já que é instalado à baixa altitude quando comparado aos IF instalados nas fases, é a susceptibilidade a ações de vândalos.

Outra característica importante utilizada para classificar os IF é a sua classe de tensão, ou faixa de operação. A maioria dos IFs monofásicos conseguem operar em tensões que vão de níveis baixos para redes de distribuição, como 5 kV ou 7 kV, por exemplo, até tensões mais elevadas, como 40 kV, cobrindo toda a faixa de redes de distribuição existentes no Brasil e na maioria dos outros países. Entretanto, alguns modelos conseguem operar em tensões bem mais altas, podendo ser aplicados também em linhas de subtransmissão. É o caso do FCI-AR, fabricado pela CELSA, que opera em uma faixa de tensão que vai de 9 kV a 69 kV. A classe de tensão que o equipamento pode operar determina,



Figura 5 – IF trifásico P360 Alpha, fabricado pela Streamer (STREAMER, 2017).

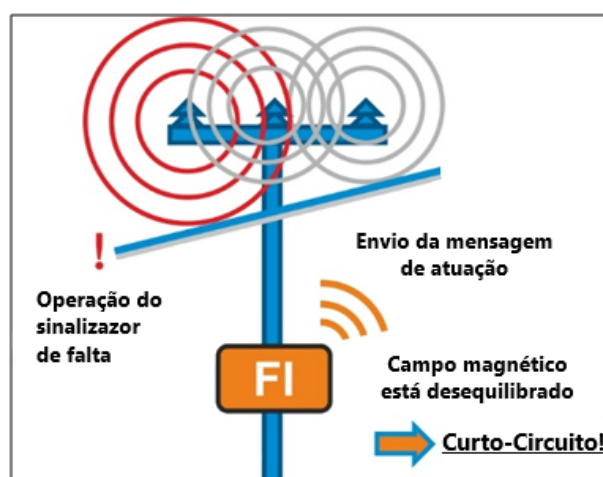


Figura 6 – Princípio de funcionamento do IF trifásico. Adaptado de (STREAMER, 2017).

principalmente, as características do sensor de corrente (nível de corrente, isolamento e diâmetro).

Por fim, outra característica básica dos IF é a forma como é realizada a sua sinalização, caso local ou remotamente. Essa característica é tão importante que determina não somente a complexidade dos circuitos eletrônicos do IF, mas o método de pesquisa de falta a ser empregado com sua aplicação. Assim, esse assunto é tratado com mais detalhes no item a seguir.

2.3 Principais Funcionalidades e Filosofia de Operação

2.3.1 Indicadores de Falta Com Sinalização Local

Os IF com sinalização local são, de forma geral, os de concepção e operação mais simples. Podem ser monofásicos ou trifásicos, porém, quase sua totalidade consiste de modelos monofásicos, instalados diretamente nos cabos das fases através de transformadores de corrente de núcleo dividido.

A sinalização da falta pode ser realizada de duas formas: através de bandeirola, como o Cooper STAR fabricado pela COOPER, mostrado na Figura 7, ou através de sinalização luminosa, como no caso do SELAR-OH fabricado pela SCHWEITZER, mostrado na Figura 8. Existem ainda modelos que dispõem das duas formas de sinalização, como o EMGFLA 3.1 fabricado pela ELEKTRO-MECHANIK, mostrado na Figura 9.

A sinalização por bandeirola envolve uma ação eletromecânica necessária para girar o sistema formado pelas bandeirolas que indicam a passagem ou não da corrente de falta, geralmente pintadas nas cores vermelha e verde, respectivamente. Tal fato acarreta em uma desvantagem para esse tipo equipamento, pois o acionamento eletromecânico possui confiabilidade inferior a um sistema de sinalização puramente elétrico ou eletrônico (sinalização luminosa), sem partes móveis.

Em compensação, uma vez sinalizado, a bandeirola permanece em repouso até que seja realizada a reinicialização do equipamento, sem que seja consumida energia durante este intervalo de tempo. Essa é uma vantagem desse tipo de sinalização frente à sinalização luminosa, que requer energia para continuar sinalizando até que o equipamento seja reiniciado.



Figura 7 – IF com indicação por bandeirola Cooper STAR (COOPER, 2015). O display circular em formato de bolha e a pintura reflexiva da bandeirola facilitam a leitura do estado do IF.



Figura 8 – Base do IF SELAR-OH (SCHWEITZER, 2015b), onde está localizada a sinalização luminosa.



Figura 9 – IF com sinalização local híbrida (luminosa e bandeirola) - modelo EMGFLA (ELEKTRO-MECHANIK, 2016).

Apesar dos IF com sinalização por bandeirola serem mais baratos e permitirem que sejam alimentados a partir do próprio transformador de corrente utilizado para detectar a corrente de falta, sua aplicação tem sido cada vez mais restrita. A maioria dos modelos disponíveis no mercado possui sinalização luminosa de alta intensidade, com alimentação por bateria. Esse tipo de sinalização permite que os IF sensibilizados pela corrente de

falta sejam identificados com maior facilidade em condições de pouca luminosidade e visibilidade. Mesmo em boas condições de visibilidade, os *flashes* utilizados acabam sendo mais eficazes que as tradicionais bandeirolas.

As funcionalidades geralmente presentes nesse tipo de equipamento, além da sinalização local, são:

- Trip por di/dt ou por valor fixo ajustável em faixa aproximada de 50 A a 1000 A, com tempo de atuação fixo, normalmente acima de 50 ms;
- Reinício manual por chave magnética com fixação em vara de manobra, como a mostrada na Figura 10;
- Reinício automático por tempo ou detecção de corrente de carga.



Figura 10 – Chave magnética SEL CRSRTT (SCHWEITZER, 2015a).

2.3.2 Indicadores de Falta Com Sinalização Remota

Com o desenvolvimento acelerado da eletrônica digital e dos sistemas de comunicação, os IF passaram a contar com recursos de sinalização de falta remota, além da sinalização local. Esse recurso, introduzido no mercado pela primeira vez pela Horstmann Company em 1987 (ANGERER, 2001), consiste em um dos maiores avanços pelos quais os IF passaram desde a sua criação, apresentando grande vantagem sobre os IF de sinalização exclusivamente local.

Os IF equipados com essa funcionalidade são a maioria dos modelos atualmente disponibilizados no mercado e operam com várias tecnologias e topologias de rede. De forma geral, os IF fazem parte de um Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA) e se comunicam com um equipamento central, que disponibiliza os dados para um software supervisor.

Dessa forma, os IF instalados permanentemente na rede de distribuição podem ser supervisionados a partir de uma subestação, por exemplo, permitindo que o método de

pesquisa de falta adotado neste caso, apresente tempo de verificação dos estados dos IF praticamente instantâneo. No caso do método adotado quando IF com sinalização exclusivamente local são utilizados, a equipe de manutenção precisa verificar presencialmente o estado de cada IF, o que consiste em grande desvantagem quando comparada ao método com o uso de IF com sinalização remota.

A topologia de rede de comunicação mais usual empregada nesse tipo de sistema pode ser observada na Figura 11.

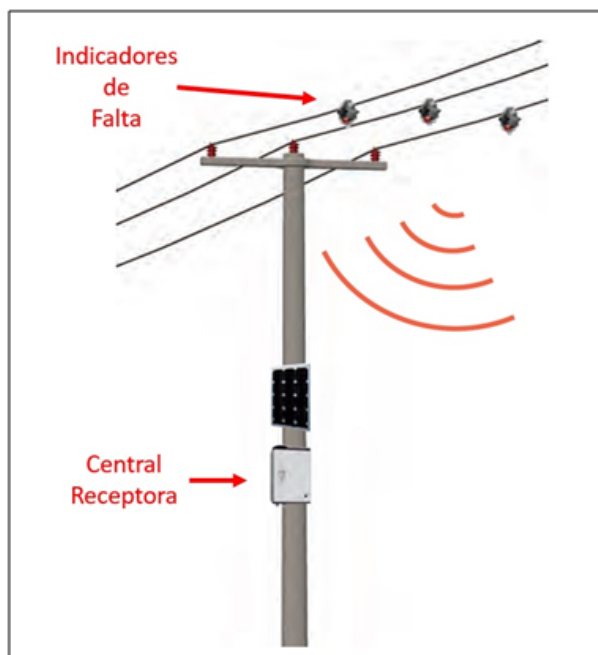


Figura 11 – Topologia de rede de comunicação mais usual. Figura adaptada de (HORSTMANN, 2015).

Nessa topologia, os IF se comunicam com uma central receptora instalada no poste mais próximo, que por sua vez envia as informações dos IF para um software supervisor, instalado em uma subestação, através de uma solução SCADA. A comunicação entre os IF e a central receptora é realizada através de sistemas de rádio de curto alcance, sendo a distância máxima permitida geralmente não superior a 50 m. Como exemplo, pode-se citar o sistema de rádio utilizado pelo IFNavigator, da Horstmann (HORSTMANN, 2015), que permite uma distância máxima de 33 m em visada direta.

A comunicação entre a central receptora e a subestação deve superar longas distâncias, sendo realizada geralmente por sistemas de rádio de longo alcance ou pela rede de telefonia celular, caso da central receptora G200 da Schneider, que permite o funcionamento com as duas opções (SCHNEIDER, 2016).

De forma geral, o software supervisor mostra o estado de cada IF e valores associados, como corrente de falta, corrente de regime permanente, presença ou não de tensão, além do local de instalação de cada IF.

Sendo equipamentos mais sofisticados que os seus similares com sinalização exclusivamente local, esses IF possuem uma gama maior de funcionalidades não somente relacionadas à comunicação, mas também no sistema de detecção de corrente de falta, permitindo ajustes mais complexos de trip. Essas funcionalidades são comentadas no item 2.3.3.

2.3.3 Funcionalidades Avançadas

Os IF mais sofisticados, geralmente aqueles que possuem comunicação por rádio, apresentam também funcionalidades que os tornam parecidos com relés e outros equipamentos de proteção mais complexos. Dentre essas funções está a possibilidade do ajuste da curva de trip por alguns modelos, como no caso do SELAR360 fornecido pela SCHWEITZER, conferindo grande flexibilidade aos IF. Esta e outras funcionalidades são descritas a seguir.

2.3.3.1 Ajuste Automático do Trip

Ao contrário de alguns modelos de IF, onde a curva de trip é ajustada manualmente com o objetivo de coordenar com o esquema de proteção da rede de distribuição, essa funcionalidade consiste em ajustar o valor de trip automaticamente conforme a corrente de regime permanente lida na fase, sem o objetivo de coordenar com outros equipamentos. Ademais, a mesma é particularmente interessante em circuitos onde a carga apresenta considerável variação ao longo do tempo.

É mostrado na figura 12 a curva de ajuste automático de trip do SELWSO-11, onde é possível notar que os ajustes pré-definidos apresentam sobreposição em parte de suas curvas. Isso é realizado para que o IF, ao trabalhar no limiar das curvas, não apresente indecisão, trocando de configuração a todo o momento.

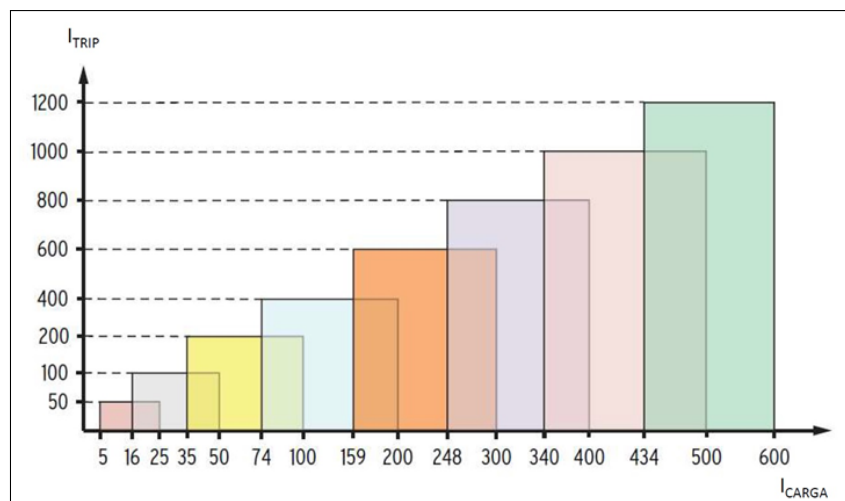


Figura 12 – Curva de trip ajustável do SELWSO-11 (SCHWEITZER, 2015c).

2.3.4 Distinção Entre Tipos de Falhas

A distinção entre falhas momentâneas e permanentes pode ser de grande utilidade para as equipes de manutenção, auxiliando na tomada de decisões do centro de operações da concessionária no que se refere aos métodos de pesquisa de falta. Assim, alguns modelos adotam diferentes sinalizações para diferentes tipos de falta.

O SELWSO-11, por exemplo, consegue distinguir as falhas momentâneas e permanentes através da leitura da corrente em um tempo contado a partir da detecção da falta. Este tempo é indicado na Figura 13 pelo parâmetro T_{af} (Tempo de análise de falta), que é configurável de 15 segundos a 60 minutos. O exemplo da figura consiste na ocorrência de uma falta permanente, já que a corrente permaneceu abaixo de I_M (valor mínimo que pode ser lido pelo IF).

Já o caso de uma falta momentânea é representado na Figura 14, onde se pode observar que a corrente de carga é registrada nesse intervalo de análise. Além disso, alguns modelos permitem a sinalização de falhas sucessivas, como é o caso da série Flite11X-SA da Schneider. No caso em comento, os sinalizadores utilizam o T_{pc} (Tempo de perda de corrente) para distinguir os tipos de falta. Esse tempo é disparado no momento em que o sensor identifica uma corrente abaixo de I_{IM} considerando uma pequena histerese de tempo T_{prot} (Tempo de proteção) de forma que pequenas oscilações de corrente não causem atuações indevidas.

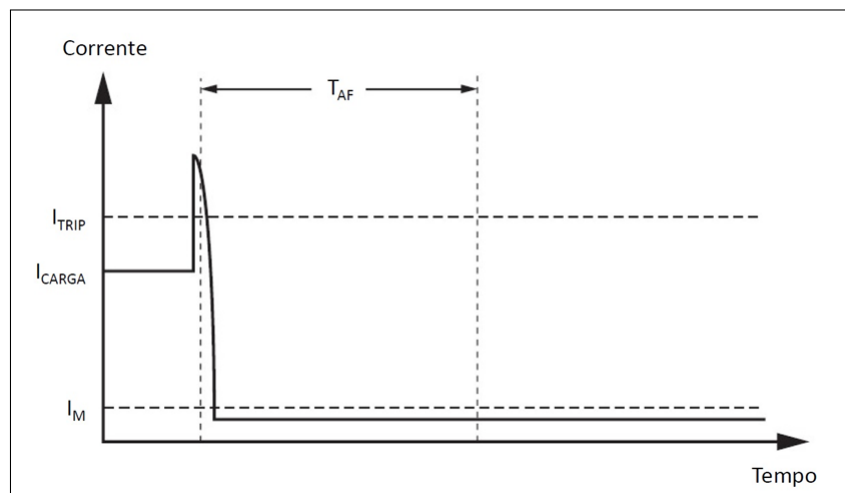


Figura 13 – Momentos de leitura de corrente para distinção entre falhas permanentes e momentâneas do WSO-11. Adaptado de (SCHWEITZER, 2015c). Falta representada: permanente.

2.3.5 Proteções Contra Falsos Diagnósticos

Além das falhas momentâneas e permanentes, outros eventos que envolvem surtos de corrente podem ocorrer nas redes de distribuição. A fim de evitar que os IF os sinalizem

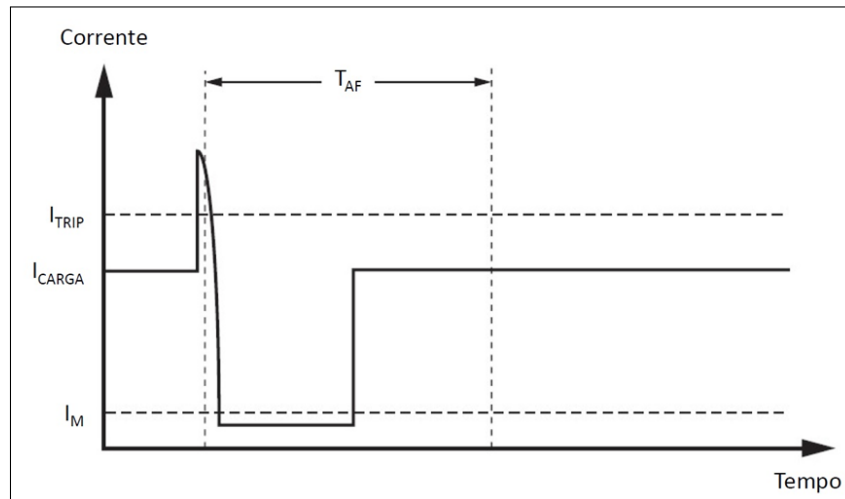


Figura 14 – Momentos de leitura de corrente para distinção entre faltas permanentes e momentâneas do WSO-11. Adaptado de (SCHWEITZER, 2015c). Falta representada: momentânea.

como falta, alguns modelos possuem funcionalidades específicas baseadas tanto na leitura de corrente como na leitura de tensão.

A corrente de inrush, que ocorre durante a energização de circuitos ou também durante o religamento de trechos da rede por parte de equipamentos de proteção, como religadores automáticos, não deve ser confundida com uma falta. Assim, a restrição de corrente de inrush, mais conhecida pelo termo em inglês *inrush restraint*, é uma funcionalidade avançada que também pode ser encontrada em IF com sinalização exclusivamente local, como no caso do OFI-FLS (SUPARULE, Data não informada), fabricado pela Suparule Systems.

No caso desse IF, o método de restrição consiste em um atraso do trip após a leitura do surto de corrente. O OFI-FLS possui esse parâmetro T_{AT} (Tempo de Ativação) fixo, porém alguns IFs permitem que esse tempo seja configurado, como no caso do SELWSO-11.

Alguns IF possuem um sensor de tensão que atua de forma a auxiliar na identificação de faltas. Os modelos Flite11X-SA da Schneider, por exemplo, só reconhecem um evento como sendo uma falta se houver aumento súbito da corrente seguido de sua interrupção, e da queda da tensão à um nível praticamente nulo.

Outros IF executam tal verificação apenas com a medição de corrente, como é o caso dos modelos da SELWSO-10 e WSO-11, que realizam a leitura de corrente em um tempo definido por T_{AF} , como já comentado anteriormente no caso do WSO-11. Conforme mostra a Figura 15, há uma detecção de surto de corrente pelo IF, que aguarda um tempo pré-definido T_{AF} para dar o veredicto sobre o evento. No caso durante esse intervalo a corrente medida for igual a corrente de regime permanente anterior ao surto, então o IF

interpreta o evento como sendo um surto de corrente devido a algum motivo que não uma falta.

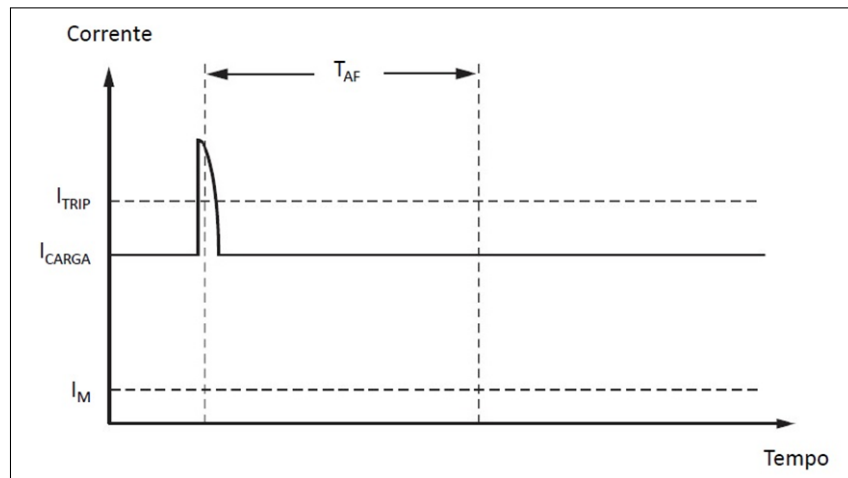


Figura 15 – Exemplo de surto de corrente não relacionado a qualquer tipo de falta. Adaptado de (SCHWEITZER, 2015c).

Outra situação que pode levar ao falso trip dos IF é o súbito incremento de carga, como mostrado na Figura 16. No exemplo mostrado, a corrente de carga sobe a um nível tal que excede a corrente de trip configurada no IF. Para que este evento não seja interpretado como uma falta, o WSO-11 realiza leituras de corrente por um tempo T_{AF} após a corrente exceder o valor de I_{trip} , sendo que, se ao final deste intervalo a corrente se mantiver, o IF interpreta o evento como um aumento de carga, e não como uma falta.

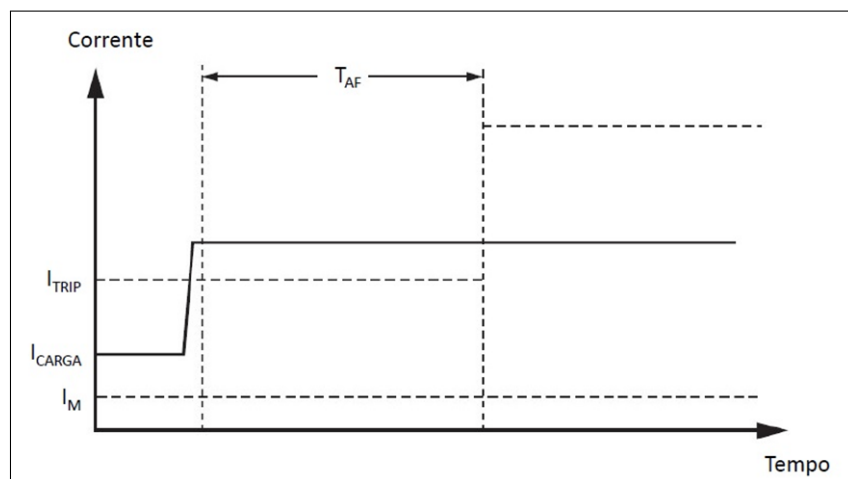


Figura 16 – Exemplo de aumento súbito da corrente devido ao incremento de carga. Adaptado de (SCHWEITZER, 2015c).

Outro problema que deve ser evitado é a influência do retorno de energia (*backfeed*) na interpretação dos eventos pelos IF. Tal fenômeno, representado na Figura 17, consiste na manutenção de uma corrente na rede após a falta, geralmente no sentido contrário ao da corrente de carga, devido à contribuição de elementos com carga armazenada após

o desligamento da rede pelos dispositivos de proteção. No caso do WSO-11, conforme comentado anteriormente, para que um evento seja identificado como sendo uma falta, a corrente no tempo T_{af} deve estar abaixo de um valor mínimo (I_M), o que pode não ocorrer no caso da ocorrência de retorno de energia, levando o IF a uma falsa interpretação.

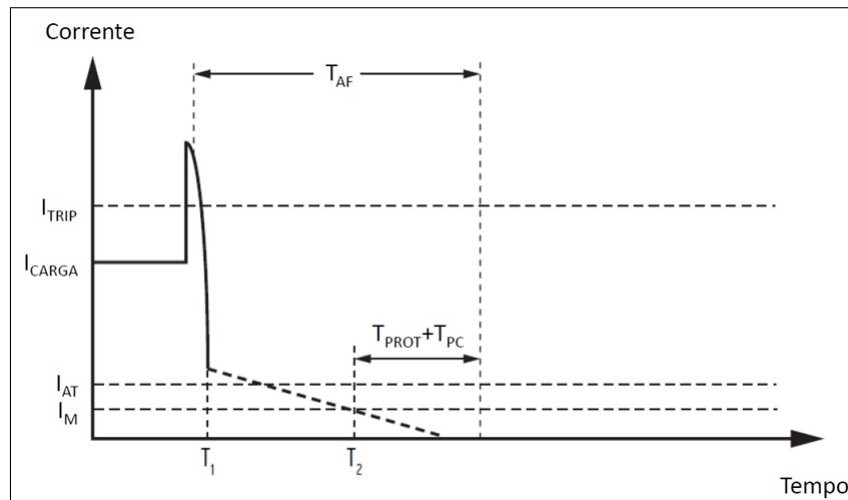


Figura 17 – Exemplo de corrente de backfeed depois de uma falta. Adaptado de (SCHWEITZER, 2015c).

Outro problema que pode ocorrer devido ao retorno de energia é a reinicialização indevida, uma vez que alguns IF (WSO-11 incluso) possuem a função de reinicialização automática ao se detectar uma corrente acima de um valor mínimo pré-definido após a ocorrência de uma falta. Uma das formas de solucionar o inconveniente acima, é garantir que o dispositivo apenas reinicie quando o valor da corrente de carga seja maior que o I_{at} (Corrente de ativação).

2.3.6 Sistemas de Comunicação e Sinalização Remota

Para que seja possível realizar a sinalização remota dos eventos, indicando os estados dos IF em um software supervisorio localizado em uma subestação, por exemplo, é necessário criar uma infraestrutura de comunicação capaz de transpor longas distâncias. Isso é realizado, geralmente, através de uma topologia de rede de comunicação como a mostrada na Figura 11 brevemente explanada.

Nessa topologia, os IF se comunicam com a central receptora, instalada no poste mais próximo, através de um sistema de rádio de curto alcance, que dispensa certificação e homologação na maioria das vezes. O Flite 116-SA, por exemplo, utiliza um sistema de rádio na frequência de 918-919,2 MHz, podendo estar distante da central G200 de até 33 m.

Solução similar é adotada pelo Navigator, que utiliza um sistema de 869,85 MHz de 1 mW (FM) e pelo WSO-10, que utiliza um sistema de 900 MHz que se comunica com

uma rede proprietária da Landis+Gyr.

Por outro lado, medida diferente é adotada no WSO-11, que possui um sistema de 2,4 GHz do tipo RPMA, tipo de rede largamente utilizada para internet das coisas, permitindo que maiores distâncias sejam atingidas. A referida solução é retratada na Figura 18 (SCHWEITZER, 2015c).

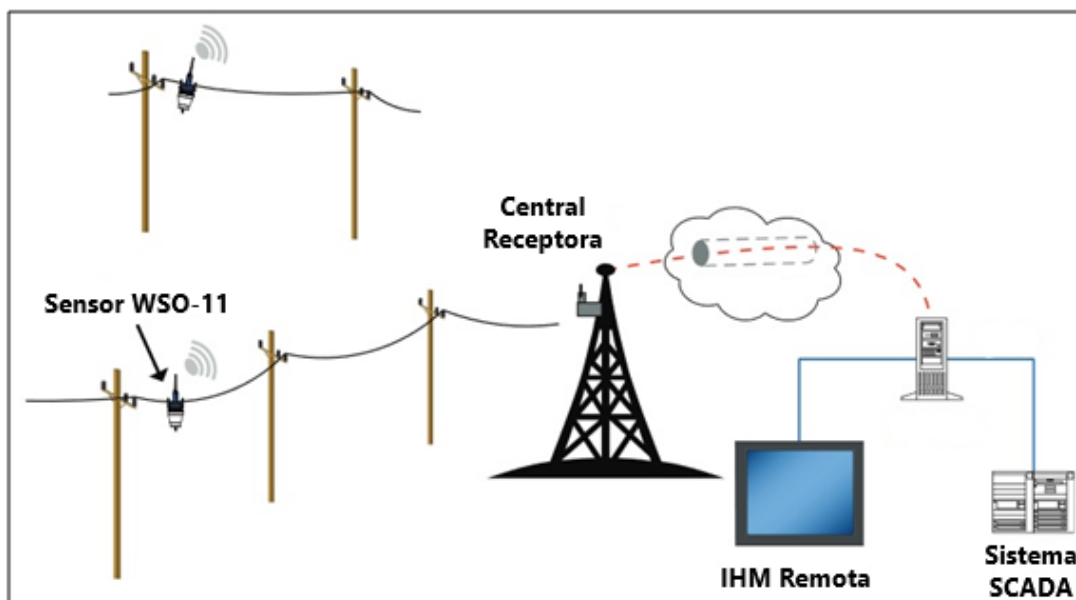


Figura 18 – Topologia de rede de comunicação do WSO-11. Adaptado de (SCHWEITZER, 2015c).

As centrais receptoras, responsáveis principalmente por concentrar as informações dos IF e enviá-las a um software supervisor através de um sistema tipo SCADA, necessitam de um sistema de comunicação de longo alcance, ao contrário dos IF. A G200, central do sistema Flite da Schneider, pode trabalhar tanto com sua solução embarcada, que é um sistema de telefonia móvel GSM/GPRS, quanto com um sistema de rádio externo.

Procedimento correlato é adotado pela central SmartReceiver, que recebe as informações dos IFsNavigator, da Horstmann, que porém necessita de um equipamento de rádio externo para enviar as informações através do SCADA.

Para o caso de redes de distribuição rurais no Brasil, um dos focos deste trabalho, alinhados com os objetivos do P&D, a utilização de redes do tipo *Global System for Mobile Communication* (GSM) ou *General Packet Radio Service* (GPRS).

GSM/GPRS é praticamente inviável, uma vez que essas áreas quase não possuem cobertura de telefonia móvel. Assim, as soluções baseadas em rádio de longo alcance consistem nas mais adequadas ao caso em questão.

3 Desenvolvimento da Nova Metodologia de Restabelecimento

No presente capítulo são apresentadas as etapas de desenvolvimento do novo método de restabelecimento de redes de distribuição. Como ponto de partida, é apresentada a proposta do método inicial elaborada com base em informações pertinentes à obra.

A primeira fase de desenvolvimento consistiu na modelagem do processo de procura pelo defeito utilizando como referência os trabalhos explorados na revisão bibliográfica.

A segunda etapa consistiu em evidenciar o real problema enfrentado em campo pelas concessionárias, os tipos de alimentadores relacionados, as dificuldades que a equipe de manutenção encontra em campo e quais etapas do processo dependem as maiores parcelas do tempo de atendimento às ocorrências.

Diante dos resultados é redefinido o novo método, dessa vez elaborada com os conhecimentos obtidos ao longo do desenvolvimento e com foco na resolução do problema evidenciado.

A terceira e última etapa do desenvolvimento consistiu na aplicação do método a uma ocorrência de defeito real registrada pelo grupo ENERGISA, para isso, foi reconstituindo em campo os procedimentos adotados pelas equipes de atendimento seguindo os procedimentos previstos no novo método.

3.1 Proposta do Novo Método

Os conceitos e diretrizes metodológicos apresentados descrevem uma linha de soluções envolvendo restabelecimento de redes de distribuição e suas respectivas ferramentas. As soluções mencionadas contam com a instalação dos indicadores de falta que, por sua vez, apresentam uma elevada variedade de funcionalidades e características. Por outro lado, devido ao custo desse equipamento, muitos métodos de alocação foram desenvolvidas a fim de indicar a quantidade ótima de dispositivos e os melhores pontos para a instalação no alimentador.

Ainda assim, as soluções anteriores apresentam um custo de implementação que as restringem a poucos pontos de instalação, ficando muitas regiões do alimentador sem cobertura dos dispositivos. Muitas das aplicações consideram apenas o tronco principal como candidato a receber a instalação dos equipamentos. Nesses casos, normalmente são instalados dispositivos que possuem apenas a indicação local. As soluções onde os equipamentos possuem comunicação são mais restritas, sendo encontradas apenas em

alimentadores com elevada carga instalada.

Dessa forma, alimentadores rurais com grande extensão territorial e suas ramificações não são contemplados por essas soluções. Assim, quando ocorre uma falta nesses pontos, a equipe precisa recorrer ao método de pesquisa trecho a trecho descrito na revisão bibliográfica.

A fim de melhorar o processo de restabelecimento e viabilizar o uso de ferramentas mais sofisticadas para esses casos, iniciou-se o desenvolvimento de um novo método para a pesquisa do defeito, que consiste na instalação de IFT (Indicadores de Falhas Temporárias). Isto é, após a ocorrência do defeito são instalados IFT nos pontos estratégicos do sistema. Após a verificação do trecho com defeito, os equipamentos são retirados pela equipe de manutenção e guardados na viatura. Esse método permite que os IFT possam ser instalados outra vez em novos pontos de forma a reduzir ainda mais o espaço de busca pelo defeito.

Visto que mais de uma seção do alimentador pode ser avaliada, a instalação de IFT diminui o número de tentativas e consequentemente, diminui o número de fusíveis a serem trocados, evitando desperdício de material. Outro ganho desse novo método está relacionado à segurança das pessoas, operacional e dos ativos.

Por consistir em um processo mais simples, a interação com rede energizada é realizada apenas com vara de manobra, reduzindo a exposição da equipe aos riscos das atividades envolvendo linha viva. A segurança operacional e dos ativos é promovida visto que a cada energização da linha em curto, o sistema é submetido a um novo transitório com elevadas correntes de curto circuito. Tais solicitações podem vir a ocasionar novas falhas e até mesmo desligar maiores partes do alimentador.

De forma geral, a nova aplicação envolvendo a instalação temporária de indicadores de falta está definida, porém algumas questões devem ser investigadas nas etapas de desenvolvimento, sendo elas:

- Quais os pontos de instalação dos IFT no alimentador?
- Qual a quantidade necessária de dispositivos?
- Quais tipos de ocorrência envolvendo o alimentador devem ser consideradas para a aplicação do novo método?
- Quando decidir por instalar os IFT?

3.2 Modelagem do Processo de Pesquisa pelo Defeito

O atendimento a uma ocorrência envolvendo um alimentador de distribuição de energia elétrica consiste na execução de um processo com várias etapas e seus respectivos tempos envolvidos, definidos por t_n , onde n corresponde à etapa (USIDA, 2011). A referida abordagem permite entender todo o processo e como as medidas tomadas pela concessionária podem impactar no tempo final de atendimento. Tais etapas seguem relacionadas abaixo:

- Primeira etapa (t_1): inicia-se no momento em que ocorre a falta até o momento em que a concessionária toma o seu conhecimento. É fortemente afetada pelas ferramentas de comunicação que a empresa possui e as tecnologias utilizadas para monitoramento dos equipamentos em campo;
- Segunda etapa (t_2): está relacionada à alocação e preparação da equipe de atendimento. É afetada pela disponibilidade dos recursos humanos, ferramentas que a concessionária possui e como são distribuídas na região de concessão;
- Terceira etapa (t_3): refere-se aos processos de pesquisas pelo defeitos, que tratam dos procedimentos e manobras que a equipe de manutenção realiza para identificar o trecho com defeito no sistema;
- Quarta etapa (t_4): diz respeito restabelecimento parcial, relacionado-se com os equipamentos de seccionamento instalados em campo, com a topologia do alimentador e flexibilidade operativa que esse oferece para que parte do sistema possa ser restabelecido enquanto a falta não é localizada e reparada;
- Quinta etapa (t_5): trata-se da localização do defeito de fato, através inspeção visual da linha no trecho com defeito;
- Sexta etapa (t_6): reparo do defeito;
- Sétima etapa (t_7): restabelecimento total do alimentador.

Em ocorrências nos quais o defeito envolve alterações visíveis na rede, ou seja, cabo partido, estrutura quebrada, dentre outros, a etapa de pesquisa pelo defeito não é notável. A equipe se direciona para ponto do defeito a fim de averiguá-lo, pois em alguns casos as informações passadas pelos consumidores permitem esse passo. Tratando-se de um defeito simples com reparos rápidos, a equipe dispensa a etapa quatro e ao final todo o sistema é restabelecido de uma só vez.

De acordo com o histórico de falhas dos alimentadores, muitas das ocorrências do dia a dia se resumem ao que foi discutido, mas em alguns casos onde a falta não é visível,

como no caso de isoladores comprometidos, o processo de atendimento é mais complicado e as equipes precisam utilizar de todas as etapas e recursos para resolvê-lo. Nesses casos, torna-se evidente a etapa 3 do processo.

Os métodos utilizados para a pesquisa pelo defeitos definidas pela etapa 3 estão diretamente relacionadas a utilização ou não dos sinalizadores, visto que estes dispositivos contribuem para a redução do tempo de localização do trecho com defeito. Dessa forma, a contabilização do tempo gasto nessa etapa pode ser utilizada como critério de avaliação do desempenho do método, bem como apontar as diretrizes para a instalação dos equipamentos e quantidade de dispositivos.

3.2.1 Estimativa do Tempo de Pesquisa (t_3)

Uma forma de estimar o tempo de pesquisa pode ser feita utilizando equacionamentos baseados nos deslocamentos realizados pelas equipes de manutenção (USIDA et al., 2012). Uma estimativa mais efetiva pode ser realizada quando considerado também os demais procedimentos realizados pela equipe, como manobras de chaves, testes de religamentos e instalação de um IFT.

Dessa forma, o tempo de pesquisa pode ser estimado considerando cada método de pesquisa, visto que em cada caso, ocorrerão diferentes quantidades de deslocamentos e manobras. Nesse trabalho será equacionada o método de pesquisa trecho a trecho e a nova técnica utilizando os IFTs. Em ambos os casos, é considerada apenas uma equipe de atendimento, de forma que essa sempre retorna para a posição onde se encontra o elemento de proteção para realizar o teste de energização. Como ponto de partida da modelagem, será considerado apenas o entroncamento principal e as bifurcações, desconsideradas.

3.2.1.1 Equacionamento do Método Trecho a Trecho

Como descrito na revisão bibliográfica, esse método consiste em tentativas de restabelecimento de cada bloco do alimentador, até que seja encontrado aquele que apresenta a falha. Por sua vez, cada bloco é definido por trechos entre chaves instaladas ao longo do circuito como mostrado na Figura 19.

Dessa forma a equipe parte do elemento de proteção em direção à primeira chave e executa a sua abertura. Em seguida, a equipe retorna ao elemento de proteção e realiza o teste de energização.

Sendo mal sucedida a energização, presume-se que a falta encontra-se no bloco em questão e é finalizada a etapa de pesquisa e contabilizado o tempo envolvido. Por outro lado, sendo bem sucedida, a equipe se dirige até a segunda chave de manobra, realiza a sua abertura e retorna até a primeira chave para realizar um novo teste de energização,

agora envolvendo o segundo bloco. O procedimento supramencionado é repetido até que se encontre o bloco que apresente o insucesso na energização.

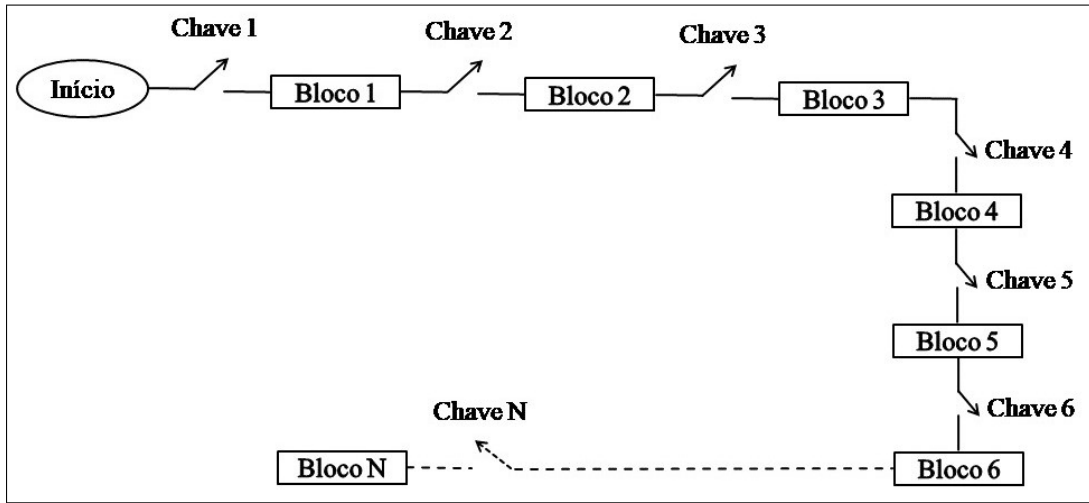


Figura 19 – Definição dos blocos de restabelecimento

Conhecendo-se o comprimento de cada bloco, assumindo as velocidades de deslocamento das equipes de manutenção constante e tempos típicos envolvendo manobras do equipamentos, tem-se o equacionamento 3.1, 3.2 e 3.3:

$$t_3(1) = 2 * \left(\frac{DX.bloco(1)}{v.deslocamento} \right) + t.religamento + t.manobra \quad (3.1)$$

$$t_3(2) = T_3(1) + 2 * \left(\frac{DX.bloco(2)}{v.deslocamento} + t.manobra \right) \quad (3.2)$$

$$t_3(n) = T_3(n-1) + 2 * \left(\frac{DX.bloco(n)}{v.deslocamento} + t.manobra \right) \quad (3.3)$$

onde:

- n: indica o bloco em teste e varia no intervalo de 1 até n° de blocos do alimentador;
- DX.bloco(n): refere-se ao comprimento do bloco(n) em teste;
- v.deslocamento: é a velocidade média de deslocamento da equipe em viatura;
- t.manobra: é o tempo médio contabilizado na execução de chaves do tipo faca;
- t.energização: é o tempo médio contabilizado na execução da manobra para teste de energização do alimentador;

Pela equação 3.3 é possível observar que a cada interação onde é testado um novo bloco, é contabilizado o tempo das experiências passadas através da parcela $T_3[n-1]$. Ao final de todas as interações, é estimado o tempo de pesquisa envolvendo cada bloco do sistema.

3.2.1.2 Equacionamento da Novo Método com Instalação dos IFT

No método em questão, a estimativa do tempo de pesquisa deve considerar também a instalação dos indicadores de falta ao longo do alimentador. A princípio foi considerada a instalação dos dispositivos nos nós que possuem chaves instaladas, de forma que, ao verificar a atuação dos sinalizadores essas chaves possam ser manobradas e o defeito isolado.

Uma forma de estimar o tempo de instalação de todos os IFT é considerando o deslocamento que a equipe realiza percorrendo o alimentador até o ponto onde será instalado o último IFT, bem como o tempo médio de instalação de tais dispositivos. A equação 3.4 descreve esse procedimento ilustrado na Figura 20.

$$t_{inst} = \frac{DX.nó(ultimoIFT)}{v.deslocamento} + (n^o IFTs) * (t_{inst. IFT}) \quad (3.4)$$

- $DX.nó$: é a distância da barra até o elemento de proteção atuado;
- $n^o IFT$: é o número de IFT que se deseja instalar no alimentador;
- $t_{inst. IFT}$: é o tempo médio contabilizado na realização da instalação de um IFT.

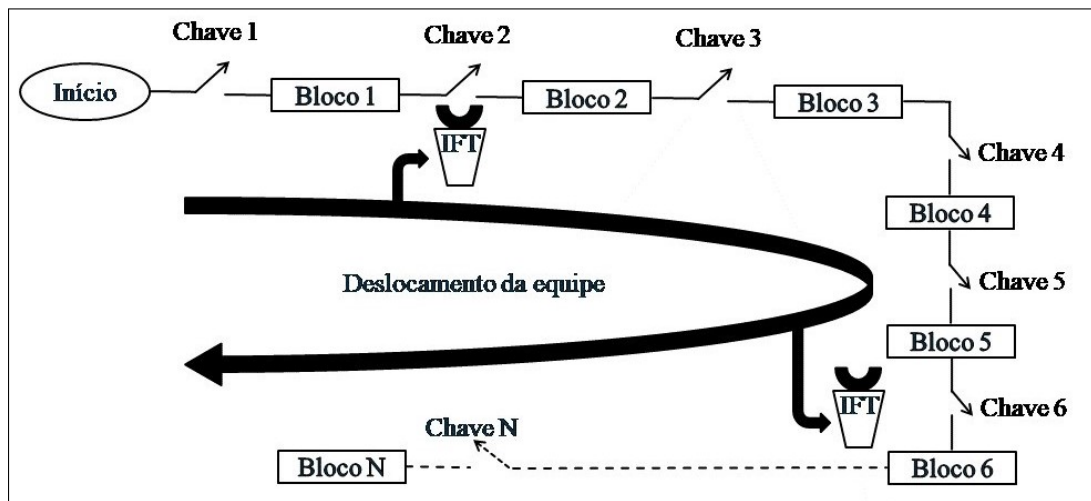


Figura 20 – Ilustração do procedimento de instalação dos IFT.

Com a utilização de IFT, os blocos são redefinidos considerando os pontos de instalação dos dispositivos. A informação de qual desses blocos apresenta a falta é obtida após

o teste de energização e atuação dos IFT. Como a instalação de IFt em todos os trechos não é cabível e como mostrado nas próximas seções, não é adequada, após identificar o bloco que apresenta a falha, é aplicado o método trecho a trecho para testar os sub-blocos e realizar o término da etapa de pesquisa. Os sub-blocos são definidos pelos trechos entre as chaves que ainda restam entre os IFT. A Figura 21 apresenta a nova definição dos blocos e sub-blocos.

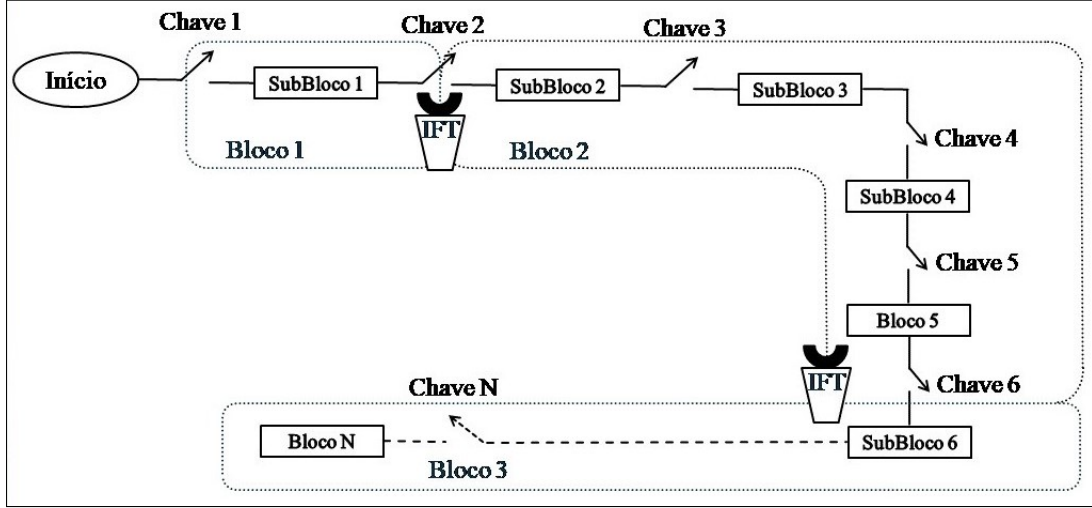


Figura 21 – Definição dos blocos e sub-blocos.

Dessa forma, o tempo de pesquisa $t_3(n)$ pode ser calculado pela nova equação 3.5:

$$t_3[n] = t_{inst.IFT} + t_{teste}(n) \quad (3.5)$$

Onde:

- t_{inst} : é o tempo estimado para a instalação dos IF;
- $t_{teste}(n)$: é o tempo estimado para teste do sub-bloco(n);

Pela equação 3.5 observa-se que o tempo de instalação é o mesmo para todas as interações, ou seja, o tempo t_3 de um sub-bloco é estimado somando o tempo de instalação dos IFT e a parcela referente ao seu teste particular. O tempo de teste de cada sub-bloco ($t_{teste}(n)$) é estimado utilizando a equações 3.1 e 3.3 com as devidas considerações. A cada interação (n) é realizado um teste lógico da seguinte forma:

- $Bloco(n) = Sub-Bloco(n)$:

Nessa condição, após o teste de energização, a atuação dos IFT indicará se o sub-bloco em análise apresenta a falha, de forma que não será necessário nenhum procedimento a mais e o tempo de teste(n) será nulo. A referida condição ocorre para o sub-bloco 1 apresentado na Figura 21

- Sub-bloco(n) é o primeiro a montante do ponto de instalação do IFT:

Essa condição é ilustrada pelo sub-blocos 2 e 6 da Figura 21. No caso em comento deve ser utilizada a equação 3.1 fazendo a seguinte modificação:

$$t_{teste}(n) = 2 * \left(\frac{DX.chave(n+1)}{v.deslocamento} \right) + t.religamento + t.manobra \quad (3.6)$$

onde:

- DX.chave(n+1): é a distância entre a chave a montante e o ponto de teste de religamento.

- Se nenhuma das condições:

Essa condição é interpretada como o mesmo cenário onde não existem IFT e é aplicado o método trecho a trecho normalmente. À vista disso, para a estimativa do tempo de teste deste sub-blocos é aplicada a equação 3.3 fazendo a seguinte modificação:

$$t_3(n) = T_3(n-1) + 2 * \left(\frac{DX.sub - bloco(n)}{v.deslocamento} + t.manobra \right) \quad (3.7)$$

onde:

- sub-bloco: refere-se ao comprimento do sub-bloco(n) em teste.

3.2.1.3 Organização dos Dados

O desenvolvimento dos equacionamentos apresentados na seção anterior utiliza dados que não são disponibilizadas diretamente como foram apresentados, necessitando de um método para o devido condicionamento dessas informações. A Tabela 2 apresenta a seção de uma planilha com dados extraídos de um alimentador real de distribuição.

Tabela 2 – Dados de linha de um alimentador real.

Nó 1	Nó2	Equipamento	km	ar	br	P	I	VNó 1
CND-01	29913	3#4/0CA	0,001	1	0	9196,67	246,48	23,00
29913	29854	3#4/0CA	0,011	2	1	9196,62	246,48	23,00
29854	29855	3#4/0CA	0,001	3	2	9196,00	246,48	23,00
29855	29713	3#4/0CA	0,012	4	3	9195,98	246,48	23,00
29713	29866	3#4/0CA	0,063	5	4	9195,30	246,48	23,00
29866	NHA-628	SWITCH	0,000	6	5	9191,82	246,48	22,98
29685	29691	3#4/0CA	0,026	7	6	9191,82	246,48	22,98
29691	29714	3#4/0CA	0,013	8	7	9143,67	245,21	22,98
29714	29706	3#4/0CA	0,002	9	8	9142,93	245,21	22,98
29706	29705	3#4/0CA	0,154	10	9	9142,84	245,21	22,98

O sistema define um nome para cada nó do sistema; na coluna "Equipamento", podem ser retiradas as informações dos nós que se encontram as chaves de manobra; na coluna "km", pode se obter o comprimento de cada seção; e nas colunas "ar" e "br", as informações das extremidades que o trecho está conectado. Porém, a informação dos caminhos que levam até um certo nó e a contabilização do seu comprimento total não é imediatamente calculável. Por esse motivo foi utilizada o método desenvolvido e apresentado no ANEXO A, dessa forma são definidos todos os blocos, seus respectivos comprimentos e contabilizadas as distâncias em que cada nó se encontra da subestação.

3.2.2 Simulações e Resultados Parciais

Para ilustrar o funcionamento da rotina, foi considerado um alimentador de distribuição pertencente à área de concessão da empresa ELEKTRO ELETRICIDADE e SERVIÇOS S/A. As características gerais desse alimentador são apresentadas na Tabela 3 e as demais informações com os dados de linha são apresentadas no ANEXO B.

Tabela 3 – Características do alimentador de estudo. Modificado de (USIDA, 2011)

Nível de tensão	13,8 kV
Número de nós do alimentador	2002
Número de nós no tronco principal	336
Potência instalada	16,02 MVA
Número de unidades consumidoras	5480
Comprimento do alimentador	89,71 km
Comprimento do tronco principal	18,39 km

O alimentador em estudo possui 12 chaves instaladas ao longo do seu tronco principal. A Tabela 4 apresenta o nome de cada barra em que elas se encontram. Essa informação permite dividir o tronco em 13 blocos de restabelecimento ligados em série. Supondo a falta em um bloco, sabe-se que os blocos à montante da falta são restabelecíveis e os blocos à jusante não possuem essa flexibilidade, de forma que apenas são conectados ao sistema ao final do processo quando a defeito é efetivamente reparado. Essa informação é importante para uma futura estimativa de indicadores de qualidade.

A seguir serão apresentados os resultados das simulações de faltas em cada bloco do sistema. Serão apresentados diferentes casos de instalação de IFT combinando diferentes quantidades e posições dos dispositivos. É contabilizado o tempo de pesquisa para uma suposta falta em cada bloco e ao final é apresentado o tempo médio de pesquisa para cada configuração.

3.2.2.1 Caso 1: Instalação de IFT em Todos os Sub-Blocos

A Tabela 5 apresenta informações dos nós em que foram instalados os IFT na primeira simulação. No caso em comento, procurou se investigar o que aconteceria se a

Tabela 4 – Nós com chaves de manobra

Nº da chave:	Nó de instalação da chave:
1	4
2	22
3	71
4	103
5	441
6	515
7	643
8	919
9	1231
10	1713
11	1729
12	1998

equipe decidisse instalar uma quantidade elevada de sensores na rede.

Tabela 5 – Caso 1: Entrada dos dados - Nós de instalação dos IFT

Nº do IF:	Nó de instalação do IFT:
1	4
2	22
3	71
4	103
5	441
6	515
7	643
8	919
9	1231
10	1713
11	1729
12	1998

A Tabela 6 apresenta os valores médios estimados ao final das iterações. Como pode ser observado, nesse caso o tempo de instalação de todos os sensores é maior que o tempo médio gasto no método trecho a trecho indicando que essa, além de inviável, não é uma boa prática.

Tabela 6 – Resultado caso 1: instalação de IFT em todos os sub-Blocos.

Tempo de instalação de IFT [horas]	Tempo médio de pesquisa [horas]	
3,2271	Trecho a trecho	Instalação de IFT
	2,7158	3,3938

A Figura 22 apresenta os resultados em forma gráfica dos tempos estimados em cada interação. Por ela é possível observar que a prática utilizando IFT só teria melhores resultados se a falta ocorresse nos últimos blocos do alimentador, onde o método trecho a trecho envolveria uma grande quantidade de manobras e deslocamentos.

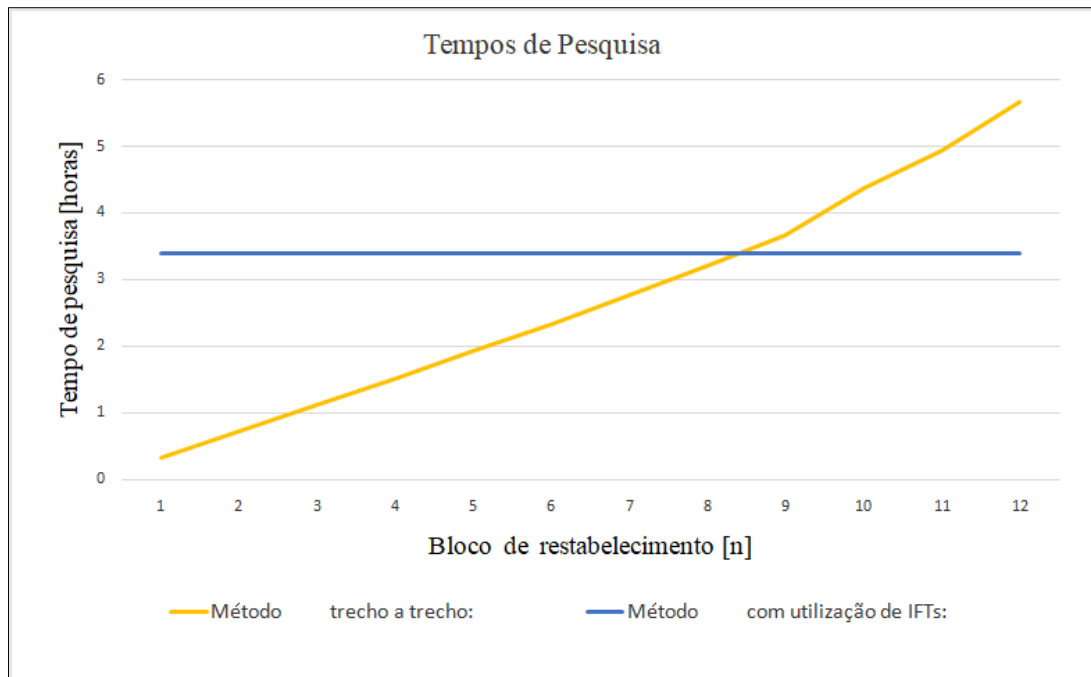


Figura 22 – Resultado do caso 1: instalação de IFT em todos os sub-blocos.

3.2.2.2 Caso 2: Instalação de IFT no final do alimentador

A Tabela 7 apresenta a informação dos nós no local onde foram instalados os IFT na segunda configuração. Nesse caso, procurou se investigar o que aconteceria se a equipe decidisse instalar um IFT ao final do alimentador.

Tabela 7 – Caso 2: Entrada dos dados - Nós de instalação dos IFT

Nº do IF:	Nó de instalação do IFT:
1	1729

Na Tabela 8 são apresentados os valores médios estimados ao final das iterações. Como pode ser observado, a instalação do IFT em uma barra ao final do alimentador depende um elevado tempo em deslocamento que, como consequência, elevará o tempo médio de pesquisa.

Analisando-se a Figura 23, pode-se observar que na presente configuração a instalação do IFT só traria melhores resultados se as faltas ocorressem no último bloco do alimentador.

Tabela 8 – Resultado caso 2: instalação de IFT no final do alimentador.

Tempo de instalação de IFTs [horas]	Tempo médio de pesquisa [horas]	
1,02	Trecho a trecho	Instalação de IFT
	2,71	3,43

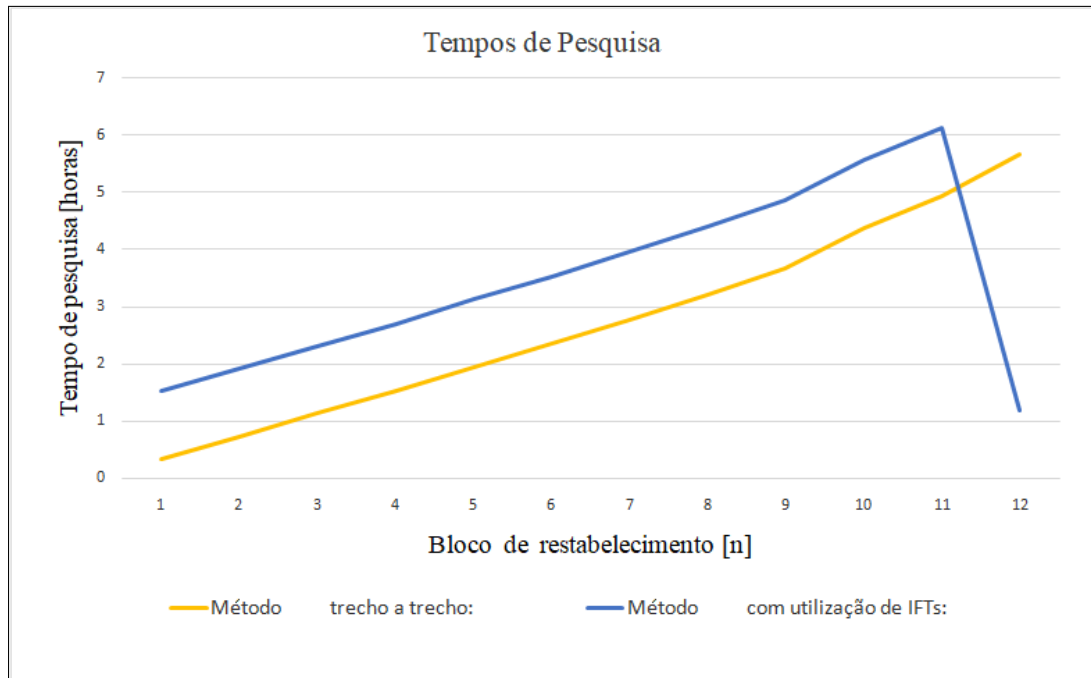


Figura 23 – Resultado do caso 2: instalação de IFT no final do alimentador.

3.2.2.3 Caso 3: Instalação de IFT no Nó 441 do Alimentador

A Tabela 9 apresenta a informação dos nós onde foram instalados IFT na terceira configuração. Destarte, procurou-se investigar o que aconteceria se a equipe decidisse instalar um IFT em nós iniciais do alimentador.

Tabela 9 – Caso 3: Entrada dos dados - Nós de instalação dos IFT

Nº do IF:	Nó de instalação do IFT:
1	441

Na Tabela 10 são apresentados os valores médios estimados ao final das iterações. Constata-se que a instalação do IFT em uma barra inicial depende pouco tempo de instalação e divide o alimentador em dois grandes blocos de restabelecimento. Essa configuração faz com que o tempo médio de pesquisa utilizando IFT seja menor.

Ao verificar a Figura 24, pode-se observar que nesta configuração, a instalação do IFT só não traria melhores resultados nos casos envolvendo faltas nos primeiros blocos.

Tabela 10 – Resultado caso 3: instalação de IFt no nó 441 do alimentador

Tempo de instalação de IFT [horas]	Tempo médio de pesquisa [horas]	
0,38	Trecho a trecho	Instalação de IFT
	2,71	2,28

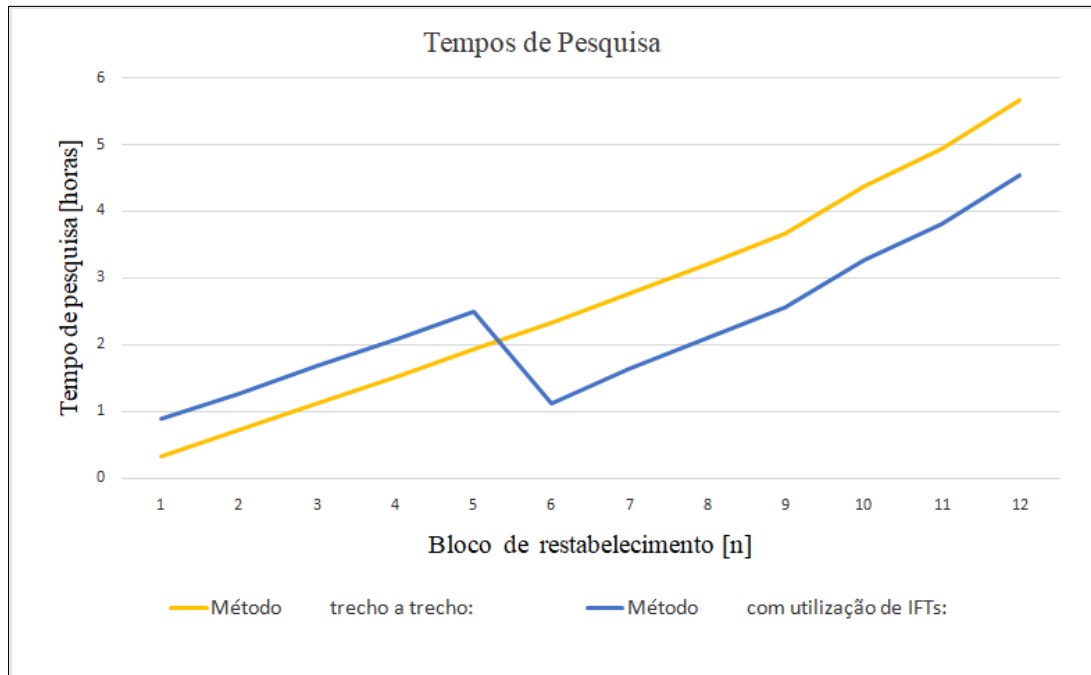


Figura 24 – Resultado do caso 3: instalação de IFt no nó 441 do alimentador.

3.2.2.4 Caso 4: Instalação de IFT nos Nós 441 e 919 do Alimentador

A Tabela 11 apresenta as informações dos nós onde foram instalados os IFT na última configuração. Nessa situação, procurou-se investigar o que aconteceria se a equipe decidisse instalar IFT para dividir o alimentador de forma estratégica.

Tabela 11 – Caso 4: Entrada dos dados - Nós de instalação dos IFT

Nº do IF:	Nó de instalação do IFT:
1	441
2	919

Na Tabela 12 são apresentados os valores médios estimados ao final das iterações. Visualiza-se assim, que, o tempo médio utilizando IFT é ainda menor que o caso 3. Tal resultado confirma que alguns nós são mais receptíveis à instalação dos indicadores. Além do mais, percebe-se que existe uma quantidade ótima de dispositivos, de forma que não ocorrem mais ganhos em termos de diminuição de tempo com a instalação de maiores quantidades de dispositivos.

Tabela 12 – Resultado caso 4: instalação de IFT nos nós 441 e 919 do alimentador

Tempo de instalação de IFT [horas]	Tempo médio de pesquisa [horas]	
0,72	Trecho a trecho	Instalação de IFTS
	2,72	2,27

Numa análise da Figura 24, observa-se que nessa configuração a instalação dos IFT só não traria melhores resultados nos casos envolvendo faltas nos primeiros blocos.

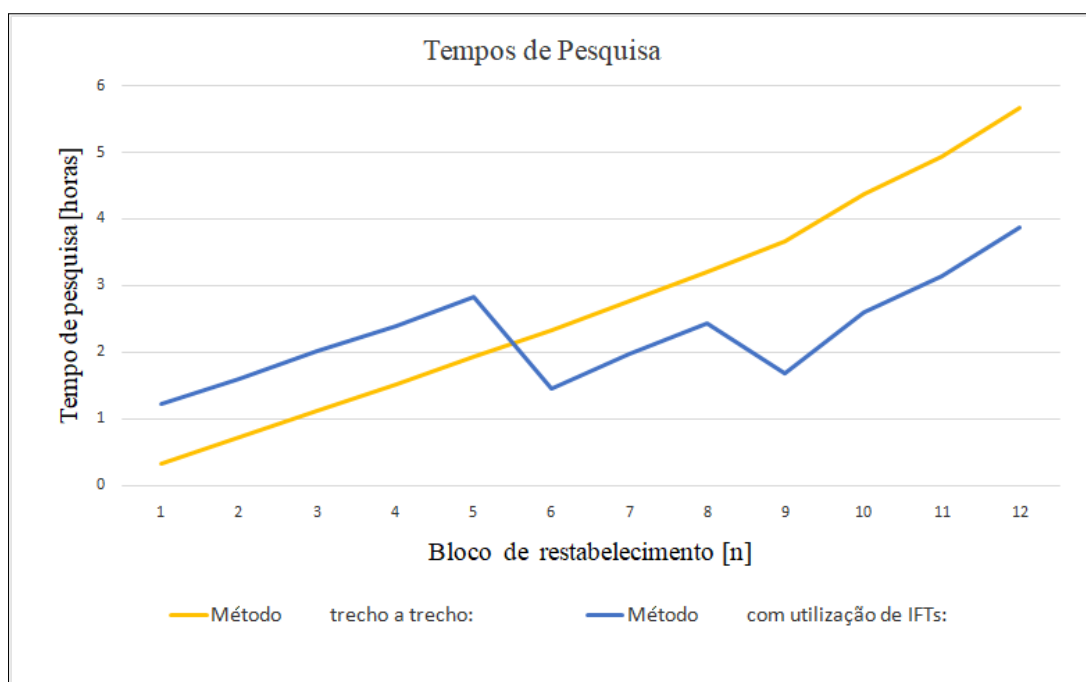


Figura 25 – Resultado do caso 4: instalação de IFT nos nós 441 e 919 do alimentador.

3.2.3 Análise dos Resultados

Com a simulação da rotina para o alimentador de estudo, pode-se observar um resultado negativo quando considerado a instalação de muitos IFT. Essa configuração demandaria muito tempo de deslocamento da equipe e não traria melhores resultados que o método já utilizado pela concessionária. A instalação de IFT apresentam melhores resultados em determinados nós do sistema, o que justifica técnicas de alocação otimizada de indicadores de falta. A consideração da taxa de falha e da carga instalada de cada bloco podem ser fatores que aumentam o nível de receptividade de um nó.

Ao se comparar os métodos aplicados, ficam evidentes os benefícios da utilização dos indicadores de falta e os impactos na redução no tempo. Porém, esses resultados ainda não viabilizam a utilização de IFT em substituição a manobra de chave. Dessa forma, outra aplicação será proposta com foco em um problema enfrentado pelas equipes de manutenção levantada durante a fase de desenvolvimento do procedimento.

3.3 Entendimento do Problema

Como discutido na revisão bibliográfica, atualmente as equipes de manutenção utilizam o método de pesquisa trecho a trecho para diminuir o espaço de busca pelo defeito e agilizar o processo de restabelecimento da rede. Porém, tratando-se de alimentadores rurais, algumas ramificações possuem trechos com elevada extensão, em alguns casos cortando regiões com elevada densidade de vegetação, que dificulta a inspeção visual e até mesmo a instalação de chaves do tipo faca para seccionamento do circuito.

Em muitos destes casos, as ramificações se estendem para atender a demanda de pequenos produtores rurais e algumas cargas pontuais. Esse baixo perfil de carga impossibilita a utilização de uma chave fusível intermediária devido à impossibilidade de coordenação da proteção. Dessa forma, essas bifurcações são conectadas diretamente ao tronco principal da ramificação.

Neste cenário, em algumas ocorrências, as equipes utilizam a abertura de *jumpers* como medida de retaguarda. Coordenada pelo COD a equipe se direciona a pontos estratégicos da ramificação e procura por estruturas de ancoragem como mostrado na Figura 26, retirando a conexão elétrica entre os trechos, conforme a Figura 27.

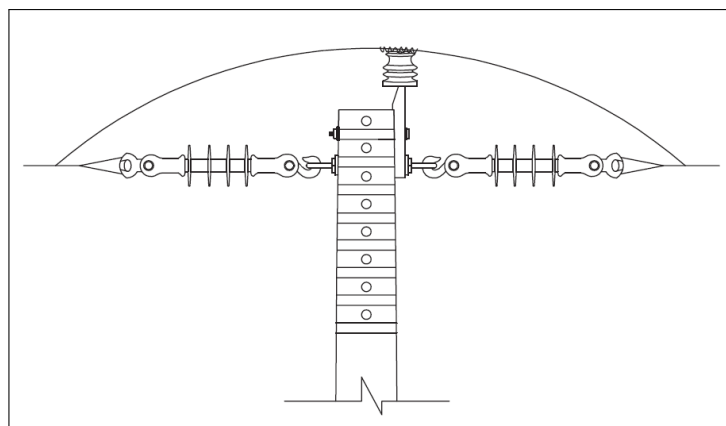


Figura 26 – Estrutura monofásica do tipo ancoragem - U4 (ENERGISA, 2012).

Essa medida de retaguarda demanda um elevado esforço da equipe e impacta no tempo de atendimento. Ao chegar na estrutura onde será realizada a abertura do *jumper* a equipe realiza uma sequência de procedimentos previstos na instrução técnica, sendo elas apresentadas na ordem cronológica:

1. Conversar ao pé do poste, fase de planejamento que antecede a execução;
2. Preencher o APR (Análise Preliminar de Risco);
3. Sinalizar a área de trabalho;
4. Separar os EPI, EPC e ferramentas;

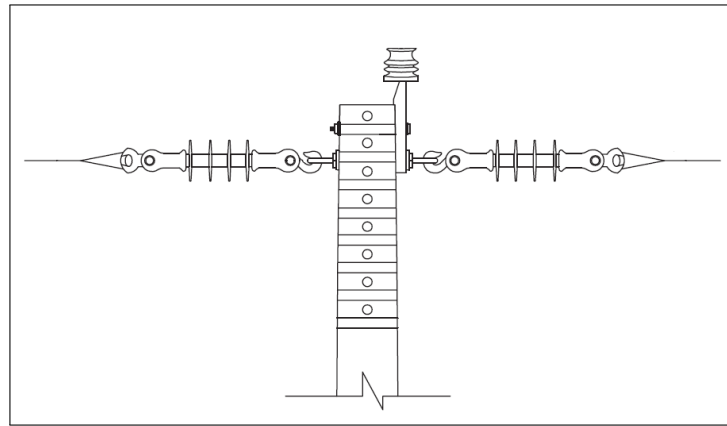


Figura 27 – Abertura do *jumper*. Adaptado de (ENERGISA, 2012).

5. Fixar e amarrar a escada, na parte inferior, no poste da concessionária;
6. Subir na escada, alçar o talabarte no poste da concessionária e no cinto paraquedista e travar o trava-quedas;
7. Prender o trava-quedas na linha de vida;
8. Amarrar a escada na parte superior do poste da concessionária;
9. Testar a ausência de tensão;
10. Instalar aterramentos temporários;
11. Abrir *jumpers* na rede de MT;

Após a abertura do *jumper* é realizada uma nova tentativa de energização do sistema. Caso seja bem sucedida a energização, a equipe realiza a inspeção do trecho a jusante do *jumper* e após a localização do defeito uma equipe de linha viva retorna ao local onde foi feita a abertura e refaz a conexão restabelecendo todo o alimentador. Por outro lado, se mal sucedida a equipe procura outro ponto para abertura de *jumper* até que se seccione o trecho com defeito. Cada vez que uma seção é verificada, os elos fusíveis da chave devem ser trocados e a chave novamente fechada, o que demanda muito tempo e acarreta desperdício de material.

Para tornar mais claro o processo descrito, é apresentado na Figura 28 um exemplo didático de uma ramificação de um alimentador. No exemplo, uma falta permanente em uma bifurcação fez com que a chave fusível seccionasse toda a ramificação do alimentador. A equipe de manutenção seria acionada pelo COD e após a verificação da chave fusível atuada se dirigiria para a primeira chave faca instalada, realizaria sua abertura e coordenaria um teste de energização.

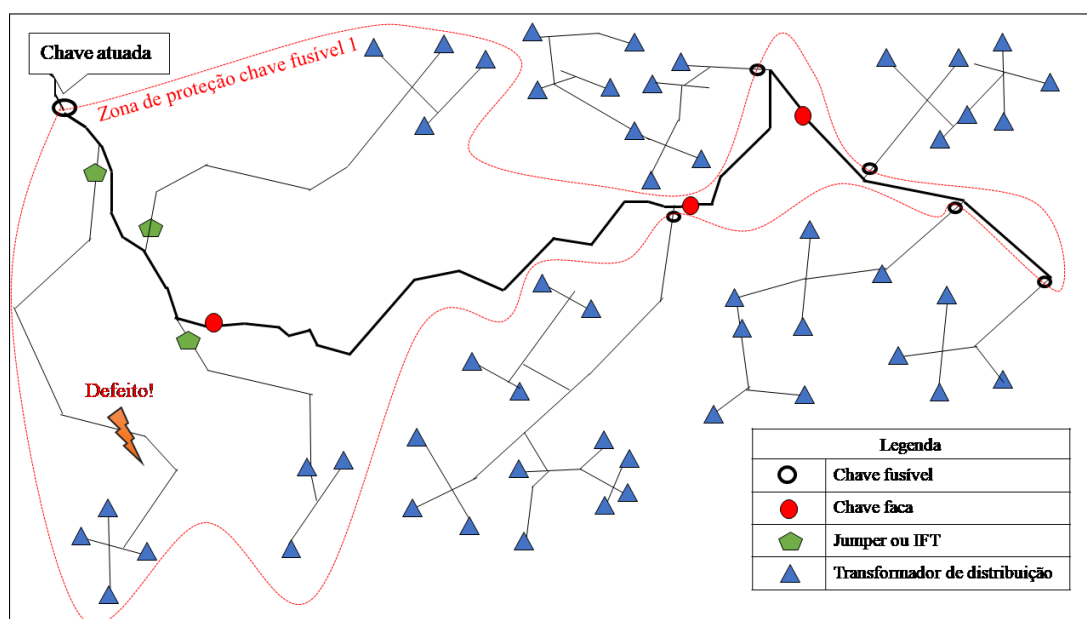


Figura 28 – Rede didática - Zona de Proteção da chave fusível atuada.

Após o insucesso na energização é definido um novo espaço de busca pelo defeito conforme apresentado na Figura 29. Nesse caso, o COD vai coordenar a abertura dos *jumper*s nos pontos estratégicos afim de reduzir este espaço.

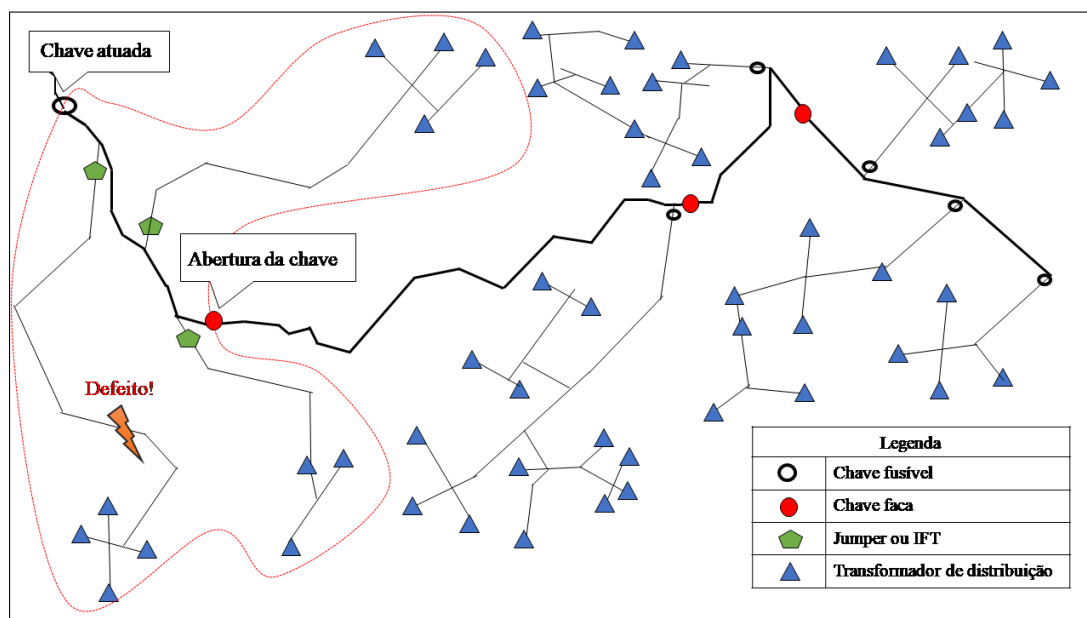


Figura 29 – Rede didática - Novo espaço de busca.

3.4 Simulação do Método com Grampo de Linha Viva

Apesar do tempo gasto na instalação dos IFT na rede após a falta, o método proposto proporciona ganhos consideráveis, visto que a instalação desses equipamentos

é mais rápida que a abertura de *jumpers*. A instalação é realizada por vara de manobra dispensando a necessidade de uma equipe de linha viva e instalação de aterramento temporário.

A fim de levantar os reais ganhos do novo método de restabelecimento foi realizado um teste em campo da aplicação dos IFT. Para isso, foi escolhido um caso crítico real registrado em uma rede da ENERGISA na Paraíba para se fazer a reconstituição adotando os procedimentos do procedimento atual. Na ocorrência a atuação de um religador desconectou 3599 clientes e a equipe de manutenção foi acionada. Após inúmeras tentativas de energização, aberturas de *jumpers* e inspeções de trecho, o sistema foi parcialmente restabelecido (CAPELINI et al., 2016).

Os procedimentos realizados pela equipe de manutenção em atendimento à ocorrência são apresentados na Tabela 13. As demais informações como topologia do alimentador, bem como posicionamento dos equipamentos de manobra e proteção não foram passadas, ficando apenas as informações das tabelas disponíveis para a avaliação.

Pelas informações apresentadas, pode-se concluir que o trecho desenergizado foi dividido em cinco blocos de cargas, sendo três deles delimitados por chaves faca e dois por *jumpers*. Utilizando a técnica tradicional de restabelecimento trecho a trecho, a equipe realizou a manobra das chaves faca de forma a testar os trechos associados, com subsequentes tentativas de fechamento do religador, sem sucesso. Em seguida, foi realizada a inspeção em todo circuito do alimentador e nenhum defeito foi constatado, atividade que demandou a maior parte do tempo.

Como os procedimentos realizados até então não foram suficientes para revelar o trecho com defeito, foi coordenada a abertura de dois *jumpers* para isolar as áreas rurais. Destarte, realizou-se a energização do alimentador com êxito, normalizando 99,44% dos clientes. Devido ao horário de atendimentos, as atividades foram encerradas por hora no primeiro dia de atendimento.

Ao início do segundo dia de assistência, foram alocadas equipes para realizar inspeção das áreas compreendidas pelos *jumpers* e a inspeção revelou um isolador danificado no trecho do *umper* 2, que foi substituído, sendo a rede restabelecida totalmente. O tempo de atendimento à ocorrência foi de vinte e quatro horas.

Tendo em vista que o sistema de IFT ainda estava em desenvolvimento nessa etapa e não poderia ser instalado em campo, a aplicação do método proposto foi realizada com a instalação de grampos de linha viva. Como apresentado na Figura 30, esse dispositivo possui um mecanismo de acoplamento ao cabo semelhante ao IFT, sendo instalado também por uma vara de manobra.

Inicialmente, foi necessário simular a instalação do IFT na linha de distribuição para medir o tempo gasto na sua instalação. A simulação resultou em diversas tomadas

Tabela 13 – Descrição dos procedimentos adotados para atendimento da ocorrência.

Etapa:	Descrição:	Data:	Tempo realizado:
1	Abertura do religador	23/02/2016	17:00:00
2	Chegada de 2 equipe no local	23/02/2016	17:50:00
3	Realizada inspeção visual no local	23/02/2016	18:35:00
4	Realizado teste no religador sem êxito	23/02/2016	18:35:00
5	Abertura da chave faca 1	23/02/2016	18:49:00
6	Realizado teste no religador sem êxito	23/02/2016	18:50:00
7	Abertura da chave faca 2	23/02/2016	19:28:00
8	Realizado teste no religador sem êxito	23/02/2016	19:30:00
9	Alocação de mais uma equipe	23/02/2016	20:30:00
10	Abertura da chave faca 3	23/02/2016	20:50:00
11	Realizado teste no religador sem êxito	23/02/2016	20:50:00
12	Realizada inspeção em todo circuito	23/02/2016	23:15:00
13	Realizada abertura de <i>juniper</i> 1	24/02/2016	00:00:00
14	Realizada abertura de <i>juniper</i> 2	24/02/2016	00:02:00
15	Realizado teste no religador com êxito	24/02/2016	00:18:00
16	Desalocação da equipe	24/02/2016	01:30:00
17	Alocação de uma equipe	24/02/2016	07:30:00
18	Realizada inspeção na área do <i>juniper</i> 1	24/02/2016	11:30:00
19	Realizado fechamento do <i>juniper</i> 1	24/02/2016	12:00:00
20	Realizado fechamento do <i>juniper</i> 1 e normalizado a área 1	24/02/2016	12:00:00
21	Alocação de mais um equipe	24/02/2016	14:00:00
22	Encontrado isolador danificado	24/02/2016	16:00:00
23	Realizada manutenção corretiva	24/02/2016	16:30:00
24	Realizado fechamento do <i>juniper</i> 2	24/02/2016	16:50:00
25	Normalizado a área do <i>juniper</i> 2	24/02/2016	17:00:00

de tempo, sendo que o tempo médio para instalação do dispositivo foi de 10 minutos. Esse período contempla o registro da atividade na planilha de ordem de serviço, avaliação de risco, preparação dos EPI e EPC, colocação da sinalização, posicionamento e a montagem do IFT na linha. Tais informações, bem como as informações envolvendo o tempo de abertura e fechamento de *jumpers*, estão disponíveis nos anexos B, C e D.

A simulação da aplicação do método a esse caso foi feita da seguinte maneira: para a parte da rede formada por linhas trifásicas, em área urbana, foi mantido o método de pesquisa de falta trecho a trecho, ao passo que para a parte rural da rede foram considerados a instalação de dois IFT instalados em substituição a cada *juniper*. A Tabela 14 apresenta a descrição dos procedimentos simulados na sua ordem cronológica.

Como pode ser observado na Tabela 14, o tempo de atendimento à ocorrência foi de oito horas e meia, consistindo em uma redução de 65% do tempo original anteriormente despendido.

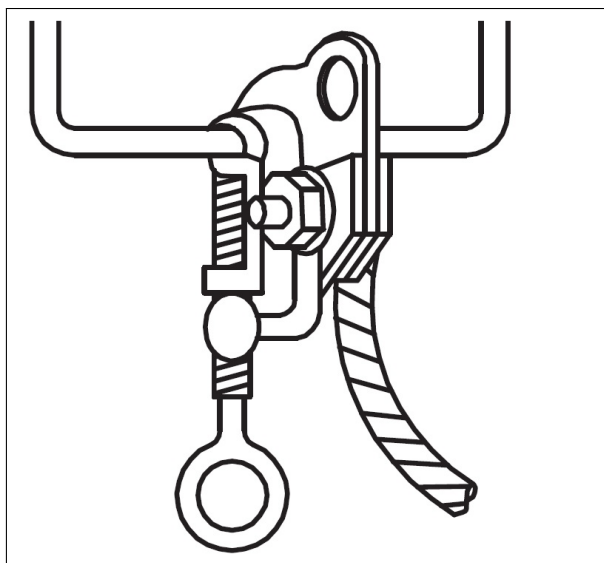


Figura 30 – Grampo de linha viva. Modificado de CEB (2013).

Tabela 14 – Descrição dos procedimentos simulados para atendimento à ocorrência.

Etapa:	Descrição:	Data:	Tempo realizado:
1	Abertura do religador	23/02/2016	17:00
2	Chegada de 2 equipes no local	23/02/2016	17:50
3	Realizada inspeção visual no local	23/02/2016	18:35
4	Realizado teste no religador sem êxito	23/02/2016	18:35
5	Abertura da chave faca 1	23/02/2016	18:49
6	Realizado teste no religador sem êxito	23/02/2016	18:50
7	Abertura da chave faca 2	23/02/2016	19:28
8	Realizado teste no religador sem êxito	23/02/2016	19:30
9	Alocação de mais uma equipe	23/02/2016	20:30
10	Abertura da chave faca 3	23/02/2016	20:50
11	Realizado teste no religador sem êxito	23/02/2016	20:50
12	Equipes direcionadas para instalação dos IF'Ts	23/02/2016	20:50
13	Sensor de falta no <i>jumper</i> 1	23/02/2016	22:00
14	Sensor de falta no <i>jumper</i> 2	23/02/2016	22:10
15	Realizado teste no religador sem êxito	23/02/2016	22:10
16	Abertura do <i>jumper</i> 2	23/02/2016	22:30
17	Realizado teste no religador com êxito	23/02/2016	22:30
18	Realizada inspeção da área do <i>jumper</i> 2	24/02/2016	00:30
19	Realizado manutenção corretiva no isolador	24/02/2016	01:00
20	Realizado fechamento do <i>jumper</i> 2	24/02/2016	01:20
21	Normalizado a área do <i>jumper</i> 2	24/02/2016	01:30

4 Ferramentas Desenvolvidas e Testes de Aferição

Este capítulo apresenta as ferramentas de sinalização desenvolvidas no P&D que dão suporte ao novo método de restabelecimento. O referido sistema é composto por uma central de operação, sinalizadores e um software de operação. Em virtude de não serem o foco desta pesquisa, as ferramentas serão brevemente citadas neste capítulo, apresentando de maneira sucinta algumas de suas características e especificações. Apresentam-se os testes de aferição realizados em campo a fim de verificar o funcionamento dos dispositivos e levantar suas limitações técnicas.

4.1 Equipamentos Desenvolvidos

O sistema de sinalização de faltas, foi concebido para trabalhar tanto com o procedimento proposto quanto em aplicações clássicas, com os sinalizadores instalados permanentemente na rede. Assim, para a sua concepção foram levantadas as características dos modelos de indicadores de falta disponíveis no mercado, confrontando-as com as necessidades para a aplicação da técnica apresentada. Desse levantamento, estudos foram realizados para a definição das especificações do sistema de sinalização, englobando a central de operação, os sinalizadores e o software de operação.

4.1.1 Central de Operações

A central de operações foi concebida para ser um equipamento portátil, de dimensões similares a um *tablet*, possuindo uma interface simples, como o esboço mostrado na Figura 31 .

A partir dessa interface será possível a total operação do sistema, isso é, permitir-se-á que a pesquisa de falta seja realizada de acordo com o proposto no método. Entretanto, o diagnóstico fornecido não será gráfico, consistindo apenas em informações alfanuméricas mostradas no *display*.

A central de operação se comunica com os sinalizadores através de uma rede *mesh*, formada por módulos de rádio de longo alcance e se conecta a um microcomputador através de uma porta USB. Dessa forma, a central irá atuar como uma concentradora de dados, funcionando em uma topologia representada pela Figura 32. Na figura supramencionada, a viatura representa o local onde o conjunto formado pela central de operação e o PC portátil estariam instalados. Porém, não existirá necessariamente uma antena



Figura 31 – Central de operação..

fixa no veículo. A central de operação poderá ser utilizada fora da viatura, conferindo flexibilidade ao seu operador.

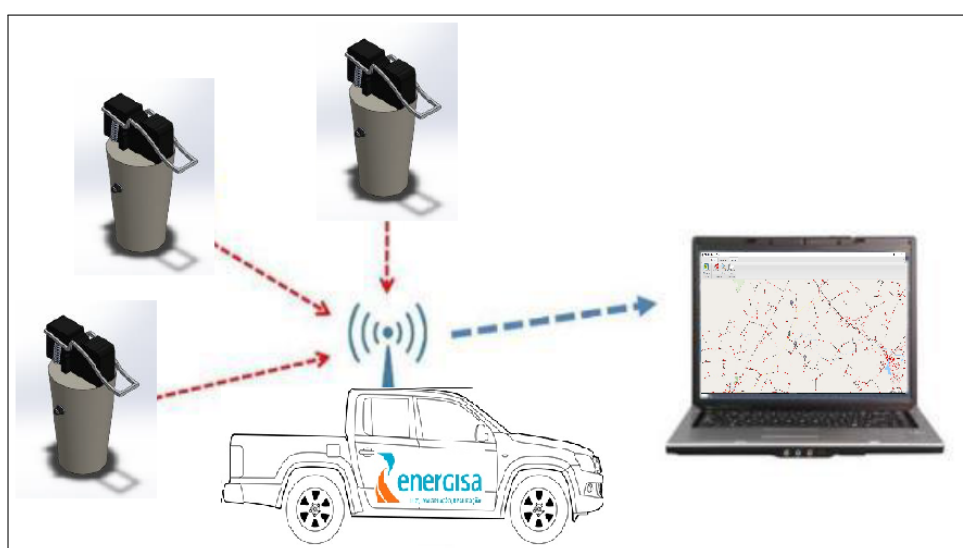


Figura 32 – Topologia com a central de operação.

As especificações básicas da central de operação são as seguintes:

- Alimentação: por bateria de íons de lítio (recarregável) ou fonte externa;
- Dispositivo de saída de dados: display alfanumérico com backlight;
- Dispositivo de entrada de dados: teclado padrão numérico, com setas para navegação;
- Conector externo para antena, permitindo o uso de uma pequena antena acoplada à carcaça da central de operação ou a utilização de uma antena externa acoplada à viatura;

- Comunicação com os sinalizadores: módulo XBee-PRO 900HP, podendo alcançar uma distância em visada direta de até 10 km;
- Comunicação com o microcomputador: USB 2.0.

Equipada com um módulo de rádio XBee-PRO 900HP que opera numa faixa de frequências que vai de 902 MHz a 928 MHz, a taxa de transmissão máxima é de 200 kbps e com uma potência de 250 mW. Esse módulo possui alcance de comunicação de 15 km declarado pelo fabricante considerando a utilização de uma antena omnidirecional como a apresentada na Figura 31. O XBee-PRO 900HP é homologado pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), tornando sua utilização legal no Brasil. Um alcance de comunicação maior que 10 km é suficiente para atender o método, visto que em um raio de 10 km em um alimentador real, existirá pelo menos um elemento de seccionamento do circuito.

Para a operação e configuração do sistema de sinalização, foi desenvolvida uma interface baseada em menus de texto. A interface é formada por uma tela principal e outras auxiliares divididas pelos tipos de informações que apresentam. A tela principal contém as seguintes informações:

- Indicação do modo de operação (temporária ou permanente);
- Lista de todos os sinalizadores conectados à central (nome e descrição);
- Status da bateria da central e dos sinalizadores;
- Status da comunicação que indica se houver falha de comunicação entre central e sinalizadores;
- Identificação dos sinalizadores sensibilizados pela falta (nome e descrição);

As telas auxiliares, por sua vez, irão conter as informações específicas de cada sinalizador como: valores de corrente lidos em tempo real, valores das correntes de curto-circuito e suas coordenadas GPS.

A fim de facilitar o processo de ajuste dos sinalizadores e evitar possíveis erros de parametrização, foi criada uma interface de configuração dividida em duas etapas. A primeira etapa permite que o operador crie um novo conjunto de parâmetros (definidos na seção 2.3.3) e dê a ela um nome próprio. Essa etapa pode ser realizada pela equipe de engenharia de proteção fora da condição de atendimento a uma ocorrência.

O aludido estudo deve ser realizado considerando as informações que a equipe de manutenção possui em campo e que podem ser utilizadas para a escolha do conjunto de parâmetros. Tais informações podem ser: elo fusível atuado (indicação por cor da corrente

de atuação do dispositivo) e corrente de curto-circuito registrada pelos equipamentos de proteção no evento. A tela de configuração possui os seguintes campos de configuração:

- Nome do conjunto de parâmetros (ex: Elo-25 ou Elo-40);
- Configuração da corrente de I_{trip} , I_m e I_{at} ;
- Configuração dos tempos T_{af} , T_{prot} , T_{pc} e T_{at} ;

A segunda etapa de configuração deve ser realizada em campo pela equipe responsável pelo atendimento à ocorrência. A mesma consiste em selecionar os sinalizadores desejados na central de operação e selecionar o conjunto de parâmetros que se deseja inserir nos dispositivos. Esse método de configuração permite que os dispositivos sejam configurados de forma correta sem que um maior tempo seja gasto na sua instalação.

4.1.2 Sinalizador

Os IFT desenvolvidos no projeto possuem um modo de operação com instalação temporária correspondente ao método proposto. Para esse modo foram estabelecidas as seguintes diretrizes:

- Tipos de eventos detectados: faltas permanentes de baixa impedância;
- Método de detecção de falta: por valor fixo de corrente configurável para cada sinalizador;
- Sinalização: local e remota (central e software).

Os sinalizadores são formados pelas seguintes partes principais: sensor de corrente, mecanismo de fixação no condutor, circuito de detecção de falta, circuito de sinalização local, circuito de localização por satélite e circuito de comunicação.

O sensor de corrente consiste em uma bobina de Rogowski confeccionada em placa de circuito impressa e encapsulada em resina epóxi. Esse transdutor possui uma geometria aberta que facilita o acoplamento do equipamento ao condutor de energia e reduz o tempo gasto no procedimento de instalação. Outras características desse sensor são:

- Linearidade;
- Elevada faixa de operação em corrente e frequência;
- Núcleo de ar insaturável;
- Não necessita de uma fonte de alimentação externa;

- Construção simples e barata.

O circuito de detecção de falta é constituído por uma parte analógica e outra microprocessada.

O circuito analógico é responsável por detectar a falta em si, enviando um comando para ativar o circuito microprocessado, que normalmente permanece em *stand by* para economia de bateria.

O circuito microprocessado identifica o evento e prepara as informações a serem enviadas para a central pela rede de comunicação.

Cada IFT possui um módulo de GPS integrado (Maestro A2235-H) que tem a função de auxiliar na localização do IFT durante a pesquisa do trecho sob falta. O módulo de comunicação por rádio é o mesmo utilizado na central, o XBee-PRO 900HP. O sinalizador possui *leds* de elevada intensidade que são responsáveis pela sinalização local.

A Figura 33 apresenta o IFT desenvolvido. Pela imagem observa-se que mecanismo de acoplamento é integrado ao sensor de corrente formando um único componente.



Figura 33 – Sinalizador desenvolvido pra instalação temporária.

As especificações básicas do sinalizador estão elencadas abaixo:

- Alimentação: por bateria de íons de lítio (recarregável) com fonte externa;

- Liga/desliga através de chave magnética;
- Instalação por vara de manobra universal;
- Antena omnidirecional interna;
- Comunicação com os sinalizadores: módulo XBee-PRO 900HP, podendo alcançar uma distância em visada direta de até 10 km;
- Aplicado a redes de distribuição nos níveis de 5 kV a 40 kV.

4.1.3 Software Georeferenciado

O software de operação tem como finalidade mostrar o caminho da falta em um mapa georreferenciado, oferecendo um diagnóstico gráfico não disponível na interface da central de operação. Concebido para trabalhar em ambiente Windows® e em PCs portáteis, essa ferramenta GIS (geographic information system) permite a operação total do sistema de sinalização, possibilitando a realização de todas as configurações, gerenciamento dos arquivos de dados e a operação do sistema propriamente dito.

Em sua tela principal é mostrado um mapa da localidade em questão e de forma sobreposta, as linhas de distribuição, onde são mostrados os sinalizadores instalados e seus respectivos estados de sinalização, isso é, a informação da sensibilização ou não de cada sinalizador por uma corrente de falta. O mencionado diagnóstico gráfico possui uma grande vantagem sobre o apresentado pela central de operação, que consiste em informações de texto apenas, limitadas por um pequeno display LCD alfanumérico.

O software foi desenvolvido utilizando-se a biblioteca livre OpenStreetMap. Além de não apresentar custo, a OpenStreetMap possui dados bastante confiáveis e frequentemente atualizados pelos próprios usuários. Os dados do terreno e traçados das linhas de distribuição são carregados utilizando-se o programa JOSM (Java OpenStreetMap Editor).

Como principais componentes a serem desenhados no mapa, podem ser identificados:

- Terreno;
- Caminhos (estradas, ferrovias, hidrovias, redes de distribuição, etc);
- Áreas (ocupações de terrenos, como hospitais, escolas, etc);
- Traçados das linhas de distribuição monitorada;
- Indicação dos pontos de instalação dos IFTs.

No mapa da Figura 34, observam-se as linhas pretas formando um “Z” representando uma rede de distribuição fictícia, utilizada apenas para a avaliação do software, sem que sua aparência corresponda a uma rede real. Os pontos pretos em cima dessas linhas representam os IFTs que se tornam vermelhos quando sensibilizados.

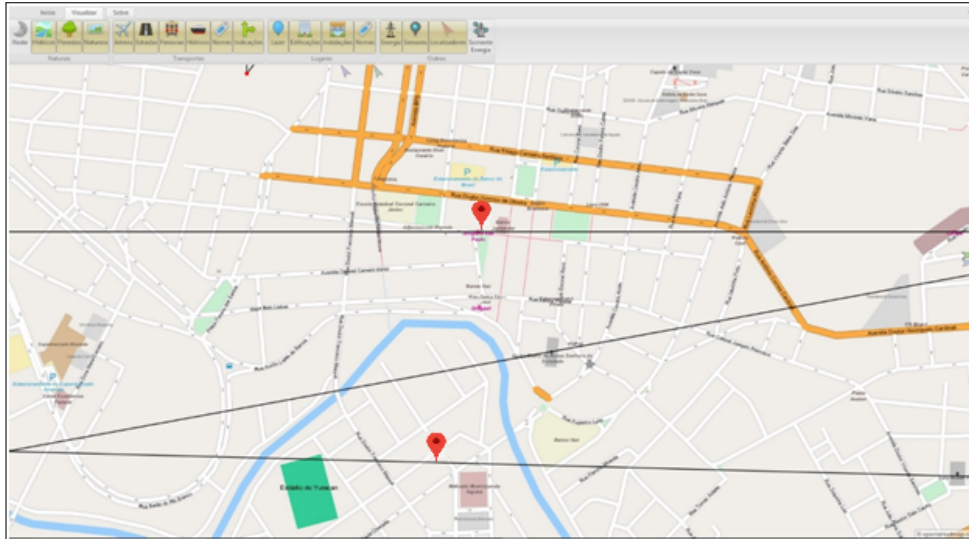


Figura 34 – Software de operação - rede fictícia.

4.2 Teste em Campo para Aferição do Equipamento

Trata-se dos ensaios realizados em campo na cidade de Itajubá e entorno, que consistem basicamente na avaliação do sistema de comunicação entre os sinalizadores e a central de operação. As demais funcionalidade do sistema foram verificadas em outros ensaios, mas não são objeto de estudo deste trabalho, pois não apresentam grandes impactos na aplicação do novo procedimento.

4.2.1 Método de Ensaio

Para a elaboração do processo dos ensaios de comunicação foram considerados:

- Desempenho esperado da tecnologia de comunicação empregada no sistema;
- Topografia da região, principalmente nas áreas rurais;
- Vegetação;
- Ocupação humana: disposição das vias, características das construções etc;
- Características das redes de distribuição que receberão o sistema de sinalização.

Para a análise da topografia e da ocupação humana foram utilizadas as seguintes ferramentas:

- Google Earth Pro (versão 7.1.8.3036 32 bits - 17/01/2017);
- Google Maps (<http://maps.google.com.br>);
- OpenStreetMap (www.openstreetmap.org);
- JOSM (versão 12039).

Além disso, foram realizadas vistorias presenciais nas regiões selecionadas antes da realização dos ensaios, visando obter características de relevo, vegetação e construções não disponíveis nas ferramentas citadas anteriormente. Para a seleção das regiões de ensaio foram analisadas a topografia, vegetação e a ocupação humana. Dessa forma, regiões com características distintas foram escolhidas, sendo:

- Região com possibilidade de teste de comunicação em visada direta;
- Região montanhosa com ocupação urbana de média densidade, com obstáculos variados;
- Região montanhosa rural com diversos tipos de obstáculos e pontos de reflexão do sinal.

O procedimento básico adotado para a realização dos ensaios foi:

- Seleção do trajeto formado por vias públicas urbanas e/ou rurais;
- Verificação do estado dos componentes do sistema (check list), como carga das baterias e qualidade da comunicação entre os dispositivos à curta distância;
- Posicionamento de um sinalizador em um ponto fixo do trajeto escolhido;
- Posicionamento da central em um veículo;
- Deslocamento através do trajeto, verificando o comportamento da comunicação entre sinalizador e central com o auxílio de um firmware especial, capaz de mostrar a atenuação do sinal no display da central. São colhidas informações relacionadas aos pontos de maior interesse, como a localização e caracterização dos pontos onde ocorrem falhas.

Os resultados dos ensaios são, então, analisados com base nas informações colhidas antes e durante os ensaios. A partir desta análise são elaboradas as eventuais condições de contorno a serem incorporadas ao método de pesquisa de falta, que é o objetivo principal deste trabalho.

4.2.2 Ensaios de Visada

A primeira parte dos ensaios de campo consistiu em realizar o testes de comunicação em visada direta. Para isso foi utilizado um conjunto formado por um sinalizador e uma central de operação equipados com firmwares específicos. Esses firmwares utilizados em todos os ensaios de comunicação consistem em:

- sinalizador: envio ininterrupto de pacotes de dados desde o momento em que o equipamento é ligado;
- central: mostra constantemente na tela a quantidades de pacotes de dados recebidos, a atenuação do sinal e a corrente medida. A corrente medida, entretanto, não é utilizada nos ensaios de comunicação, uma vez que o sinalizador não é efetivamente instalado na rede de distribuição.

Após uma análise, foram escolhidos os pontos V01 ($22^{\circ}26'12,22''\text{S}$ / $45^{\circ}26'52,26''\text{O}$ / 1040 m) e V02 ($22^{\circ}23'58,14''\text{S}$ / $45^{\circ}32'16,23''\text{O}$ / 949 m), por permitirem visada direta e possibilitarem acesso por vias públicas, pois consistem em locais de instalação de antenas de rádio e televisão em Itajubá e Piranguinho, respectivamente. Esses pontos podem ser visualizados na Figura 35, sendo o perfil de elevação mostrado na Figura 36.



Figura 35 – Localização dos pontos V01 e V02, distantes entre si de 10 km em visada direta.

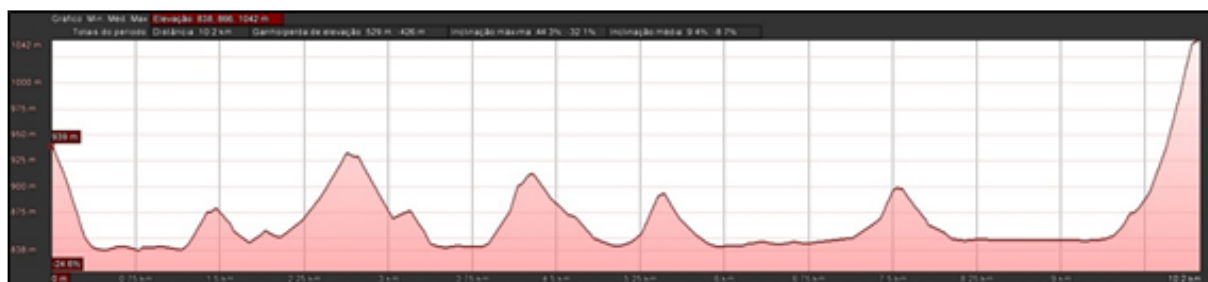


Figura 36 – Perfil de elevação entre os pontos V01 (direita) e V02 (esquerda).

A central, juntamente com o computador contendo o software com os mapas, foi posicionada no ponto V01 (Figura 37), em Itajubá, enquanto que o sinalizador foi posicionado no ponto V02 (Figura 38), em Piranguinho.



Figura 37 – Ponto V01, com a central conectada ao PC para avaliação do software.



Figura 38 – Sinalizador 1 posicionado no ponto V02.

O mesmo teve que ser retirado do veículo para que pudesse ser carregado até o ponto escolhido, já que o acesso aos veículos estava bloqueado. Para esse ensaio, também foi utilizado um segundo sinalizador. Todavia, ele não estava montado no invólucro, estando disposto em uma caixa de papelão, conforme mostrado na Figura 39. Diante disso, o sensor 2 foi utilizado apenas para fornecer o ponto georreferenciado no mapa do ponto V01.

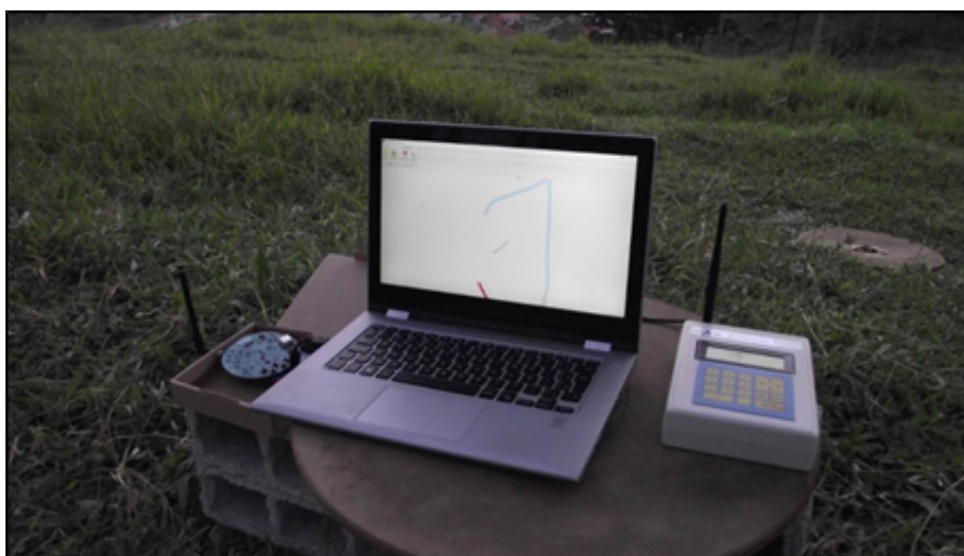


Figura 39 – Sinalizador 2 (esquerda) em teste com a central.

O ensaio foi realizado sem problemas, sendo a comunicação efetuada sem falhas e com a atenuação do sinal dentro do esperado (83 dB). A Figura 40 mostra o display da central durante o ensaio, onde são informados os seguintes dados:



Figura 40 – Resultado da comunicação entre os sinalizadores 1 e 2 com a central.

- Nomes dos sinalizadores: S1 e S2;

- Valores das respectivas correntes medidas, “C” (item desconsiderado);
- Quantidade de pacotes de dados recebidos de cada sinalizador (Pkts);
- Atenuação relativa do sinal enviado por cada sinalizador (SS).

Os sinalizadores e a central conseguem trabalhar com um valor de atenuação relativa máxima de aproximadamente 95 dB, limite esse bastante distante do observado durante o ensaio. Assim, o resultado do ensaio de visada direta mostrou que o sistema está apto a trabalhar com uma distância de 10 km nestas condições, conforme previsto pelos pesquisadores da BASE. Pelos valores de atenuação, pode-se afirmar ainda que o sistema possivelmente consiga se comunicar a distâncias superiores a 10 km, talvez atingindo o valor informado pelo módulo de rádio.

4.2.3 Ensaio com Obstáculos

Os ensaios discutidos nesta seção, ao contrário dos ensaios de visada direta, tem como objetivo reproduzir situações de aplicação real do sistema de sinalização. Para isso, foram selecionadas regiões próximas à UNIFEI que oferecessem os mais variados tipos de obstáculos, vegetação, altura, forma e disposição de montanhas. Assim, a região escolhida para essa segunda parte dos ensaios pode ser observada na Figura 41, que contém os pontos de referência selecionados durante o planejamento do ensaio.

Os pontos de referência foram escolhidos de modo a avaliar o comportamento da comunicação entre sinalizador e central de operação em um terreno com obstáculos naturais e construídos pelo homem. A Tabela 15 mostra as coordenadas destes pontos.



Figura 41 – Pontos de referência do ensaio.

Tabela 15 – Pontos de referência para os ensaios.

Ponto	Coordenadas (LAT/LON)	Altitude (m)
Base	22°24'41.35"S	858
	45°27'10.66"O	
P02	22°23'56.73"S	872
	45°26'50.52"O	
P01	22°24'45.01"S	858
	45°26'35.46"O	
P09	22°24'40.57"S	876
	45°26'10.14"O	
P14	22°24'18.91"S	900
	45°25'21.55"O	

Com exceção do ponto BASE, os demais representam a intenção de localização da central de operação, que agora movimenta-se dentro de um veículo, mantendo-se um sinalizador fixo no ponto BASE. Devido a motivos diversos, alguns pontos efetivamente utilizados nos ensaios divergiram consideravelmente dos pontos de referência. Além disso, foram realizadas anotações em pontos não planejados ao longo do percurso, dada à importância do comportamento observado.

Primeiramente, o sinalizador, nesse ensaio identificado como S1, foi colocado a 862 m acima do nível do mar considerando como base as informações obtidas no Google Earth Pro. Em seguida, foi realizado um teste de comunicação entre tal sensor e a central de operação à distância aproximada de 1 m, não sendo constatados problemas (atenuação desprezível). Por fim, o ensaio foi iniciado, seguindo rotas pré-estabelecidas entre os pontos de referência. O trajeto consistiu em sair da BASE e passar pelos pontos de referência mostrados na Tabela 15, iniciando pelo ponto P02, como mostrado na Figura 42 (rota 1).

Durante o deslocamento na rota 1 foi observado que a comunicação entre o sinalizador e a central funcionou até o ponto E03 (22°24'28,277" S / 45°27'04,275" O / 858 m), mostrado na Figura 43. A partir desse ponto não houve mais comunicação entre os equipamentos.

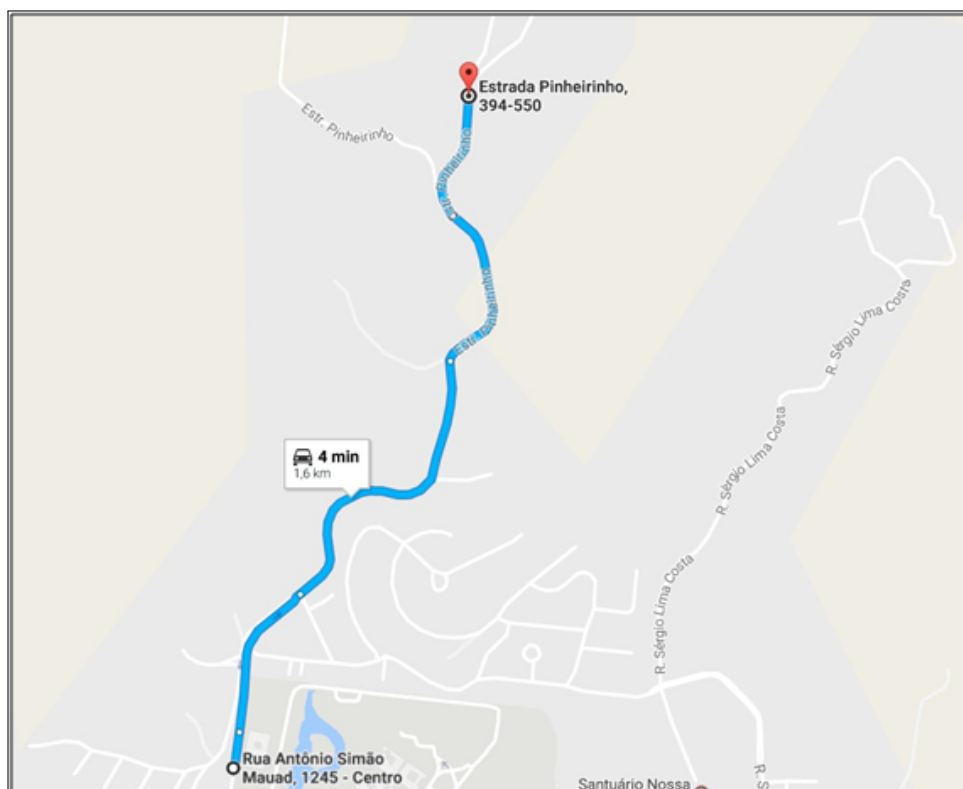


Figura 42 – Rota 1– de BASE para P02.



Figura 43 – Ponto E03 – Rota 1.

A Figura 44 mostra o perfil de elevação entre os pontos BASE e P02, em linha reta, identificando também o ponto E03. Tal medição mostra que entre BASE e E03 existe visada direta entre esses pontos e também até cerca de 80 m a frente de E03, o que teoricamente garantiria a comunicação entre o sinalizador e a central nessa área. Entretanto, foi possível observar durante o trajeto a existência de diversos obstáculos

não computados pelo Google Earth Pro, como árvores, casas, pedras e outros que podem influenciar na qualidade da comunicação.



Figura 44 – Perfil de elevação entre os pontos BASE e P02.

Além disso, ao se medir o perfil de elevação entre o ponto BASE e os infinitos pontos que compõem o trajeto até P02 (Figura 42), vê-se que não existe visada direta a partir de E03. A análise do resultado do teste em comento permite entender como o sinal do sinalizador se propaga durante os ensaios, sendo possível identificar regiões de visada direta, “sombra” e de possíveis reflexões.

Ao se percorrer a rota 2, mostrada na Figura 45, foram observadas falhas intermitentes de comunicação nas áreas 1 e 2 destacadas na Figura 46. Essas são falhas que não comprometeriam a aplicação do sistema, enquanto que a área 3, destacada na mesma figura, apresentou falha completa de comunicação.

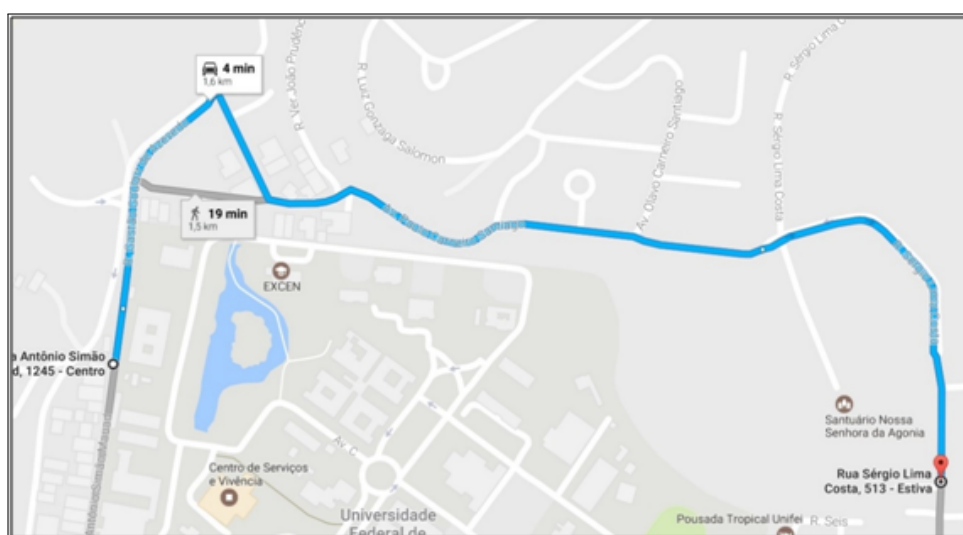


Figura 45 – Rota 2 – de BASE para P01.



Figura 46 – Áreas de falha intermitente (1 e 2) e de falha completa (3).

Ao se observar o perfil de elevação entre o ponto BASE e o ponto P01, mostrado na Figura 47 fica evidente a falta de visada direta, o que pode comprometer a comunicação entre os equipamentos. Porém, ao encontrar os obstáculos do tipo construções humanas, a onda portadora sofre várias reflexões até encontrar o sinalizador possibilitando a comunicação. Essa condição se repete para todo o trecho contido na área 3.



Figura 47 – Perfil de elevação entre os pontos BASE e P01.

No caso da área 1, a ferramenta de medição de perfil de elevação indicou a existência de visada direta, como pode ser visto na Figura 48. Porém, ao se percorrer o trajeto foi observada a existência de obstáculos que podem facilmente bloquear a visada direta, como árvores e residências. Esse é também o caso da área 2, com o agravante de que a linha reta entre o ponto BASE e esta área passa por alguns edifícios mais altos.

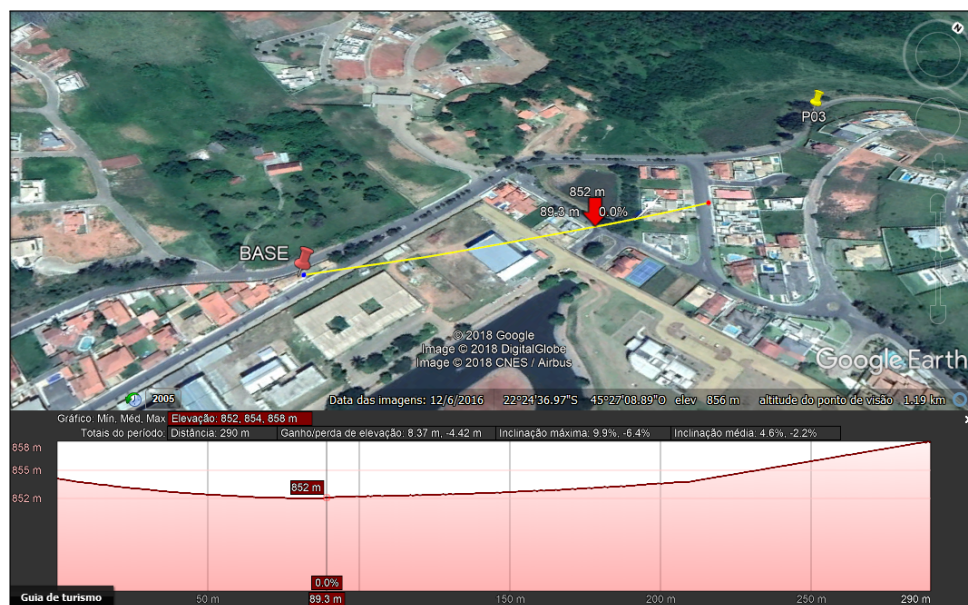


Figura 48 – Perfil de elevação entre o ponto BASE e a área 1.

Percorrida a rota 2, foi iniciada a rota 3, mostrada na Figura 49. Essa rota consiste em uma extensão da rota 2, partindo de seu ponto final (P01) em direção a P09. O sinalizador foi mantido na mesma posição, havendo apenas o deslocamento da central de operação.

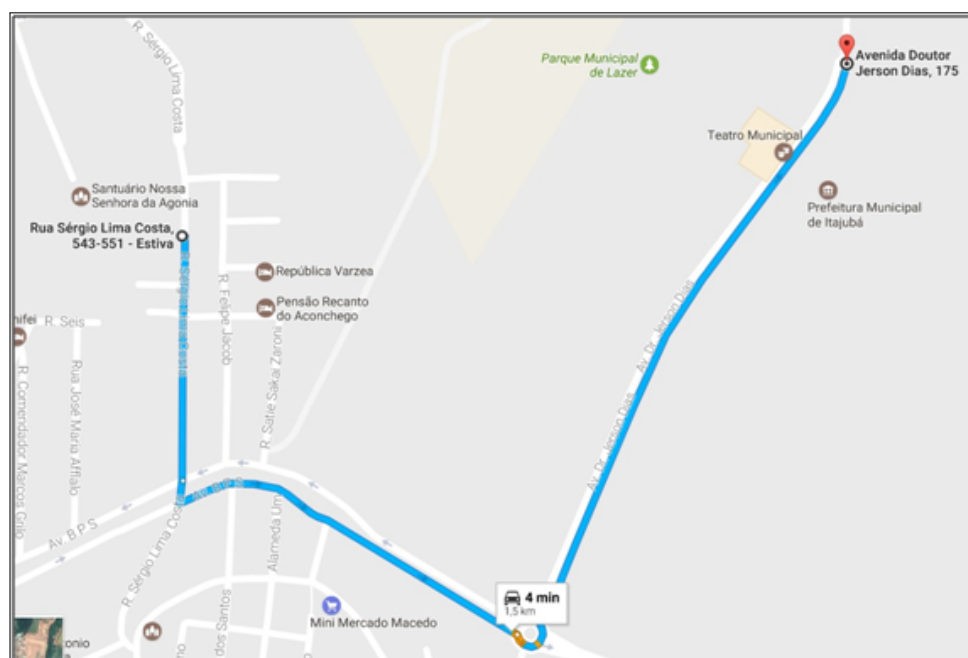


Figura 49 – Rota 3 – de P01 para P09.

Durante o trajeto, não houve comunicação entre o sinalizador e a central. Assim, partindo do ponto final dessa rota (P09), foi realizada a rota 4. O trajeto, mostrado na Figura 50, consiste em retornar até o ponto BASE através da avenida BPS. Nesse caso,

só houve comunicação na região próximo ao ponto E04 ($22^{\circ}24'50,16''$ S / $45^{\circ} 27'1,83''$ O / 852 m) até E05 ($22^{\circ}24'49,71''$ S / $45^{\circ}27' 7,27''$ O / 852 m), havendo área de sombra na avenida BPS até o cruzamento com a rua Antônio Simão Mauad, quando a comunicação retornou.

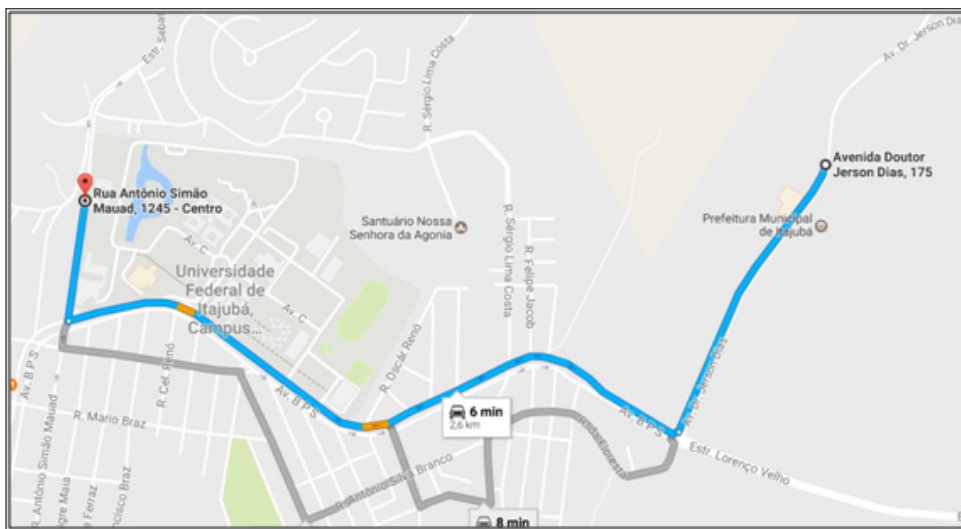


Figura 50 – Rota 4 – de P09 para BASE.

Finalmente, foi percorrido o trajeto previsto na rota 5, mostrado na Figura 51, do ponto BASE para o ponto P14. Diante disso, a comunicação se comportou da mesma forma que no caso da rota 4 para o trajeto comum às duas rotas. Na parte do trajeto que difere, ou seja, na Estrada Lourenço Velho e na BR-383, houve comunicação apenas no ponto E06 ($22^{\circ} 25' 5,56''$ S / $45^{\circ} 26' 0,49''$ O / 903 m), mostrado na Figura 41 juntamente com o perfil de elevação entre esse ponto e o ponto BASE.

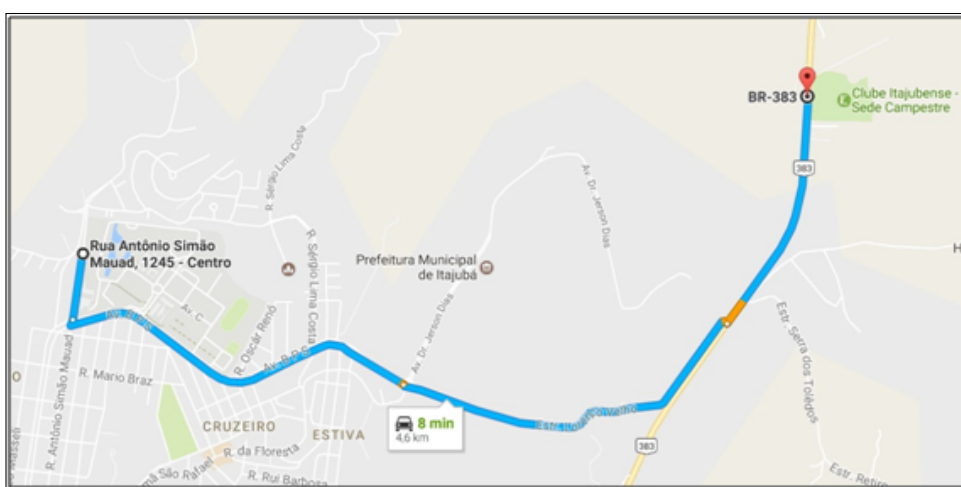


Figura 51 – Rota 5 – de BASE para P14.

Na Figura 52 é possível observar que há visada direta entre os pontos BASE e E06. Além disso, pela medição, haveria visada direta na região formada pelos 400 m anteriores

a E06. Tal fato, entretanto, não é verdade devido a prédios altos situados entre esses dois pontos.

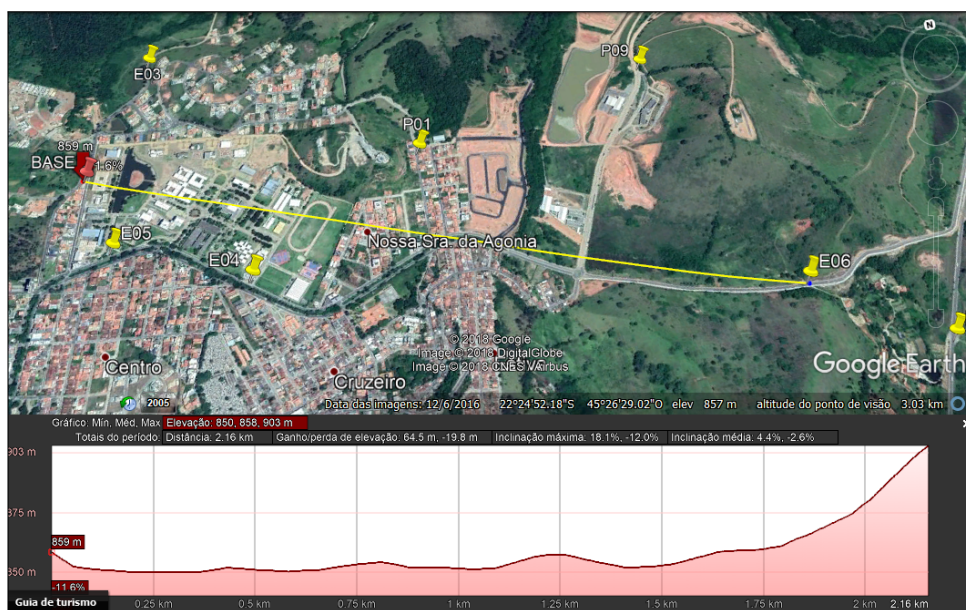


Figura 52 – Perfil de elevação entre o ponto BASE e o ponto E06.

Além das cinco rotas descritas, foram percorridas as ruas do Parque Portugal, sendo recebidos dois pacotes de dados no ponto E07 ($22^{\circ}24'51,60''S$ / $45^{\circ}26'25,19''O$ / 853 m). Ao se observar o perfil de elevação entre BASE e E07, mostrado na Figura 53, vê-se que não há visada direta entre estes dois pontos. Disso, pode-se concluir que provavelmente a comunicação realizada foi possibilitada pela reflexão do sinal em edifícios próximos ou mesmo no morro da igreja de N. S. da Agonia. Entretanto, para que houvesse a comunicação foi necessário posicionar a central acima do veículo, o que evidencia a grande influência do posicionamento do equipamento na qualidade da comunicação.

No caso desse ensaio, deve-se salientar que as condições de operação do sistema são bastante desfavoráveis e não correspondem à realidade, pois o sensor está posicionado em uma altura inferior aos cabos da rede de distribuição, cerca de 4 m acima do nível da rua.

Para que se pudesse avaliar melhor esta influência, os ensaios foram repetidos diversas vezes, em condições climáticas variadas. A variação dos resultados, entretanto, pode ser considerada desprezível para a configuração mostrada (sinalizador na janela da sala 2 e central dentro do veículo).

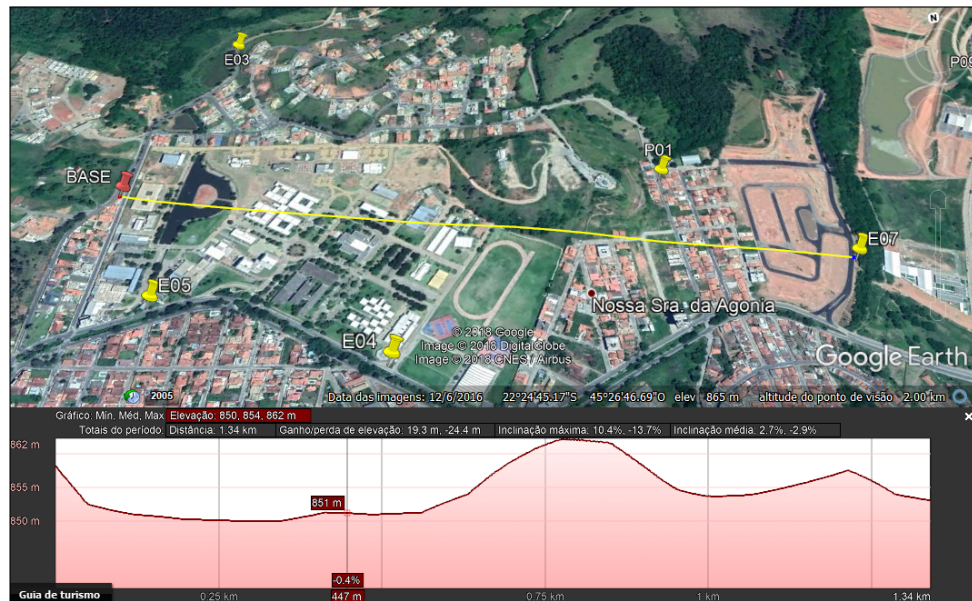


Figura 53 – Perfil de elevação entre os pontos BASE e E07.

Já com a configuração mostrada na Parte 1 (sinalizador instalado no veículo e central posicionada na janela da sala 2), houve ganhos notáveis na qualidade da comunicação, que podem ser creditados à posição elevada e livre de influências da carroceria do veículo em que o sinalizador foi instalado. Foram repetidas as rotas 2, 3 e 4, sendo observadas as seguintes situações:

- Houve comunicação regular na região do ponto P01, situação que não ocorria antes;
- O mesmo aconteceu para a região do ponto P09;
- A região entre o ponto E04 e a esquina da Av. BPS com a rua Antônio Simão Mauad apresentou comunicação regular. Antes, apenas um pequeno trecho entre o ponto E04 e E05, distante de 140 m deste ponto, apresentava comunicação regular. Vale frisar que o trecho entre a capela e a esquina apresentar vários edifícios grandes (institutos e laboratórios da UNIFEI).

4.2.4 Análise dos Resultados e Condições de Contorno

Ao se analisar os resultados dos ensaios descritos anteriormente, podem-se destacar os seguintes pontos:

- Comunicação em visada direta realmente atinge longas distâncias (10 km aferidos pelos pesquisadores);
- Resultados obtidos em áreas urbanas densas melhores que o esperado, explicado pelo fato que a onda sofre reflexão quando encontra estruturas do tipo alvenaria (isolante);

- Grande influência negativa da vegetação, explicado pelo fato que a onda sofre difração quando encontra uma árvore;
- Grande influência do posicionamento da central e sinalizadores sobre a recepção dos sinais dos sinalizadores. Quanto mais alta for a posição, melhor a comunicação. Caso os equipamentos estejam próximos a obstáculos, principalmente árvores, a transmissão do sinal pode ser notavelmente afetada;

5 Teste de Aplicação

5.1 Introdução

Este capítulo apresenta os testes de aplicação do novo método de restabelecimento com a instalação dos sinalizadores nas redes de distribuição. Nessa etapa, procurou-se por pontos para instalação dos dispositivos onde, em uma ocorrência de defeito, seriam candidatos a abertura de *jumpers* (considerando o procedimento clássico de pesquisa trecho-a-trecho).

Com os sinalizadores instalados na rede de distribuição buscou-se averiguar o real comportamento do sistema de sinalização com as interferências reais de campo e com maior foco no desempenho da comunicação, considerando a altura da rede de distribuição, a proximidade de construções e árvores.

Ao final, é apresentada uma análise dos resultados com a contabilização dos tempos gastos na pesquisa pelo defeito, considerando cada sequência de testes realizada. Foram exploradas todas as opções de método de restabelecimento possíveis de se aplicar.

5.2 Rede de Miradouro - Minas Gerais

A primeira rede de distribuição selecionada para os testes de aplicação foi a rede de Miradouro, localizada na região rural de Muriaé - Minas Gerais. Essa rede foi escolhida por apresentar índice de falhas relativamente elevado, ser predominantemente rural e possuir longos trechos sem equipamentos de seccionamento. À vista disso, uma rede com grande potencial de aplicação do novo método.

Ademais, conhecendo as limitações dos equipamentos, nessa etapa foi considerada a instalação de sinalizadores em pontos estratégicos da rede para atuar como “repetidores” de sinal, explorando a topologia de rede *mesh*. Destarte, ao ser definido o ponto de teste de energização e o ponto de abertura do *jumper*, são selecionados pontos críticos do caminho onde é necessária a instalação de repetidores do sinal.

A Figura 54 apresenta o mapa da região onde se encontra uma ramificação do alimentador em estudo. No ponto definido como "Ponto de teste", está instalada a chave fusível responsável pela proteção de todo o trecho a jusante em direção ao ponto 'jumper' (respeitando sua zona de proteção e a coordenação com demais chave fusíveis). Na ocorrência de defeito em sua zona de proteção, esse elemento atuará e, conseqüentemente, será utilizado como ponto para a realização dos testes de energização. Como nesse caso, não existe nenhuma chave para seccionamento do circuito o ponto '*jumper*' é um ponto

candidato a abertura de um *jumper*.



Figura 54 – Mapa da região dos ensaios com os pontos de interesse.

Nos pontos definidos como 'Repetidor 1' e 'Repetidor 2' foram instalados sinalizadores com a função de repetição de sinal visto que na aludida região encontram-se alguns morros que impossibilitaria o estabelecimento da comunicação. A rota que liga o ponto de teste ao ponto de abertura, possui 6,9 km de comprimento.

A Tabela 16 apresenta as coordenadas LAT/LON de todos os pontos de instalação e as suas respectivas descrições.

Tabela 16 – Pontos de instalação dos Sinalizadores - Miradouro

Ponto	Cordenadas (LAT/LON)	Descrição:
Teste	20°48'23.43"S 42°22'41.60"O	Teste de religamento, isso é, local onde se encontra a central de operações.
Repetidor 1	20°48'42.66"S 42°22'51.43"O	Repetidor instalado na rede.
Repetidor 2	20°48'55.56"S 42°23'25.52"O	Repetidor instalado em um suporte alto, fora da rede de distribuição.
Jumper	20°50'3.76"S 42°24'16.49"O	Sinalizador operando em sua função principal, ou seja, sinalizar a ocorrência de falta.

Após a instalação de todos os dispositivos na rede foi realizado o teste de comunicação e foi verificada a impossibilidade de comunicação com o sensor instalado no ponto '*jumper*'. Apesar da distância ser relativamente pequena (4,24 km em linha direta) a instalação de dois repetidores não foi suficiente. Nesse caso, pelo menos outro repetidor seria necessário para contornar morros localizados próximo da região do ponto '*jumper*'.

O teste mostrou que a instalação de um número suficiente de repetidores permitiria o estabelecimento da comunicação, mas não seria uma solução cabível em um evento real de atendimento, devido ao elevado tempo gasto com as instalações dos sinalizadores repetidores.

A Figura 55 mostra o sinalizadores instalados na rede distribuição no ponto *jumper*.



Figura 55 – Ponto de instalação dos sinalizadores.

5.3 Redes Paraíba

Como apresentado na seção anterior, o sistema de comunicação não apresentou desempenho suficiente para operar em regiões com elevada concentração de morros. Dessa

forma, foram selecionadas redes instaladas no estado da Paraíba, onde se pode encontrar diferentes cenários como:

- regiões planas, morros baixos, morros altos;
- vegetação rasteira, baixa densidade de árvores, elevada densidade de árvores;
- regiões secas, regiões com alguns lagos.

Para contornar o problema de comunicação, nesta etapa de teste foi avaliada também a utilização de um sensor “satélite” posicionado em uma altura máxima de 120 metros do solo, próxima à central de operações, funcionando como repetidor do sinal. Para isso foi utilizado um drone modelo *Phanton 3*. A Figura 56 mostra o equipamento com a placa do circuito do sinalizador e antena acoplado em sua estrutura.



Figura 56 – Drone com o circuito eletrônico repetidor.

Nessa nova topologia, a comunicação entre os sinalizador ‘satélite’ e os sensores instalados na rede se assemelha à comunicação em visada, onde interferências causadas por árvores, construções civis, e até mesmo morros baixos são contornadas.

Assim como na primeira fase de teste de aplicação, é escolhido um elemento de proteção da rede e em seguida, definidos pontos dentro da zona de proteção para a instalação dos IFT. A definição dos pontos é realizada seguindo o novo método de restabelecimento e para cada elemento de proteção é definido um novo ponto de teste, com uma sequência de pontos de instalação de IFT.

5.3.1 Zona Rural de Boqueirão - BQR - L1

A primeira rede de distribuição selecionada para os testes na região é nomeada BQR-L1 e está localizada na região rural de Boqueirão - Paraíba. Esse alimentador é caracterizado por estar em uma região plana, seca e com pouca vegetação.

Seguindo o novo método de restabelecimento, em uma condição real após a instalação do IFTs e realização do teste de energização do trecho, a equipe deverá receber as informações dos sinalizadores no ponto 'S', assim o ponto de teste é também o local onde serão realizados os voos com o drone.

A Tabela 17 resume as informações de todos os pontos de instalação referente à primeira sequência de teste (BQR-S00), onde o campo 'Distância do ponto de Teste' é a distância em linha reta. A Figura 57 apresenta o mapa da região com os pontos.

Tabela 17 – Pontos de instalação dos Sinalizadores - Boqueirão - S00

Ponto	Coordenadas (LAT/LON)	Distância do Ponto de Teste:	Descrição:
S00	733°49.13"S 3557°6.62"O	0 km	Ponto de teste e decolagem
P01	733°5.24"S 3554°58.39"O	4,16 km	Ganho de elevação de 40 m.
P02	733°15.57"S 3552°58.02"O	7,7 km	Obstáculo com elevação de 60 m em relação a S00



Figura 57 – Mapa dos pontos de instalação dos Sinalizadores - Boqueirão - S00

Após a instalação de todos os dispositivos na rede foi verificado o estabelecimento da comunicação apenas com a utilização do drone posicionado em sua altura padrão de

120 metros.

Foi realizada outra sequência de teste na mesma região (BQR-S10), dessa vez envolvendo outro ponto de teste de energização. Como as características do terreno são iguais, com mesmo relevo, densidade de árvores e construções, os resultados foram iguais e a comunicação se estabeleceu sem problemas com a utilização do drone.

Com o objetivo de testar uma condição diferente de operação do sistema de sinalização, foi realizada mais uma sequência de teste (BQR-S20) explorando ainda o alimentador BQR-L1. Nesta sequência foi escolhido um trecho do alimentador que é protegido por uma chave instalada no ponto 'S20' e que é responsável por alimentar a comunidade de Caturité. Esse trecho corta uma cadeia de morros que pode ser observada na Figura 58.

Em uma falta envolvendo a extensão supramencionada, a equipe teria um grande trabalho em realizar a inspeção visual da linha em toda linha compreendida até a chave. Para deslocar do ponto S20 para os demais pontos à justante da ramificação, teriam que utilizar rotas que contornam esses morros aumentando o tempo de deslocamento. Por outro lado, tais morros são também obstáculos que pode comprometer a comunicação dos sinalizadores e portanto objeto de estudo dessa sequência de teste.

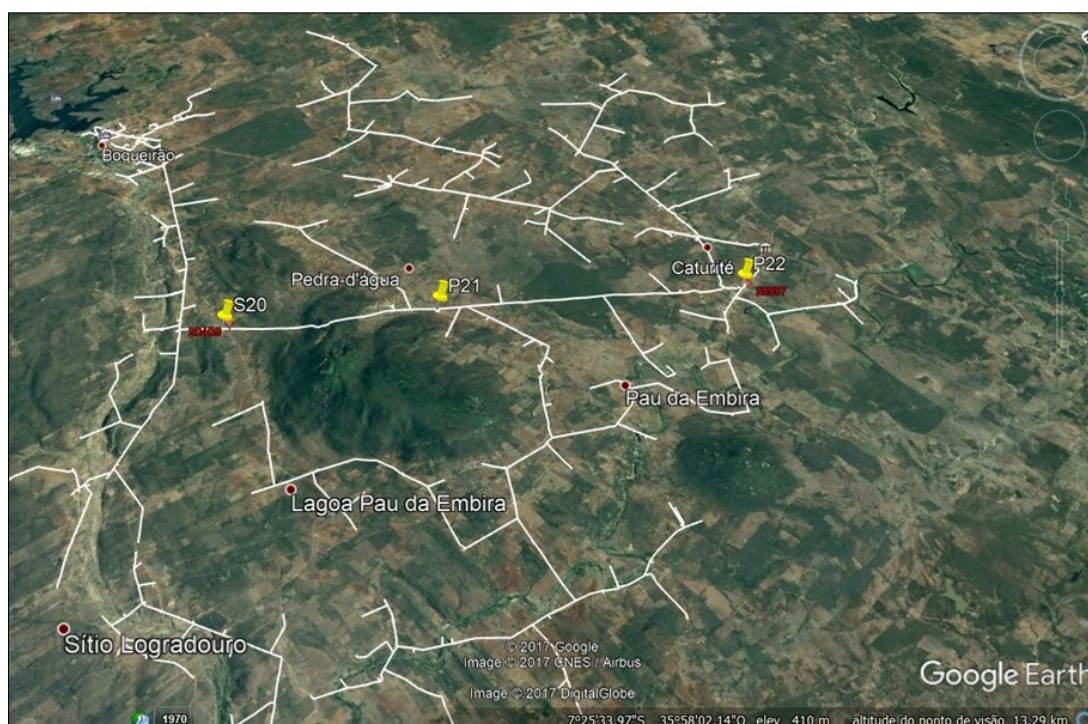


Figura 58 – Mapa dos pontos de instalação dos Sinalizadores - Boqueirão - S20

A Tabela 18 apresenta os dados do ponto de teste de energização e dos pontos de instalação dos conjuntos de sinalizadores, com suas respectivas coordenadas geográficas. O campo 'Distância do ponto de Teste' é a distância em linha reta.

Tabela 18 – Pontos de instalação dos Sinalizadores - Boqueirão - S20

Ponto	Cordenadas (LAT/LON)	Distancia do Ponto de Teste:	Descrição:
S20	729°31.67"S 36 4'13.33"O	0 km	Ponto de teste e decolagem
P21	727°44.17"S 36 3'2.21"O	4,02 km	Obstáculo com elevação de 133 m em relação a S00
P22	725°6.98"S 36 1'16.15"O	9,87 km	Obstáculo com elevação de 133 m em relação a S00

Após a instalação de todos os dispositivos na rede, foi verificado o estabelecimento da comunicação apenas com os sinalizadores instalados utilizando o drone em sua altura padrão de 120 metros. Apesar de se encontrar em um ponto mais próximo de S20, o ponto P21 está em uma região de sombra e para que a comunicação se estabeleça considerando a mesma condição, seria necessário posicionar o drone em uma altura maior que 120 metros o que não é permitido pela legislação brasileira.

5.3.2 Zona Rural de Areia - Ara - L1

Outra rede de distribuição selecionada para os testes na região é denominada ARA-L2 e está localizada na região rural de Areia - Paraíba. Esse alimentador é caracterizado por estar em uma região com elevada irregularidade do solo, com morros baixos e com uma elevada densidade de árvores. Nessa região se encontra um parque de preservação ambiental, onde as árvores possuem altura similar à rede de distribuição e são obstáculos para a propagação do sinal de comunicação.

Na primeira sequência de testes (ARA-S00) foi selecionada uma ramificação do alimentador que pode ser observada no mapa da Figura 59. Na aludida sequência de testes, os pontos para a instalação dos sinalizadores foram escolhidos considerando o relevo da região, isso é, onde a rede corta os pontos mais elevados dos morros. Dessa forma, não se considera a proposta do novo método de restabelecimento (pontos candidatos à abertura de *juniper*), mas deve-se verificar a viabilidade da instalação de sinalizadores em substituição também à técnica clássica (trecho-a-trecho) envolvendo manobra de chaves instaladas ao longo da ramificação.

Pelo mapa apresentado é possível observar (números em vermelho) que, próximo aos pontos de instalação dos sinalizadores, existem chaves de manobra que são utilizadas para seccionamento da rede em eventuais ocorrências de defeito. A Tabela 19 apresenta os dados do ponto de teste de energização e dos pontos de instalação dos conjuntos de sinalizadores instalados com suas respectivas coordenadas geográficas.

Após a instalação de todos os dispositivos na rede, foi verificado o estabelecimento da comunicação apenas utilizando o drone, assim como nas últimas sequências de testes

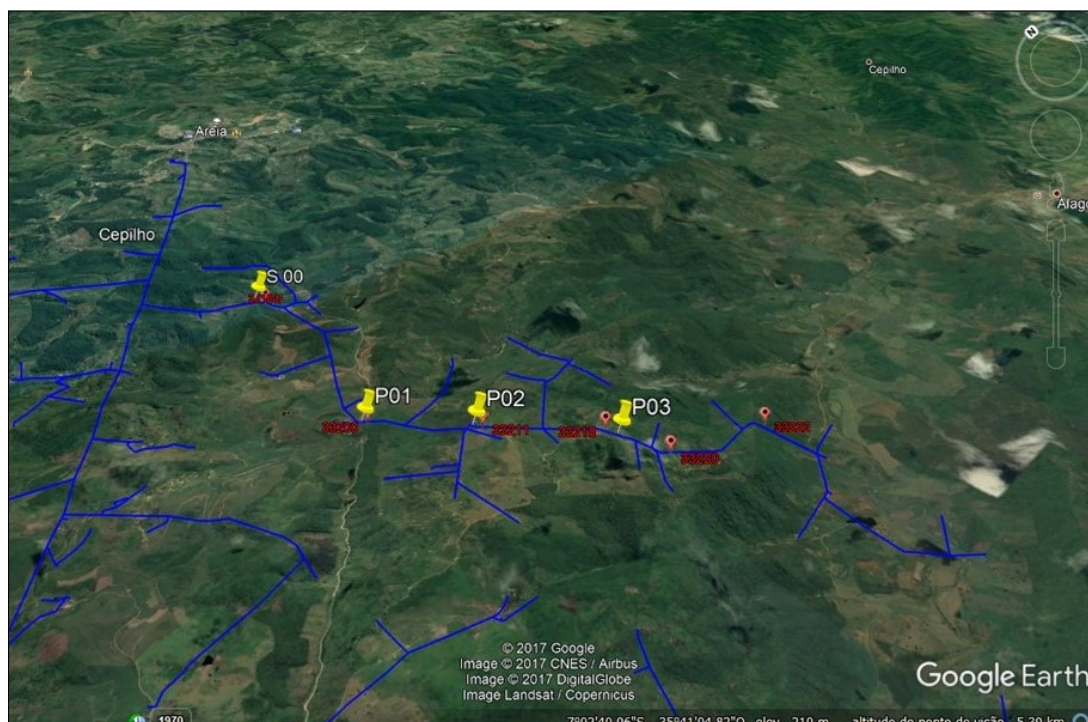


Figura 59 – Mapa dos pontos de instalação dos Sinalizadores - Areia - S00

Tabela 19 – Pontos de instalação dos Sinalizadores - ARA-L2-S00

Ponto	Cordenadas (LAT/LON)	Distância do Ponto de Teste:	Descrição:
S00	7 0'15.76"S 3542'47.01"O	0 km	Ponto de teste e decolagem
P01	7 1'31.14"S 3542'53.18"O	2,36 km	Não existe obstáculos entre os pontos S00 e P01
P02	7 1'56.34"S 3542'33.48"O	3,19 km	Elevada irregularidade no relevo com a presença de morros entre os pontos de instalação
P03	7 2'24.61"S 3542'6.68"O	5.39 km	

realizadas. A Figura 60 mostra o momento em que foi realizado o teste de comunicação através da central de operação e a Figura 61 apresenta o *software* de operação em execução no micro-computador, mostrando em tempo real a disposição dos sinalizadores em campo sobrepostos ao traçado da linha de distribuição do alimentador ARA-L2.

Para finalizar as avaliações de aplicação, foi realizada a última sequencia de testes (ARA-S10), agora envolvendo o tronco principal do alimentador ARA-L2, que é responsável por alimentar a cidade de Alagoa Nova. Esse trecho corta uma região com elevada densidade de vegetação com difícil acesso por terra, onde toda a rede fica envolvida por árvores.



Figura 60 – Teste de comunicação - Central de operação e software georreferenciado.

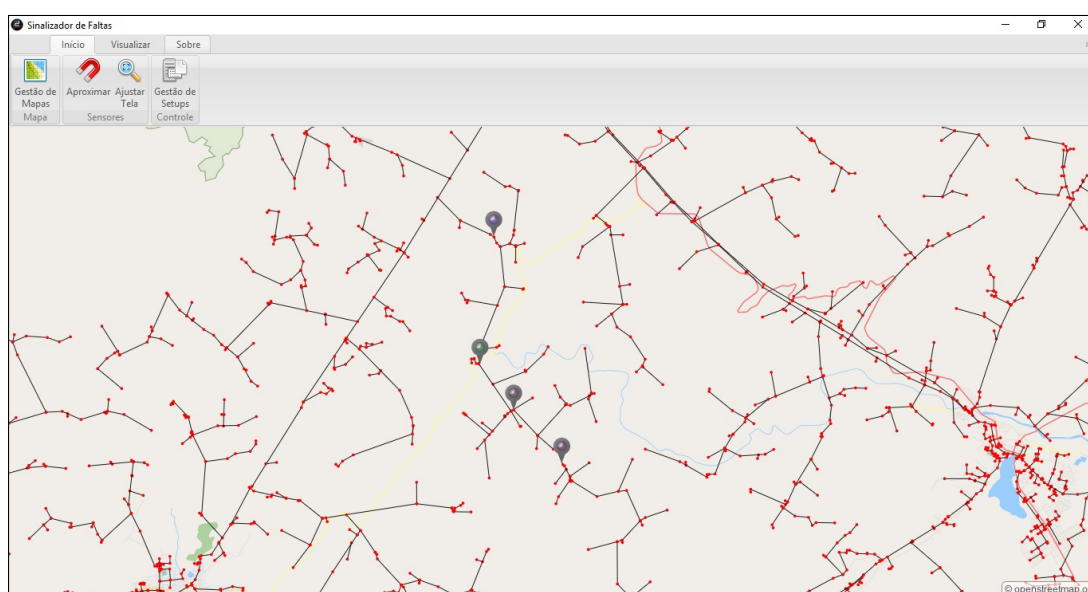


Figura 61 – Teste de comunicação - Software georreferenciado.

A Figura 62 apresenta o mapa da região com o trecho em estudo e as posições onde foram instalados os sinalizadores. Após a instalação de todos os dispositivos foi realizado o teste de comunicação e diferente dos últimos resultados, nessa sequência a comunicação não se estabeleceu, nem mesmo utilizando o drone. O resultado negativo foi associado à elevada densidade de árvores próxima aos sinalizadores, que bloqueia a propagação do sinal.

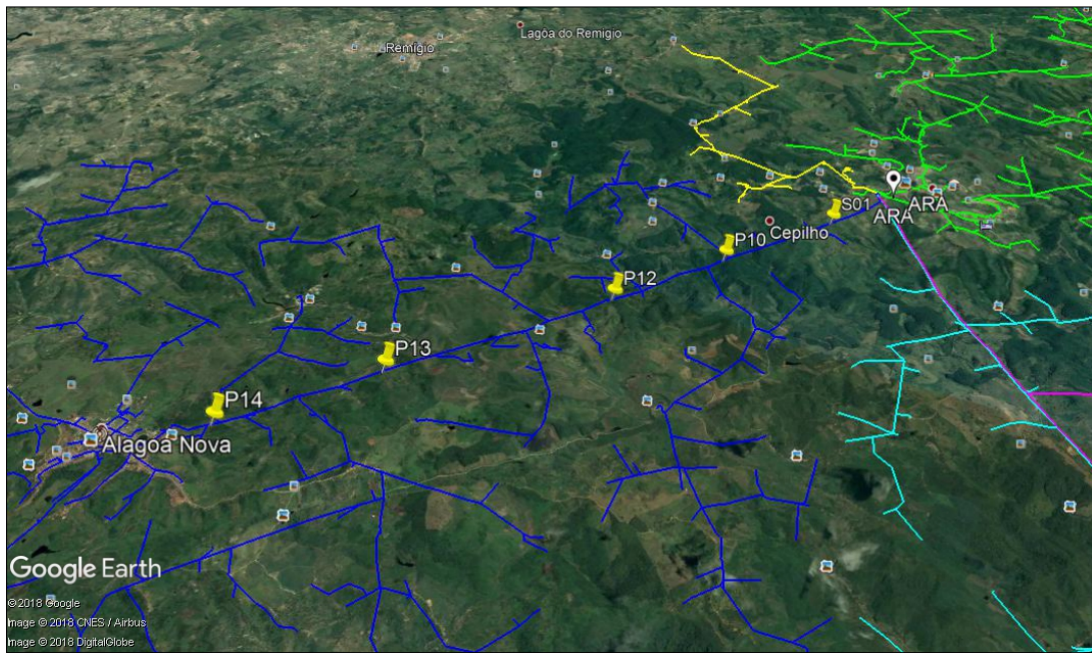


Figura 62 – Mapa dos pontos de instalação dos Sinalizadores - Areia - S10

5.4 Análise dos Resultados

A fim de avaliar os resultados encontrados nos testes de aplicação, foi contabilizado o tempo para a execução da etapa de pesquisa pelo defeito, definido no capítulo 3 como "etapa 3". Como as atividades de campo não respeitaram com rigor as etapas do método de restabelecimento, ou seja, muitas outras atividades foram realizadas em paralelo para o teste dos equipamentos, não foi possível contabilizar em campo o tempo gasto na etapa de pesquisa (T_3). Dessa forma foi utilizado o *Google Maps* para traçar as rotas entre os pontos de instalação dos sinalizadores e estimar o tempo médio de deslocamento.

Além dos tempos médios de deslocamento, foram consideradas os diferentes métodos de restabelecimento, definidas com detalhes no capítulo 3, para modelar o processo de pesquisa e estimar com maior precisão o tempo gasto. À vista disso, considerou-se os tempos médios de instalação do sinalizador, o tempo de abertura de *jumper* e o tempo de instalação de *jumper*. Esses dados são apresentados nos Apêndices B, C e D.

Visto que os procedimentos de rede adotados pelas concessionárias impõe que o restabelecimento do sistema se incie com a localização do elemento de proteção atuado e sua inspeção visual, é considerado que os deslocamentos se iniciam dos pontos onde estão instalados tais dispositivos.

Como nos teste de aferição e teste de campo a comunicação dos sensores não apresentou bom desempenho, isso é, baixa confiabilidade e complexabilidade operativa, na análise dos resultados será avaliada também a utilização do IFT que possui apenas sinalização local.

5.4.1 Análise da Sequência de Teste BQR-S00

Ao se utilizar os pontos de instalação destacados no mapa da Figura 57, foram traçadas as rotas que a equipe deverá percorrer na situação de atendimento a essa sequência em estudo. A Figura 63 apresenta a rota total percorrida entre o ponto de teste da ramificação e o ponto de instalação do último IFT, e as Figuras 64 e 65 mostram as demais rotas utilizadas para a instalação dos IFT. As imagens apresentam também o tempo estimado de deslocamento. Essa informação foi utilizada para a computação do tempo T_3 definido na seção 3.2.

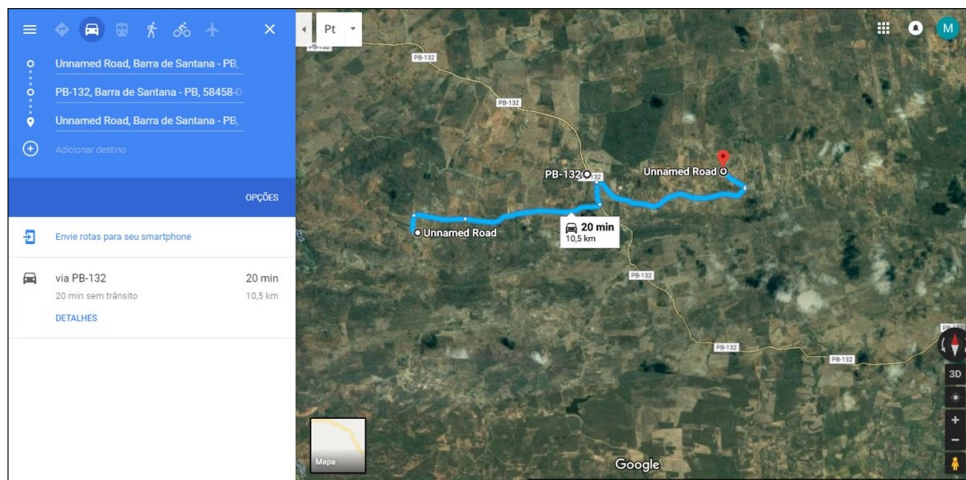


Figura 63 – Deslocamento total de S00 para P02

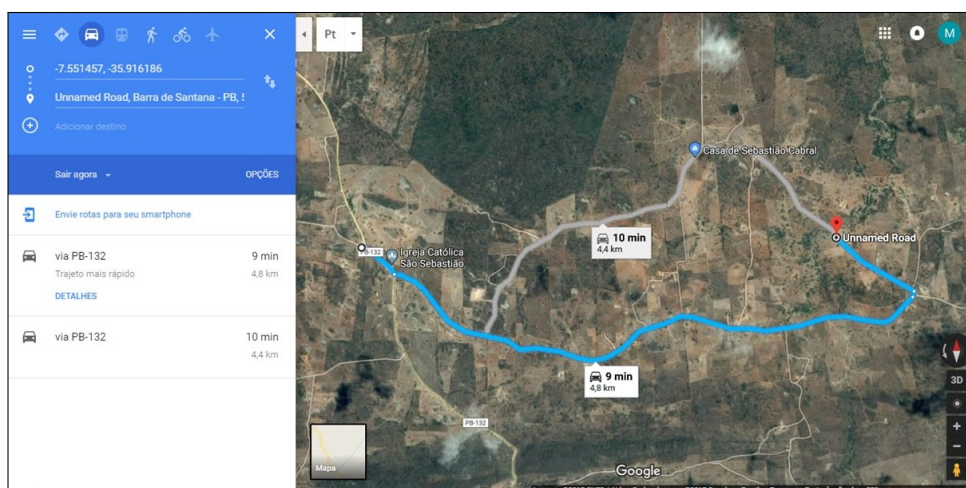


Figura 64 – Rota para deslocamento de S00 para P01

Examinando-se o caso, observar-se que existem duas chaves de manobra instaladas ao longo da ramificação. Esses equipamentos conferem uma flexibilidade operativa do sistema que permite a utilização do procedimento clássico trecho a trecho ou a instalação dos IFT substituindo a manobra dessas chaves. A Tabela 20 apresenta os valores contabilizados para cada método. Como foram considerados dois pontos para a manobra

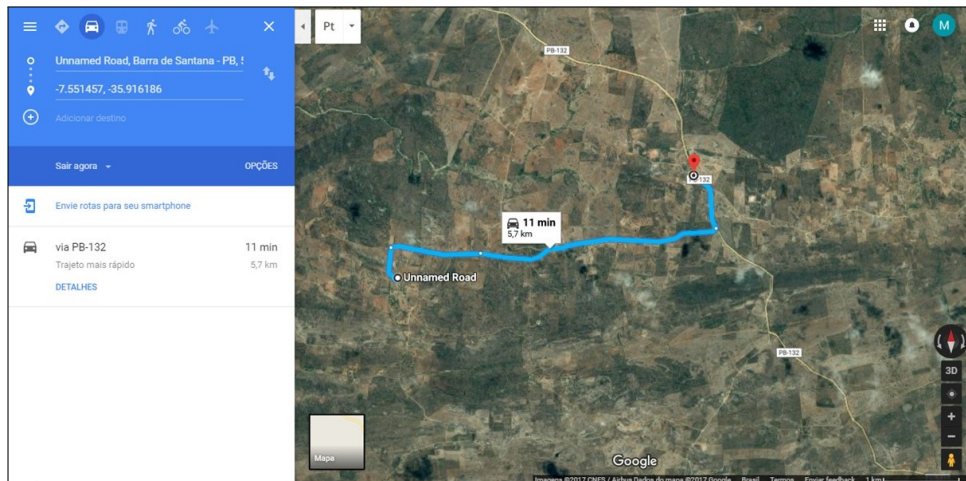


Figura 65 – Rota para deslocamento de S01 para P02

de chave ou instalação de IFT, a seção é dividida em três blocos de restabelecimento. O tempo T_3 do ultimo bloco é sempre igual ao computado para o penúltimo bloco, seguindo a técnica de restabelecimento.

Tabela 20 – T_3 estimado para a sequência de teste BQR-S00

Bloco:	Método: T_3 minutos		
	Manobra de Chave	IFT Remoto	IFT Local
1	38	75	95
2	89	75	95
3	89	75	95
T3 médio:	72	75	95

O resultado mostra que a utilização de IFT não é adequada para ramificações que possuem chaves de manobra, visto que a metodologia trecho a trecho apresenta os melhores resultados. Como discutido nas seções anteriores, o tempo despendido no processo de instalação dos dispositivos não justifica sua utilização, sendo melhor efetuar a manobra das chaves.

5.4.2 Análise da Sequência de Teste ARA-S00

Assim como no caso anterior, agora utilizando os pontos de instalação destacados no mapa da Figura 59, foram traçadas as rotas utilizadas para os deslocamentos em atendimento à ocorrência e computado o tempo T_3 , considerando o método trecho a trecho ou a instalação dos IFT.

Para esse caso, pode-se observar que existem três chaves de manobra instaladas ao longo da ramificação, dividindo a seção em quatro blocos de restabelecimento. A Tabela 21 apresenta os tempo calculados para as diferentes técnicas de restabelecimento.

Tabela 21 – T_3 estimado para a sequência de teste ARA-S00

Bloco:	Método: T3 minutos		
	Manobra de Chave	IFT Remoto	IFT Local
1	36	100	126
2	86	100	126
3	131	100	126
4	131	100	126
T3 médio:	96	100	126

Como no caso anterior, a instalação dos IFT não apresenta melhor resultado, comprovando que a instalação de IFT não deve ser aplicada para substituir o procedimento trecho a trecho.

5.4.3 Análise da Sequência de Teste BQR-S20

Na análise dessa sequência de teste, foi considerada a hipótese de abertura de um *jumper* no ponto definido como P21, mostrado na Figura 58, de forma a testar separadamente a seção da ramificação que corta os morros e vegetação. Em uma condição real de atendimento, a equipe de manutenção teria uma grande dificuldade de acesso nessa região, o que tornaria grande o tempo de inspeção desse trecho. Tal análise justifica o seccionamento e avaliação do trecho separadamente, deixando a chave de manobra instalada no ponto P02 como segunda opção no processo de restabelecimento.

A Figura 66 mostra a rota traçada para o deslocamento de S20 a P21, com seu respectivo tempo estimado. Essa rota seria utilizada para a abertura do *jumper* ou para a instalação do conjunto de IFT.

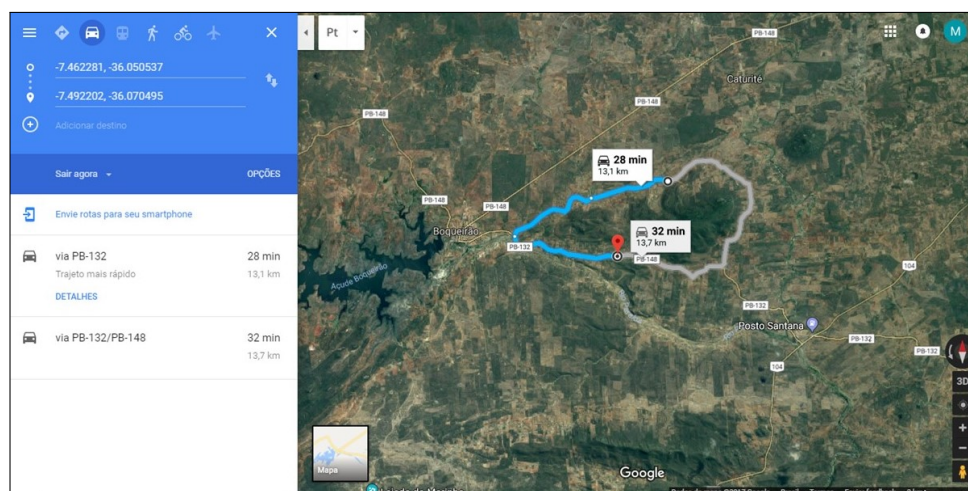


Figura 66 – Deslocamento total de S20 para P01

A Figura 67 mostra a rota traçada para o deslocamento de P21 a P22, com seu respectivo tempo estimado. Essa rota seria utilizada para a abertura da chave de manobra

que conecta a cidade de Caturité ao sistema de distribuição.

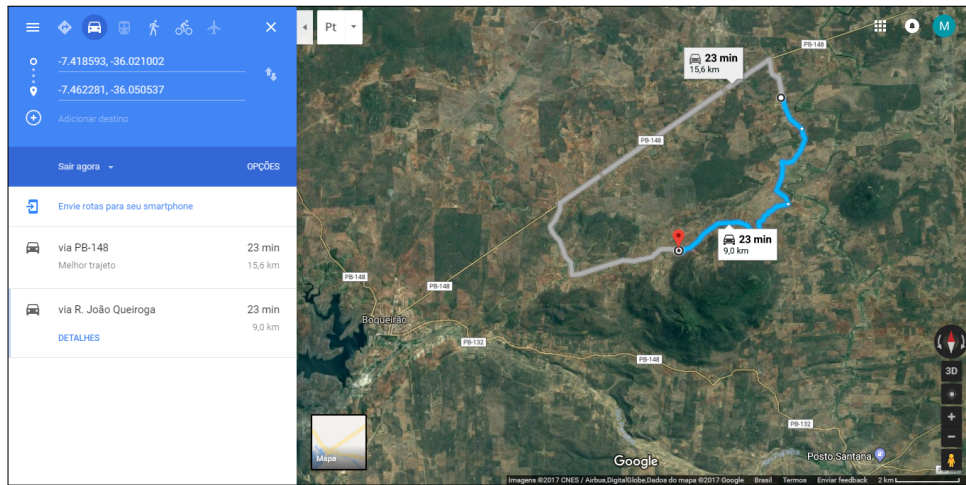


Figura 67 – Deslocamento total de P21 para P22

A Tabela 22 apresenta os tempos estimados para cada método. Nesse caso, foi avaliada apenas a abertura de *jumper* ou instalação de IFT, visto que não existe chave de manobra no ponto P21.

Tabela 22 – T_3 estimado para a sequencia de teste BQR-S20

Bloco:	Método: T3 minutos		
	Abertura de Jumper	IFT Remoto	IFT Local
1	96	78	106
2	255	190	200
3	255	190	200
T3 médio:	202	134	153

Ao considerar o elevado tempo de deslocamento das equipes e falhas na comunicação, foi avaliada a designação de um segunda equipe para dar suporte ao atendimento de ocorrências com abertura de *jumpers*. Nesse procedimento, uma equipe fica responsável por realizar os testes de energização e a segunda equipe é responsável por percorrer o alimentador e realizar a abertura dos *jumpers* ou, como foco de estudo, instalação dos IFT. Essa atividade é coordenada pelo COD e as equipes se comunicam através de um rádio de elevada potência.

A Tabela 23 apresenta os resultados dos tempos estimados para essa nova condição de restabelecimento. No caso em comento, envolvendo duas equipes de atendimento, a comunicação do sensor já não é necessária, excluindo a análise de IFT com sinalização remota.

Tabela 23 – T_3 estimado para a sequencia de teste BQR-S20 - Duas equipes de atendimento

Bloco:	Método: T3 minutos	
	Abertura de Jumper	IFT Local
1	68	50
2	148	93
3	148	93
T3 médio:	121	79

5.4.4 Análise da Sequência de Miradouro

Assim como no caso anterior, agora utilizando os pontos destacados no mapa da Figura 54, foi traçada a rota que liga o ponto teste ao ponto *jumper* e, em sequência, ao ponto 'CH 01', onde se encontra a chave de manobra. Nesse caso, a abertura do *jumper* é justificada devido à distância em que se encontra a primeira chave à montante do elemento de proteção. Dessa forma, a ramificação é dividida em três blocos de restabelecimento, duas delimitadas por um *jumper* ou IFT, e a outra por uma chave, como o caso anterior. A Tabela 24 apresenta os tempo calculados para os dois métodos de restabelecimento.

Tabela 24 – T_3 estimado para a sequencia de teste Miradouro

Bloco:	Método: T3 minutos		
	Abertura de Jumper	IFT Remoto	IFT Local
1	66	48	61
2	183	118	128
3	183	118	128
T3 médio:	144	83	95

Assim como no caso anterior de BQR-S20, foi avaliada também a designação de uma segunda equipe para atendimento a ocorrência. A Tabela 25 apresenta os tempos calculados para essa condição.

Tabela 25 – T_3 estimado para a sequencia de teste Miradouro - Duas equipes de atendimento

Bloco:	Método: T3 minutos	
	Abertura de Jumper	IFT Local
1	53	35
2	127	72
3	127	72
T3 médio:	102	60

6 Conclusão

As investigações para a elaboração de um novo método de restabelecimento de redes de distribuição foram apresentadas neste trabalho. Com o desenvolvimento da pesquisa, ocorreu uma grande maturação da proposta inicial, onde os conhecimentos obtidos na revisão bibliográfica e estudo dos trabalhos passados tomaram forma para a resolução do problema atual e atendimentos aos objetivos propostos. Tal método dá suporte para a equipe de manutenção no atendimento à ocorrência em campo onde outras soluções mais elaboradas não apresentam retorno financeiro, não sendo passíveis de aplicação.

A análise dos resultados mostrou que a utilização de IFT com sinalização local, ou seja, sem comunicação de longa distância, gera ganhos na redução do tempo na etapa de pesquisa pelo trecho com defeito. Esses ganhos giram em torno de 60% quando comparado com os procedimentos onde uma equipe abre *jumpers* e outras duas equipes utilizam os IFT. Outra análise mostra que os ganhos giram em torno de 40% quando comparado aos procedimentos onde duas equipes abrem *jumpers* e outras duas equipes utilizam os IFT.

Por outro lado, os resultados mostram que a utilização dos IFT com sinalização remota gera ganhos em torno de até 20% dependendo das características do alimentador, ou nenhum ganho quando comparado com os procedimentos onde duas equipes abrem *jumpers* e uma outra equipe utiliza os IFT remotamente. Apesar desta opção dispensar uma equipe de atendimento a solução com comunicação se mostrou pouco confiável em campo, com relativa complexidade operativa e pouco dinâmica, mostrando não ser a melhor solução para essas condições de atendimento.

Ao se considerar as reduções no tempo de atendimento, ocorrerá uma redução nas perdas de faturamento devido à energia não distribuída, redução das penalidades aplicadas pela ANEEL e conseqüentemente, menor impacto social e econômico, causado pela indisponibilidade do alimentador.

Os resultados do trabalho permitiram contornar as limitações como: tecnologias de comunicação, cobertura de telefonia, investimentos em infraestrutura, custo de implementação e custo de operação, de modo a proporcionar ganhos para as concessionárias, com a utilização de indicadores de falta com instalação temporária e uma central de operação remota.

Outro ganho do novo método se dá na redução dos custos com equipes de manutenção. A aplicação dos IFT dispensa as equipes de atendimento de linha viva por equipes simplificadas, visto que esses equipamentos são instalados através de vara de manobra padrão. Atualmente, ao final do processo de restabelecimento, com o alimentador operando em condição normal, uma equipe de linha viva é designada para retornar ao trecho

e substituir os *jumpers* provisórios utilizados no processo de pesquisa.

Outro ganho é diminuição da exposição da equipe de atendimento à interação com a linha, onde a condição de atendimento é crítica, isso é, momento de atendimento emergencial não planejada, condições meteorológicas e horário indefinido.

O trabalho apresentou relevância para despertar o interesse da distribuidora de energia ENERGISA em sua implementação. O primeiro lote protótipo de IFT com 35 unidades será utilizado como ferramenta pelas equipes de manutenção em campo e as equipes de operação treinadas para coordenar os processo de restabelecimento aplicando o novo método, nas devidas condições.

6.1 Trabalhos Futuros

Como trabalho futuro, cabe ser investigado diferentes aplicações do sistema IFT no sistema de distribuição de forma a aumentar o número de amostras e procurar por novas aplicações onde o sistema poderá trazer ganhos.

Estudar a aplicação de sinalizadores de falta com a instalação permanente, onde se deve buscar por um dispositivo simples, de baixo custo, que viabilize a instalação em muitos pontos do alimentador e uma maior cobertura de monitoramento. Esses requisitos podem ser alcançados explorando as aplicação de Iot (Internet das coisas), que trazem novas tecnologias de comunicação (ex: LoRa, SigFox, NB-Iot), com módulos de baixo custo, baixo consumo energético, maiores alcances e grande capacidade de cobertura de nós finais (ex: uma antena Lora pode conectar até 50 mil sensores de falta). Esse assunto apesar de ser muito explorado no contexto mundial, está em fase inicial no Brasil, onde apenas alguns testes de prova de conceito foram realizados e nenhuma aplicação real para concessionárias de energia foi desenvolvida.

Referências

- ALMEIDA, M. D. et al. Optimal placement of faulted circuit indicators in power distribution systems. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 81, n. 2, p. 699–706, 2011. 23
- ANDRADE, F. J. de et al. Redução no tempo médio de atendimento a ocorrências emergenciais aplicando o sinalizador de faltas. In: *VIII CBQEE-Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*. [S.l.: s.n.], 2009. 22
- ANEEL. *Quadro de apuração de indicadores ANEEL*. 2018. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 27 março 2018. 7, 17
- ANEEL, P. Módulo 8—“qualidade da energia elétrica”. *Resolução Normativa*, n. 424, p. 2011, 2010. 15
- ANGERER, F. Oh and ug fault indication via radio networks. In: IEEE. *Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001 IEEE/PES*. [S.l.], 2001. v. 2, p. 991–992. 19, 30
- BELLO, A. C. D.; CORRÊA, G. R. Análise de sinais provocados por defeitos em linhas de transmissão utilizando técnicas de telecomunicação e processamento de sinais. *Profiscientia*, n. 3, 2013. 15
- CAPELINI, R. M. et al. Methodology for fast fault location in overhead distribution networks by the application of temporary georeferenced fault indicators. In: IEEE. *High Voltage Engineering and Application (ICHVE), 2016 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2016. p. 1–4. 55
- CEB. *ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS DA DISTRIBUIÇÃO EMD -08*: Conector grampo de linha viva – glv 100 e 400 ampÉres - classe 15 kv. [S.l.], 2013. Disponível em: <<https://www.ceb.com.br>>. 8, 57
- CLERC, M. *Particle swarm optimization*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2010. v. 93. 23
- COOPER. *Faulted circuit indicator application guide*. 2015. Disponível em <https://www.cooperpower.com>. Acesso em: 23 out 2017. 7, 28
- ELEKTRO-MECHANIK. *Catálogo do modelo TypeFLA 3.1*. 2016. Disponível em <https://www.emg-ger.com>. Acesso em: 23 out 2017. 7, 29
- ENERGISA. *NORMA DE DISTRIBUIÇÃO UNIFICADA – NDU-004*: InstalaÇÕES bÁsicas para construÇÃO de redes de distribuiÇÃO urbana. [S.l.], 2012. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Documents/ndu/ndu004.pdf>>. 8, 52, 53
- FALAGHI, H.; HAGHIFAM, M.-R.; TABRIZI, M. O. Fault indicators effects on distribution reliability indices. In: IET. *Electricity Distribution, 2005. CIRED 2005. 18th International Conference and Exhibition on*. [S.l.], 2005. p. 1–4. 22

- GEETHANJALI, M. et al. Combined wavelet transoms and neural network (wnn) based fault detection and classification in transmission lines. In: IEEE. *Control, Automation, Communication and Energy Conservation, 2009. INCACEC 2009. 2009 International Conference on*. [S.l.], 2009. p. 1–7. 15
- GOMES, C. R. et al. *Localização de falhas em linhas de transmissão utilizando decomposição harmônica e redes neurais artificiais*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Pará, 2006. 15
- HORSTMANN. *Catálogo Geral 2015*. 2015. Disponível em <https://www.hosrtmannmbh.com>. Acesso em: 23 out 2017. 7, 26, 31
- JORGE, D. C.; COURY, D. V.; CARVALHO, A. Localização de faltas em linhas de transmissão de energia elétrica utilizando reconhecimento de padrões. In: *IV Congresso Brasileiro de Redes Neurais*. [S.l.: s.n.], 1999. 15
- KERSTING, W. Radial distribution test feeders. *IEEE Transactions on Power Systems*, IEEE, v. 6, n. 3, p. 975–985, 1991. 100
- LUAN, S.-W. et al. Wireless network deployment for intelligent fault indicators-a case study with zigbee. In: IEEE. *TENCON 2011-2011 IEEE Region 10 Conference*. [S.l.], 2011. p. 1246–1250. 24
- MALANGE, F. C. V. Rede neuro-fuzzy-wavelet para detecção e classificação de anomalias de tensão em sistemas elétricos de potência. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2010. 15
- MAN, K.-F.; TANG, K.-S.; KWONG, S. *Genetic algorithms: Concepts and designs*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012. 22
- RAYBOLT, A. C. da S. *LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO EM CIRCUITO DUPLO UTILIZANDO REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. 15
- SANTANA, F. de; ALMEIDA, L. D.; COSTA, F. Optimal positioning of geo-referenced short circuit sensors for faster fault finding using genetic algorithm. In: IEEE. *Industrial Electronics, 2008. ISIE 2008. IEEE International Symposium on*. [S.l.], 2008. p. 2236–2241. 23
- SANTOS, C. K. S. Classificação de distúrbios na rede elétrica usando redes neurais e wavelets. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008. 15
- SCHENEIDER. *Easergy Range FLITE116 – G200 Wireless Communicating indicator*. 2016. Disponível em <https://download.schneider-electric.com>. Acesso em: 23 out 2017. 31
- SCHWEITZER. *Catálogo On-Line FIS Accessories and Tools*. 2015. Disponível em <https://selinc.com/products/FIS/accessories>. Acesso em: 23 out 2017. 7, 30
- SCHWEITZER. *Overhead AutoRANGER (AR-OH/AR360) Instuction Manual*. 2015. Disponível em <https://selinc.com/products/AR-OH/>. Acesso em: 23 out 2017. 7, 29

- SCHWEITZER. *WSO-11 Wireless Sensor for Overhead Lines Instruction Manual*. 2015. Disponível em <https://selinc.com/products>. Acesso em: 23 out 2017. 7, 32, 33, 34, 35, 36, 37
- SHAHSAVARI, A. et al. Fault indicator deployment in distribution systems considering available control and protection devices: a multi-objective formulation approach. *IEEE Transactions on Power Systems*, IEEE, v. 29, n. 5, p. 2359–2369, 2014. 23
- SHORT, T. A. *Electric power distribution handbook*. [S.l.]: CRC press, 2014. 18
- SMALLWOOD, C.; LATNER, M.; GARDNER, T. Expansion of distribution automation with communicating faulted circuit indicators. In: IEEE. *Rural Electric Power Conference (REPC), 2011 IEEE*. [S.l.], 2011. p. B6–1. 22
- SOUZA, D. M. B. S. d. *Abordagem baseada em lógica fuzzy para alocação de indicadores de faltas em sistemas de distribuição de energia elétrica*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2009. 104
- STREAMER. *Catálogo On-Line (Fault Indicators)*. 2017. Disponível em <https://www.streamer-electric.com>. Acesso em: 23 out 2017. 7, 27
- SUPARULE. *Datasheet do SensorformOFI-FLS*. Data não informada. Disponível em <https://www.suparule.com>. Acesso em: 23 out 2017. 34
- USIDA, W. F. *Sistema inteligente para alocação eficiente de dispositivos indicadores de falta em alimentadores de distribuição*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2011. 9, 10, 18, 40, 46, 100, 104, 105
- USIDA, W. F. et al. Efficient placement of fault indicators in an actual distribution system using evolutionary computing. *IEEE Transactions on Power Systems*, IEEE, v. 27, n. 4, p. 1841–1849, 2012. 23, 41
- YANG, Z. et al. Networking technology of fault indication system based on zigbee. In: IEEE. *PES General Meeting/ Conference & Exposition, 2014 IEEE*. [S.l.], 2014. p. 1–5. 7, 10, 22, 23, 24
- ZIMMERMANN, H.-J. *Fuzzy set theory—and its applications*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2011. 23

Anexos

ANEXO A – Definição do Tronco Principal

Para a obtenção dos trechos que compõem o tronco principal do alimentador radial, considerar-se-á, inicialmente, o diagrama unifilar do sistema de distribuição IEEE de 13 barras, como ilustrado pela Figura 68 (KERSTING, 1991).

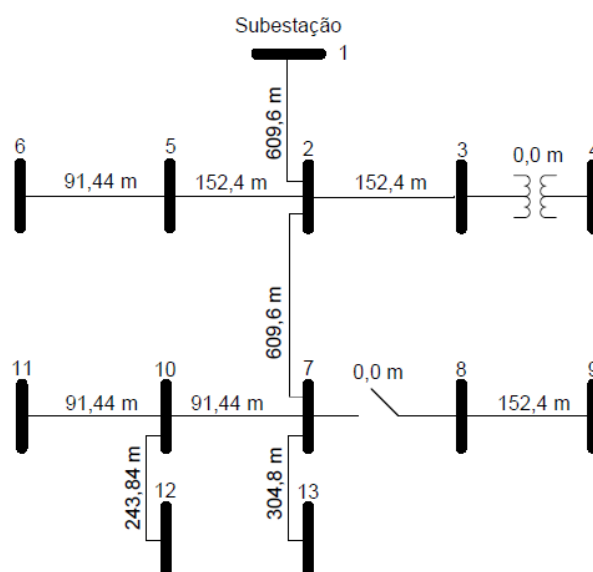


Figura 68 – Unifilar sistema IEEE 13 barras (USIDA, 2011).

Cabe ressaltar que a numeração original dos nós foi alterada, pois os números propostos por (KERSTING, 1991) não eram ordenados. Houve alterações também das distâncias entre os nós medidos em pés [ft] para [m]. As mesmas foram necessárias para melhorar o entendimento do método matemático exposto neste capítulo.

A determinação do tronco principal não é realizada de forma direta, requerendo o cálculo da distância de cada nó em relação à subestação. Esse cálculo torna-se essencial, visto que o critério adotado para definir o tronco principal é encontrar a barra pertencente ao alimentador primário mais distante da subestação. Por meio desse cálculo, o conjunto de trechos primários que conduzir, a partir da subestação, à barra terminal mais distante, constituir-se-á o tronco principal do alimentador. Assim, considerando-se os comprimentos dos trechos primários indicados na Figura 68, o seguinte sistema de equações lineares pode

ser escrito:

$$\begin{aligned}
X_1 &= 0[m] \\
X_{1,2} &= X_2 - X_1 = 609,60[m] \\
X_{2,3} &= X_3 - X_2 = 152,40[m] \\
X_{3,4} &= X_4 - X_3 = 0[m] \\
X_{2,5} &= X_5 - X_2 = 152,40[m] \\
X_{5,6} &= X_6 - X_5 = 91,44[m] \\
X_{2,7} &= X_7 - X_2 = 609,60[m] \\
X_{7,8} &= X_8 - X_7 = 0[m] \\
X_{8,9} &= X_9 - X_8 = 152,40[m] \\
X_{7,10} &= X_{10} - X_7 = 91,44[m] \\
X_{10,11} &= X_{11} - X_{10} = 91,44[m] \\
X_{10,12} &= X_{12} - X_{10} = 243,84[m] \\
X_{7,13} &= X_{13} - X_7 = 304,80[m]
\end{aligned} \tag{A.1}$$

Expressando as equações A.1 na forma matricial, tem-se:

$$A.x = b \tag{A.2}$$

onde:

$$A_{[i,j]} = \left\{ \begin{array}{cccccccccccccccc}
1 & & & & & & & & & & & & & & \\
-1 & 1 & & & & & & & & & & & & & \\
& -1 & 1 & & & & & & & & & & & & \\
& & -1 & 1 & & & & & & & & & & & \\
& & & -1 & 1 & & & & & & & & & & \\
& -1 & & & & 1 & & & & & & & & & \\
& & & & & -1 & 1 & & & & & & & & \\
& -1 & & & & & 1 & & & & & & & & \\
& & & & & & -1 & 1 & & & & & & & \\
& & & & & & & -1 & 1 & & & & & & \\
& & & & & -1 & & & 1 & & & & & & \\
& & & & & & & & -1 & 1 & & & & & \\
& & & & & & & & -1 & & 1 & & & & \\
& & & & & -1 & & & & & & 1 & & & \\
& & & & & & & & & & & & 1 & &
\end{array} \right\} \tag{A.3}$$

$$b = \left\{ \begin{array}{cccccccccccccccc}
0 & 609,6 & 152,4 & 0 & 152,4 & 91,44 & 609,6 & 0 & 152,4 & 91,44 & 91,44 & 243,84 & 304,8 &
\end{array} \right\} \tag{A.4}$$

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \\ X_7 \\ X_8 \\ X_9 \\ X_{10} \\ X_{11} \\ X_{12} \\ X_{13} \end{pmatrix} \quad (\text{A.5})$$

onde x_i representa a distância do i -ésimo nó do sistema elétrico à subestação.

Destarte, supondo um típico sistema de distribuição radial com n nós, haverá $(n-1)$ equações de trechos primários para determinação da distância dos nós até a subestação. Somando-se esse conjunto de equações com a referência de distância nula (nó representativo da subestação), verifica-se n equações. Com isso, torna-se possível afirmar que a matriz A será quadrada quando se referir a sistemas de energia inteiramente radiais, tais como os de distribuição. Em função dessa constatação, o sistema pode ser resolvido por álgebra linear, tendo como resultado:

$$A^{-1} \cdot b = b \quad (\text{A.6})$$

$$A_{[i,j]}^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & & & & & & & & & & & & \\ 1 & 1 & & & & & & & & & & & \\ 1 & 1 & 1 & & & & & & & & & & \\ 1 & 1 & 1 & 1 & & & & & & & & & \\ 1 & 1 & & & 1 & & & & & & & & \\ 1 & 1 & & & 1 & 1 & & & & & & & \\ 1 & 1 & & & & & 1 & & & & & & \\ 1 & 1 & & & & & 1 & 1 & & & & & \\ 1 & 1 & & & & & 1 & 1 & 1 & & & & \\ 1 & 1 & & & & & 1 & & & 1 & & & \\ 1 & 1 & & & & & 1 & & & 1 & 1 & & \\ 1 & 1 & & & & & 1 & & & 1 & & 1 & \\ 1 & 1 & & & & & 1 & & & & & & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{A.7})$$

onde A^{-1} é a inversa da matriz A .

A matriz A^{-1} fornece todas os nós terminais por meio da verificação de suas colunas. Tais nós são identificados por meio das colunas que possuem apenas um elemento igual a 1. A posição desse elemento indica qual é deles é terminal. Após encontrar esse elemento, é possível também determinar todas os nós que compõem o caminho partindo da subestação até o nó terminal. Cabe ressaltar que a matriz A é esparsa, requerendo, nos casos de grandes sistemas elétricos, a aplicação de técnicas de esparsidade para a resolução do sistema de equações lineares $A.x = b$.

Pela matriz A^{-1} , ilustrada na equação A.7, pode-se determinar os caminhos que levam da subestação até um nó terminal, por meio de suas linhas 4,6,9,11,12 e 13. Os caminhos são:

1. Linha 4 da matriz $A^{-1} \rightarrow$ barras 1, 2, 3 e 4;
2. Linha 6 da matriz $A^{-1} \rightarrow$ barras 1, 2, 5 e 6;
3. Linha 9 da matriz $A^{-1} \rightarrow$ barras 1, 2, 7, 8 e 9;
4. Linha 11 da matriz $A^{-1} \rightarrow$ barras 1, 2, 7, 10 e 11;
5. Linha 12 da matriz $A^{-1} \rightarrow$ barras 1, 2, 7, 10 e 12;
6. Linha 13 da matriz $A^{-1} \rightarrow$ barras 1, 2, 7 e 13.

Calculando-se o vetor distância, tem-se o seguinte resultado:

$$X = \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 609,6 \\ 762,0 \\ 762,0 \\ 762,0 \\ 853,44 \\ 1219,2 \\ 1219,2 \\ 1371,6 \\ 1310,64 \\ 1402,08 \\ 1554,48 \\ 1524,0 \end{array} \right\} \quad (A.8)$$

Conhecendo-se as distâncias dos caminhos que levam da subestação até a um nó terminal, determina-se o comprimento destas conforme apresentado a seguir:

- Barra 4: 1, 2, 3 e 4 $\rightarrow$ 762,00 [m];
- Barra 6: 1, 2, 5 e 6 $\rightarrow$ 853,44 [m];
- Barra 9: 1, 2, 7, 8 e 9 $\rightarrow$ 1371,60 [m];
- Barra 11: 1, 2, 3 e 4 $\rightarrow$ 1402,08 [m];
- Barra 12: 1, 2, 3 e 4 $\rightarrow$ 1554,48 [m];
- Barra 13: 1,2,3 e 4 $\rightarrow$ 1524,00 [m];

Verifica-se que o nó que está mais distante da subestação é aquele de número 12, posicionando-se a 1554,48 m de comprimento da subestação (representado pelo nó de número 1). Retornando-se à matriz A^{-1} , tem-se que a linha correspondente ao nó mais distante refere-se à de número 12. Portanto, os conjuntos de trechos primários que constituem o tronco principal são aqueles entre os nós 1 e 2, 2 e 7, 7 e 10, e os nós 10 e 12. A Figura 69 ilustra o tronco principal do alimentador empregado como exemplo.

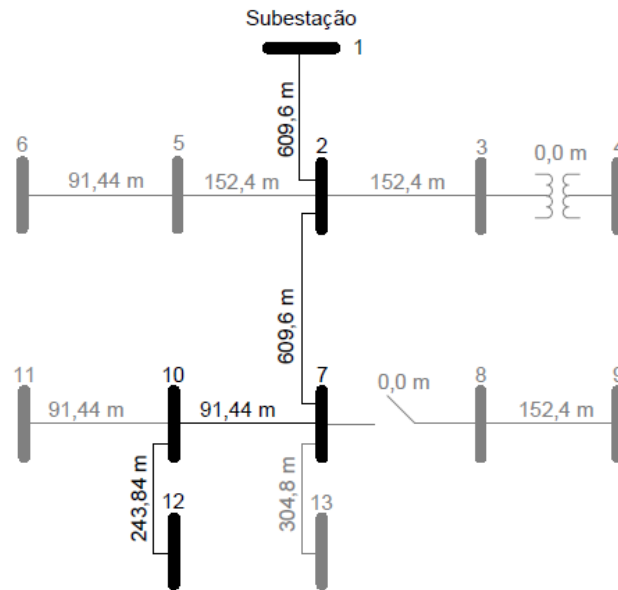


Figura 69 – Unifilar sistema IEEE 13 barras - Tronco principal em destaque (USIDA, 2011).

Todo método apresentado anteriormente é fundamentado no procedimento descrito em (SOUZA, 2009).

ANEXO B – Dados do Sistema Elétrico

Os dados apresentados neste anexo referem-se as informações de carga, números de unidades consumidoras, proteção e comprimento de trecho primário referente aos troncos principais do alimentador da empresa ELECTRO ELETRICIDADE e SERVIÇOS S/A (USIDA, 2011).

Nº do Nó:	Carga (MVA):	Nº de Unidades Consumidoras:	Proteção Tripolar:	De:	Para:	Comprimento (m):
1	16,02	5480	Disj untor	1	2	16,74
2	16,02	5480	-	2	3	2,00
3	16,02	5480	-	3	4	5,08
4	16,02	5480	-	4	5	1,16
5	16,02	5480	-	5	6	2,00
6	16,02	5480	-	6	7	11,03
7	16,02	5480	-	7	8	49,52
8	16,02	5480	-	8	9	46,23
9	16,02	5480	-	9	10	67,00
10	16,02	5480	-	10	11	63,41
11	16,02	5480	-	11	12	63,40
12	16,02	5480	-	12	13	63,29
13	16,02	5480	-	13	14	65,79
14	16,02	5480	-	14	15	70,34
15	16,02	5480	-	15	16	31,12
16	16,02	5480	-	16	17	20,34
17	16,02	5480	-	17	18	23,09
18	16,02	5480	-	18	19	18,11
19	16,02	5480	-	19	20	29,80
20	16,02	5480	-	20	21	56,07
21	16,02	5480	-	21	22	73,19
22	16,02	5480	-	22	23	26,55
23	16,02	5480	-	23	24	2,00
24	16,02	5480	-	24	25	2,83
25	16,02	5480	-	25	26	28,02
26	16,02	5480	-	26	27	37,05
27	16,02	5480	-	27	28	32,02

Nº do Nó:	Carga (MVA):	Nº de Unidades Consumidoras:	Proteção Tripolar:	De:	Para:	Comprimento (m):
28	16,02	5480	-	28	29	34,53
29	16,02	5480	-	29	30	30,69
30	16,02	5480	-	30	32	6,65
32	16,02	5479	-	32	35	25,74
35	15,98	5476	-	35	36	31,97
36	15,98	5476	-	36	37	11,10
37	15,98	5476	-	37	38	23,71
38	15,82	5444	-	38	41	30,55
41	15,82	5444	-	41	44	32,42
44	15,82	5444	-	44	46	32,02
46	15,82	5444	-	46	47	34,53
47	15,82	5444	-	47	49	14,32
49	15,82	5444	-	49	51	19,90
51	15,68	5406	-	51	54	2,15
54	15,68	5406	-	54	56	30,59
56	15,68	5406	-	56	58	32,76
58	15,68	5406	-	58	60	34,99
60	15,68	5406	-	60	61	27,95
61	15,68	5406	-	61	66	28,37
66	15,68	5406	-	66	67	24,50
67	15,68	5406	-	67	69	45,50
69	15,68	5406	-	69	71	31,62
71	15,68	5406	-	71	73	2,43
73	15,68	5406	-	73	75	2,00
75	15,68	5406	-	75	77	26,93
77	15,68	5406	-	77	79	34,40
79	15,68	5406	-	79	80	94,29
80	15,68	5406	-	80	81	3,52
81	15,68	5406	-	81	82	2,02
82	11,90	4845	-	82	84	28,37
84	11,90	4845	-	84	87	47,10
87	11,90	4845	-	87	88	33,65
88	11,90	4845	-	88	90	35,38
90	11,90	4845	-	90	93	36,80
93	11,83	4823		93	94	29,00

Nº do Nó:	Carga (MVA):	Nº de Unidades Consumidoras:	Proteção Tripolar:	De:	Para:	Comprimento (m):
94	11,83	4823	-	94	97	34,01
97	11,83	4823	-	97	98	30,81
98	11,61	4816	-	98	103	31,05
103	11,61	4816	-	103	107	5,39
107	11,61	4816	-	107	110	2,00
110	11,61	4816	-	110	113	23,73
113	11,61	4816	-	113	116	32,02
116	11,61	4816	-	116	120	29,83
120	11,61	4816	-	120	124	13,42
124	11,61	4816	-	124	132	21,21
132	11,13	4689	-	132	135	35,17
135	11,13	4689	-	135	142	35,17
142	11,13	4689	-	142	150	34,21
150	11,08	4673	-	150	162	35,17
162	11,08	4673	-	162	167	37,11
167	11,08	4673	-	167	177	33,24
177	11,08	4673	-	177	186	32,98
186	11,08	4673	-	186	195	34,21
195	11,08	4673	-	195	203	30,08
203	11,08	4673	-	203	209	23,17
209	11,08	4673	-	209	218	7,74
218	11,08	4673	-	218	227	39,85
227	11,08	4673	-	227	232	37,34
232	11,08	4673	-	232	240	39,56
240	11,08	4673	-	240	248	24,47
248	11,08	4673		248	254	21,41
254	11,08	4673	-	254	267	10,04
267	11,04 -	4664	-	267	274	30,60
274	11,04	4664	-	274	281	40,27
281	11,04	4664	-	281	293	42,21
293	10,95	4633	-	293	303	38,22
303	10,95	4633	-	303	311	33,24
311	10,95	4633	-	311	317	10,43
317	10,95	4633	-	317	327	29,83
327	10,81	4586	-	327	335	37,11

Nº do Nó:	Carga (MVA):	Nº de Unidades Consumidoras:	Proteção Tripolar:	De:	Para:	Comprimento (m):
335	10,81	4586	-	335	343	27,83
343	10,81	4586	-	343	354	9,54
354	10,65	4523	-	354	362	39,05
362	10,65	4523	-	362	375	20,62
375	9,95	4302		375	388	27,89
388	9,95	4302	-	388	396	51,73
396	9,95	4302	-	396	408	34,86
408	9,95	4302	-	408	420	35,95
420	9,95	4302	-	420	430	33,95
430	9,95	4302	-	430	441	34,34
441	9,95	4302	-	441	447	1,40
447	9,95	4302	-	447	454	2,00
454	9,95	4302	-	454	463	38,32
463	9,95	4302	-	463	473	37,42
473	9,87	4273	-	473	480	52,41
480	9,87	4273	-	480	488	46,32
488	9,42	3951	-	488	500	56,01
500	2,56	366	-	500	515	83,58
515	2,56	366	-	515	525	3,91
525	2,56	366	-	525	537	1,95
537	2,56	366	-	537	549	78,94
549	2,56	366	-	549	559	76,83
559	2,56	366	-	559	572	59,72
572	2,56	366	-	572	581	94,90
581	2,56	366	-	581	589	88,63
589	2,56	366	-	589	594	55,57
594	2,56	366	-	594	601	159,71
601	2,56	366	-	601	607	68,12
607	2,56	366	-	607	614	75,58
614	2,56	365	-	614	620	76,16
620	2,54	365	-	620	625	81,02
625	2,54	365	-	625	629	99,40
629	2,54	365	-	629	633	49,50
633	2,54	365	-	633	639	64,94
639	2,54	365	-	639	643	59,68

Nº do Nó:	Carga (MVA):	Nº de Unidades Consumidoras:	Proteção Tripolar:	De:	Para:	Comprimento (m):
643	2,54	365	-	643	647	1,54
647	2,54	365	-	647	653	2,00
653	2,54	365	-	653	658	58,06
658	2,54	365	-	658	663	27,78
663	2,54	365	-	663	672	31,48
672	2,02	280	-	672	677	27,58
677	2,02	268	-	677	681	48,64
681	2,02	268	-	681	685	44,73
685	1,90	262	-	685	689	31,62
689	1,90	262	-	689	695	26,71
695	1,90	262	-	695	701	28,39
701	1,86	253	-	701	709	30,01
709	1,86	253	-	709	719	30,24
719	1,71	200	-	719	728	32,01
728	1,71	200	-	728	736	60,88
736	1,71	200	-	736	745	49,48
745	1,71	200	-	745	756	16,28
756	1,63	171	-	756	767	36,40
767	1,63	171	-	767	775	68,25
775	1,63	171	-	775	786	30,02
786	1,63	171	-	786	800	29,12
800	1,63	171	-	800	814	30,08
814	1,63	171	-	814	827	34,93
827	1,63	171	-	827	838	67,05
838	1,56	148	-	838	852	34,21
852	1,56	148	-	852	867	15,30
867	1,56	148	-	867	877	34,21
877	1,52	134	-	877	889	62,13
889	1,52	134	-	889	898	39,22
898	1,52	134	-	898	907	47,07
907	1,52	134	-	907	919	25,46
919	1,52	134	Religador	919	940	2,41
940	1,52	134		940	949	1,90
949	1,52	134	-	949	960	11,06
960	1,52	134	-	960	975	1,75

Nº do Nó:	Carga (MVA):	Nº de Unidades Consumidoras:	Proteção Tripolar:	De:	Para:	Comprimento (m):
975	1,52	134	-	975	979	2,24
979	1,52	134	-	979	996	7,31
996	1,52	134	-	996	1009	28,98
1009	1,38	111	-	1009	1019	126,61
1019	1,38	111	-	1019	1023	75,12
1023	1,38	111	-	1023	1032	76,22
1032	1,38	111	-	1032	1048	75,67
1048	1,38	111	-	1048	1071	77,34
1071	1,38	111	-	1071	1089	81,79
1089	1,35	110	-	1089	1102	83,80
1102	1,35	110	-	1102	1107	84,61
1107	1,35	110	-	1107	1131	70,95
1131	1,30	100	-	1131	1143	71,29
1143	1,30	100	-	1143	1160	70,70
1160	1,30	100	-	1160	1181	72,35
1181	1,30	100	-	1181	1199	71,79
1199	1,30	100	-	1199	1215	77,01
1215	1,30	100	-	1215	1231	70,69
1231	1,27	99	-	1231	1235	1,00
1235	1,27	99	-	1235	1247	2,00
1247	1,27	99	-	1247	1255	72,51
1255	1,27	99	-	1255	1267	73,35
1267	1,27	99	-	1267	1280	73,85
1280	1,27	99	-	1280	1291	75,04
1291	1,27	99	-	1291	1310	82,79
1310	1,26	98	-	1310	1320	81,13
1320	1,26	98	-	1320	1329	80,56
1329	1,26	98	-	1329	1330	81,93
1330	1,26	98	-	1330	1343	80,84
1343	1,26	98	-	1343	1360	78,97
1360	1,26	98	-	1360	1366	81,13
1366	1,26	98	-	1366	1372	80,56
1372	1,25	95	-	1372	1379	77,37
1379	1,25	95	-	1379	1385	4,59
1385	1,25	95	-	1385	1390	76,68

Nº do Nó:	Carga (MVA):	Nº de Unidades Consumidoras:	Proteção Tripolar:	De:	Para:	Comprimento (m):
1390	1,25	95	-	1390	1398	81,56
1398	1,13	90		1398	1404	81,58
1404	1,13	90		1404	1409	81,79
1409	1,13	90	-	1409	1417	83,62
1417	1,13	90	-	1417	1421	81,58
1421	1,13	90	-	1421	1424	81,79
1424	1,13	90	-	1424	1428	83,62
1428	1,13	90	-	1428	1431	82,34
1431	1,13	90	-	1431	1437	66,10
1437	1,11	89	-	1437	1443	65,54
1443	1,08	88	-	1443	1447	66,00
1447	1,08	88	-	1447	1451	66,00
1451	1,08	88	-	1451	1456	65,01
1456	1,08	88	-	1456	1464	66,00
1464	1,08	88	-	1464	1468	65,80
1468	1,08	88	-	1468	1474	76,62
1474	0,92	71	-	1474	1479	72,98
1479	0,92	71	-	1479	1488	75,37
1488	0,92	71	-	1488	1495	76,67
1495	0,92	71	-	1495	1500	76,00
1500	0,92	71	-	1500	1508	74,88
1508	0,92	71	-	1508	1516	75,33
1516	0,92	71	-	1516	1525	73,52
1525	0,92	71	-	1525	1537	100,50
1537	0,89	68	-	1537	1549	75,70
1549	0,83	64	-	1549	1551	76,69
1551	0,83	64	-	1551	1565	76,53
1565	0,83	64	-	1565	1575	75,42
1575	0,83	64	-	1575	1583	75,86
1583	0,83	64	-	1583	1590	76,53
1590	0,83	64	-	1590	1598	76,53
1598	0,83	64	-	1598	1610	80,83
1610	0,83	64	-	1610	1616	85,67
1616	0,82	61		1616	1619	85,47
1619	0,74	54	-	1619	1626	84,04

Nº do Nó:	Carga (MVA):	Nº de Unidades Consumidoras:	Proteção Tripolar:	De:	Para:	Comprimento (m):
1626	0,74	54	-	1626	1634	83,21
1634	0,74	54	-	1634	1645	81,84
1645	0,74	54	-	1645	1648	49,09
1648	0,73	53	-	1648	1651	62,79
1651	0,72	52	-	1651	1658	73,65
1658	0,72	52	-	1658	1665	72,42
1665	0,72	52	-	1665	1673	69,97
1673	0,72	52	-	1673	1679	68,75
1679	0,72	52	-	1679	1684	71,04
1684	0,72	52	-	1684	1687	72,60
1687	0,72	52	-	1687	1691	71,20
1691	0,72	52	-	1691	1695	71,04
1695	0,72	52	-	1695	1699	72,80
1699	0,72	52	-	1699	1701	69,81
1701	0,72	52	-	1701	1703	71,38
1703	0,72	52	-	1703	1706	73,28
1706	0,72	52	-	1706	1708	3,00
1708	0,72	52	-	1708	1711	70,38
1711	0,72	52	-	1711	1713	74,82
1713	0,72	52	-	1713	1714	3,07
1714	0,72	52	-	1714	1715	2,00
1715	0,72	52	-	1715	1716	74,37
1716	0,72	52	-	1716	1717	114,59
1717	0,63	48	-	1717	1719	117,20
1719	0,63	48	-	1719	1721	117,20
1721	0,63	48	-	1721	1723	117,07
1723	0,63	48	-	1723	1726	121,49
1726	0,63	48	-	1726	1729	76,86
1729	0,46	24	-	1729	1731	1,00
1731	0,46	24	-	1731	1735	1,80
1735	0,46	24	-	1735	1737	109,51
1737	0,46	24	-	1737	1743	115,09
1743	0,46	24	-	1743	1750	77,76
1750	0,46	23	-	1750	1757	75,64
1757	0,46	23	-	1757	1764	75,56

Nº do Nó:	Carga (MVA):	Nº de Unidades Consumidoras:	Proteção Tripolar:	De:	Para:	Comprimento (m):
1764	0,46	23	-	1764	1771	75,10
1771	0,46	23	-	1771	1779	75,56
1779	0,46	23	-	1779	1787	76,12
1787	0,46	23	-	1787	1796	75,56
1796	0,46	23	-	1796	1806	78,33
1806	0,46	23	-	1806	1812	113,71
1812	0,41	22	-	1812	1818	112,70
1818	0,41	22	-	1818	1829	113,30
1829	0,41	22	-	1829	1836	50,00
1836	0,40	21	-	1836	1841	84,79
1841	0,28	12	-	1841	1844	88,03
1844	0,28	12	-	1844	1849	89,33
1849	0,28	12	-	1849	1851	85,04
1851	0,28	12	-	1851	1853	81,64
1853	0,28	12	-	1853	1855	81,83
1855	0,28	12	-	1855	1857	83,66
1857	0,28	12	-	1857	1859	84,33
1859	0,28	12	-	1859	1861	84,49
1861	0,28	12	-	1861	1863	81,99
1863	0,28	12	-	1863	1865	82,60
1865	0,28	12	-	1865	1868	111,09
1868	0,27	9	-	1868	1871	170,38
1871	0,14	6	-	1871	1880	105,00
1880	0,14	6	-	1880	1886	41,38
1886	0,05	5	-	1886	1891	40,26
1891	0,05	5	-	1891	1895	41,41
1895	-	2	-	1895	1899	76,83
1899	-	2	-	1899	1901	78,70
1901	-	2	-	1901	1904	74,58
1904	-	2	-	1904	1905	76,46
1905	-	2	-	1905	1907	82,01
1907	-	2	-	1907	1909	76,46
1909	-	2	-	1909	1911	63,81
1911	-	2	-	1911	1914	86,91
1914	-	1	-	1914	1916	82,67

Nº do Nó:	Carga (MVA):	Nº de Unidades Consumidoras:	Proteção Tripolar:	De:	Para:	Comprimento (m):
1916	-	1	-	1916	1920	81,43
1920	-	1	-	1920	1922	79,97
1922	-	1	-	1922	1925	80,48
1925	-	1	-	1925	1927	80,48
1927	-	1	-	1927	1930	80,92
1930	-	1	-	1930	1933	89,40
1933	-	1	-	1933	1937	103,89
1937	-	1	-	1937	1941	48,20
1941	-	1	-	1941	1944	2,92
1944	-	1	-	1944	1948	2,00
1948	-	1	-	1948	1951	57,54
1951	-	1	-	1951	1954	62,36
1954	-	1	-	1954	1957	62,36
1957	-	1	-	1957	1960	63,32
1960	-	1	-	1960	1962	62,61
1962	-	1	-	1962	1965	61,64
1965	-	1	-	1965	1968	318,09
1968	-	1	-	1968	1971	189,68
1971	-	1	-	1971	1974	125,97
1974	-	1	-	1974	1977	58,23
1977	-	1	-	1977	1981	71,08
1981	-	1	-	1981	1984	63,84
1984	-	1	-	1984	1987	65,93
1987	-	1	-	1987	1989	63,36
1989	-	1	-	1989	1991	70,74
1991	-	1	-	1991	1994	59,15
1994	-	1	-	1994	1995	63,52
1995	-	1	-	1995	1998	2,07
1998	-	0	-	-	-	-

ANEXO C – Instalação do Sinalizador

CÓD. GRUPO		DESCRIÇÃO DO GRUPO / COMPONENTE	DESCRIÇÃO DETALHADA DA ATIVIDADE		UNIDADE ATIV.
CÓD. M.O.		DESCRIÇÃO DA MÃO DE OBRA / SERVIÇO	Instalação de Sinalizador de Falta de Tensão		Cliente
00001		Instalação de Sinalizador de Falta de Tensão			TEMPO TOTAL 00:14:02
Tipo de Equipe: ☒ Próprio ☐ Terceirizado Qual? _____ Tipo de Orçamento: ☐ Investimento ☒ Despesas Operacionais Tipo de Atividade: ☒ Instalação ☐ Retirada ☐ Outros _____ Atividade Emergencial: ☒ Sim ☐ Não ☐ Programada Turma de Construção: _____ Turma do DEOP			Dpto. Responsável: _____ Operação Área Responsável: _____ DEOP - Emergencial Dptos Complementares: _____ Faixa de Tensão: ☐ A.T. ☒ M.T. ☐ B.T. Tipo de Linha: ☒ Linha Viva ☐ Linha Morta Qtd de M.O.: 1		
ESPECIFICAÇÃO DETALHADA DA ATIVIDADE					
SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES	Descrição	Tempo Estim.	Descrição	Tempo Estim.	
	1 Iniciar o atendimento da OS via smartphone	00:00:50	21		
	2 Conversar ao pé do poste	00:00:30	22		
	3 Preencher o APR (Análise Preliminar de Risco)	00:00:35	23		
	4 Sinalizar a área de trabalho	00:01:35	24		
	5 Separar os EPI's, EPC's e ferramentas	00:00:35	25		
	6 Fixar e amarrar a escada, na parte inferior, no poste da concessionária	00:00:55	26		
	7 Subir na escada, alçar o talabarte no poste da concessionária e no cinto paraquedista e travar o trava-queda	00:01:05	27		
	8 Prender o trava-queda na linha de vida	00:00:30	28		
	9 Amarrar a escada na parte superior do poste da concessionária	00:00:30	29		
	10 Igar bastão pega-tudo com sinalizador acoplado e instalar em um fase	00:01:21	30		
	11 Instalar os outros sinalizadores nas 2 fases restantes	00:01:24	31		
	12		32		
	13		33		
	14		34		
	15		35		
	16		36		
	17		37		
	18		38		
	19		39		
	20		40		
RECURSOS HUMANOS E DE SEGURANÇA					
FUNÇÃO	Qtd	RECURSOS APLICADOS (EPI e Equipamentos)	Qtd	RECURSOS MATERIAIS (Insumos, Equipamentos)	
Eletricista Linha Viva Distrib		Capacete branco alto total	2	Vara de manobra ref. vsm-45g	01
Motorista		Óculos c/lente polic. Cinza	2	Alicate de Compressão	01
Auxiliar Mant. Distribuição		Óculos c/lente polic. Transparente	2	Cone de sinalização	06
Encarregado da Equipe (Empreiteira)		Calça p. antichama distr. m04	2	Escada isolada extensiva	01
Eletricista de Operação	2,00	Camisa g. antichama distr. m03	2		
Eletricista Operador de Guindauto		Bolina s/ comp met. n. 41	2		
Encarregado Comercial		Cinto paraquedista tam. 1	2		
Encarregado de Serviços		Tabulete segurança 1500kgf	2		
Encarregado Proj. Cons. Man. Distr.		Lua de vaqueta de couro	2		
Supervisor Análise de Perdas		Lua Isol. Borr. Cl.0 tam 10,0	2		
Supervisor Comercial		Protetor solar	2		
Supervisor de Operação		Mão de Linha	1		
Supervisor Manut. Transmissão		Balde de Lona	2		
Supervisor Medição Comb. Pedas		Bolsa para Luvas	2		
Supervisor Proj. Cadast. Distrib.		lcc linha de vida	1		
Supervisor Proj. Cons. Man. Distr.		Trava queda apo inox	2		
Tec. Const. Manut. Distribuição					
Tec. Proj. Cadastro Distrib.					
Tec. Proj. Const. Manut. Transm.					
Técnico Análise de Perdas					
Técnico Comercial					
Técnico Operação do Sistema					
TOTAL EQUIPE	2,00				
PONTOS DE ATENÇÃO					
- Analisar a estrutura do poste da concessionária - Cuidado com os veículos e movimentação de pessoas próximo ao local do serviço - - - - - 					
RESTRICÇÕES					
- Condições climáticas - Cliente ausente da unidade consumidora - Distância do cliente - 					
EXPECTATIVA RAZOÁVEL (E.R.)					
REGIÃO	T.M.P. (preparo)		T.M.D. (deslocamento)		T.M.E. (execução)
	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano
Leste					
FOTOS					
Eletricista					
Veículo					

ANEXO D – Corte de Jumper

CÓD. GRUPO		DESCRIÇÃO DO GRUPO / COMPONENTE	DESCRIÇÃO DETALHADA DA ATIVIDADE		UNIDADE ATIV.
CÓD. M.O.		DESCRIÇÃO DA MÃO DE OBRA / SERVIÇO	Corte de "pulos" (jumper) em rede de MT		Cliente
00002		Corte de "pulos" (jumper) em rede de MT			TEMPO TOTAL 00:30:42
Tipo de Equipe: ☒ Próprio ☐ Terceirizado Qual? _____ Tipo de Orçamento: ☐ Investimento ☒ Despesas Operacionais Tipo de Atividade: ☒ Instalação ☐ Retirada ☐ Outros _____ Atividade Emergencial: ☒ Sim ☐ Não ☐ Programada Turma de Construção: _____ Turma do DEOP			Dpto. Responsável: _____ Operação Área Responsável: _____ DEOP - Emergencial Dptos Complementares: _____ Faixa de Tensão: ☐ A.T. ☒ M.T. ☐ B.T. Tipo de Linha: ☒ Linha Viva ☐ Linha Morta Qtde de M.O.: 1		
ESPECIFICAÇÃO DETALHADA DA ATIVIDADE					
SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES	Descrição	Tempo Estim.	Descrição	Tempo Estim.	
	1 Iniciar o atendimento da OS via smartphone	00:00:50	21		
	2 Conversar ao pé do poste	00:00:30	22		
	3 Preencher o APR (Análise Preliminar de Risco)	00:00:35	23		
	4 Sinalizar a área de trabalho	00:01:35	24		
	5 Separar os EPI's, EPC's e ferramentas	00:00:35	25		
	6 Fixar e amarrar a escada, na parte inferior, no poste da concessionária	00:00:55	26		
	7 Subir na escada, algar o talabarte no poste da concessionária e no cinto paraquedista e travar o trava-quadras	00:01:05	27		
	8 Prender o trava-quadras na linha de vida	00:00:30	28		
	9 Amarrar a escada na parte superior do poste da concessionária	00:00:30	29		
	10 Testar a Ausência de Tensão	00:02:25	30		
	11 Instalar de dois aterramentos temporários	00:15:19	31		
	12 Cortar o primeiro pulo	00:01:11	32		
	13 Corta os dois pulos restantes	00:00:30	33		
	14		34		
	15		35		
	16		36		
	17		37		
	18		38		
	19		39		
	20		40		
RECURSOS HUMANOS E DE SEGURANÇA					
FUNÇÃO	Qtde	RECURSOS APLICADOS (EPI e Ferramentas)	Qtde	RECURSOS MATERIAIS (Insumos, Equipamentos)	
Eletricista Linha Viva Distrib		Capacete branco alto total	2	Vara de manobra ref vem-45s	01
Motorista		Óculos c/lente polic. Cinza	2	Alcате de Compressão	01
Auxiliar Mant. Distribuição		Óculos c/lente polic. Transparente	2	Cone de sinalização	06
Encarregado da Equipe (Empreiteira)		Calça p antichama distr m04	2	Escada isolada extensiva	01
Eletricista de Operação	2,00	Camisa g antichama distr m03	2		
Eletricista Operador de Guindauto		Bolina s/ comp met n 41	2		
Encarregado Comercial		Cinto paraquedista tam. 1	2		
Encarregado de Serviços		Tabulete segurança 1500kgf	2		
Encarregado Proj Cons Man Dist		Luva de vaqueta de couro	2		
Supervisor Análise de Perdas		Luva Isol. Borr. Cl.O tam 10,0	2		
Supervisor Comercial		Protetor solar	2		
Supervisor de Operação		Mão de Linha	1		
Supervisor Manut. Transmissão		Balde de Lona	2		
Supervisor Medição Comb Pedas		Bolsa para Luvas	2		
Supervisor Proj Cadast. Distrib		lcc linha de vida	1		
Supervisor Proj Cons Man Dist		Trava quadras apo inox	2		
Tec. Const Manut. Distribuição					
Tec. Proj Cadastro Distrib					
Tec. Proj Const Manut. Transm					
Tecnico Análise de Perdas					
Tecnico Comercial					
Tecnico Operação do Sistema					
TOTAL EQUIPE	2,00				
RECURSOS MATERIAIS (Veículos)					
		Utilitário com porta escada	01		
PONTOS DE ATENÇÃO					
- Analisar a estrutura do poste da concessionária - Cuidado com os veículos e movimentação de pessoas próximo ao local do serviço - - - - - 					
RESTRICÕES					
- Condições Climáticas - Cliente ausente da unidade consumidora - Distância do cliente - 					
EXPECTATIVA RAZOÁVEL (E.R)					
REGIÃO	T.M.P. (preparo)		T.M.D. (deslocamento)		T.M.E. (execução)
	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano Rural
Leste					
FOTOS					
Eletricista					
Veículo					

ANEXO E – Instalação de *Jumper*

Revisão v.1 Emissão 12/05/201																																																																																					
Tipo Documento	x Preliminar Definitivo																																																																																				
ÍNDICE																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #007bff; color: white;">CÓD. GRUPO</th> <th style="background-color: #007bff; color: white;">DESCRIÇÃO DO GRUPO / COMPONENTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #007bff; color: white;">Técnico</td> <td></td> </tr> <tr> <th style="background-color: #007bff; color: white;">CÓD. M.O.</th> <th style="background-color: #007bff; color: white;">DESCRIÇÃO DA MÃO DE OBRA / SERVIÇO</th> </tr> <tr> <td style="background-color: #007bff; color: white;">00003</td> <td>Instalação de "pulos" (jumper) em rede de MT</td> </tr> </tbody> </table>	CÓD. GRUPO	DESCRIÇÃO DO GRUPO / COMPONENTE	Técnico		CÓD. M.O.	DESCRIÇÃO DA MÃO DE OBRA / SERVIÇO	00003	Instalação de "pulos" (jumper) em rede de MT	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #007bff; color: white;">DESCRIÇÃO DETALHADA DA ATIVIDADE</th> <th style="background-color: #007bff; color: white;">UNIDADE ATIV.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Instalação de "pulos" (jumper) em rede de MT</td> <td>Cliente</td> </tr> <tr> <td></td> <td>TEMPO TOTAL</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="background-color: #007bff; color: white;">00:54:12</td> </tr> </tbody> </table>	DESCRIÇÃO DETALHADA DA ATIVIDADE	UNIDADE ATIV.	Instalação de "pulos" (jumper) em rede de MT	Cliente		TEMPO TOTAL		00:54:12																																																																				
CÓD. GRUPO	DESCRIÇÃO DO GRUPO / COMPONENTE																																																																																				
Técnico																																																																																					
CÓD. M.O.	DESCRIÇÃO DA MÃO DE OBRA / SERVIÇO																																																																																				
00003	Instalação de "pulos" (jumper) em rede de MT																																																																																				
DESCRIÇÃO DETALHADA DA ATIVIDADE	UNIDADE ATIV.																																																																																				
Instalação de "pulos" (jumper) em rede de MT	Cliente																																																																																				
	TEMPO TOTAL																																																																																				
	00:54:12																																																																																				
Tipo de Orçamento: ☒ Próprio ☐ Terceirizado Qual? _____ Tipo de Atividade: ☐ Investimento ☒ Despesas Operacionais Tipo de Atividade: ☒ Instalação ☐ Retirada ☐ Outros _____ Atividade Emergencial: ☒ Sim ☐ Não ☐ Programada Turna de Construção: _____ Turna do DEOP _____																																																																																					
Dpto. Responsável: _____ Operação Área Responsável: _____ DEOP - Emergencial Dptos Complementares: _____ Faixa de Tensão: ☐ A.T. ☒ M.T. ☐ B.T. Tipo de Linha: ☒ Linha Viva ☐ Linha Morta Qtde de M.O.: 1																																																																																					
ESPECIFICAÇÃO DETALHADA DA ATIVIDADE																																																																																					
SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #007bff; color: white;">Descrição</th> <th style="background-color: #007bff; color: white;">Tempo Estim.</th> <th style="background-color: #007bff; color: white;">Descrição</th> <th style="background-color: #007bff; color: white;">Tempo Estim.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1 Iniciar o atendimento da OS via smartphone</td><td style="text-align: center;">00:00:50</td><td>21</td><td></td></tr> <tr><td>2 Conversar ao pé do poste</td><td style="text-align: center;">00:00:30</td><td>22</td><td></td></tr> <tr><td>3 Preencher o APR (Análise Preliminar de Risco)</td><td style="text-align: center;">00:00:35</td><td>23</td><td></td></tr> <tr><td>4 Sinalizar a área de trabalho</td><td style="text-align: center;">00:01:35</td><td>24</td><td></td></tr> <tr><td>5 Separar os EPI's, EPC's e ferramentas</td><td style="text-align: center;">00:00:35</td><td>25</td><td></td></tr> <tr><td>6 Fixar e amarrar a escada, na parte inferior, no poste da concessionária</td><td style="text-align: center;">00:00:55</td><td>26</td><td></td></tr> <tr><td>7 Subir na escada, alçar o talabarte no poste da concessionária e no cinto paraquedista e travar o trava-queda</td><td style="text-align: center;">00:01:05</td><td>27</td><td></td></tr> <tr><td>8 Prender o trava-queda na linha de vida</td><td style="text-align: center;">00:00:30</td><td>28</td><td></td></tr> <tr><td>9 Amarrar a escada na parte superior do poste da concessionária</td><td style="text-align: center;">00:00:30</td><td>29</td><td></td></tr> <tr><td>10 Testar a Ausência de Tensão</td><td style="text-align: center;">00:02:25</td><td>30</td><td></td></tr> <tr><td>11 Instalar de dois aterramentos temporários</td><td style="text-align: center;">00:15:19</td><td>31</td><td></td></tr> <tr><td>12 Instalar 3 pulsos na rede de MT</td><td style="text-align: center;">00:25:11</td><td>32</td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td style="text-align: center;"></td><td>33</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td style="text-align: center;"></td><td>34</td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td style="text-align: center;"></td><td>35</td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td style="text-align: center;"></td><td>36</td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td style="text-align: center;"></td><td>37</td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td style="text-align: center;"></td><td>38</td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td style="text-align: center;"></td><td>39</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td style="text-align: center;"></td><td>40</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Descrição	Tempo Estim.	Descrição	Tempo Estim.	1 Iniciar o atendimento da OS via smartphone	00:00:50	21		2 Conversar ao pé do poste	00:00:30	22		3 Preencher o APR (Análise Preliminar de Risco)	00:00:35	23		4 Sinalizar a área de trabalho	00:01:35	24		5 Separar os EPI's, EPC's e ferramentas	00:00:35	25		6 Fixar e amarrar a escada, na parte inferior, no poste da concessionária	00:00:55	26		7 Subir na escada, alçar o talabarte no poste da concessionária e no cinto paraquedista e travar o trava-queda	00:01:05	27		8 Prender o trava-queda na linha de vida	00:00:30	28		9 Amarrar a escada na parte superior do poste da concessionária	00:00:30	29		10 Testar a Ausência de Tensão	00:02:25	30		11 Instalar de dois aterramentos temporários	00:15:19	31		12 Instalar 3 pulsos na rede de MT	00:25:11	32		13		33		14		34		15		35		16		36		17		37		18		38		19		39		20		40	
Descrição	Tempo Estim.	Descrição	Tempo Estim.																																																																																		
1 Iniciar o atendimento da OS via smartphone	00:00:50	21																																																																																			
2 Conversar ao pé do poste	00:00:30	22																																																																																			
3 Preencher o APR (Análise Preliminar de Risco)	00:00:35	23																																																																																			
4 Sinalizar a área de trabalho	00:01:35	24																																																																																			
5 Separar os EPI's, EPC's e ferramentas	00:00:35	25																																																																																			
6 Fixar e amarrar a escada, na parte inferior, no poste da concessionária	00:00:55	26																																																																																			
7 Subir na escada, alçar o talabarte no poste da concessionária e no cinto paraquedista e travar o trava-queda	00:01:05	27																																																																																			
8 Prender o trava-queda na linha de vida	00:00:30	28																																																																																			
9 Amarrar a escada na parte superior do poste da concessionária	00:00:30	29																																																																																			
10 Testar a Ausência de Tensão	00:02:25	30																																																																																			
11 Instalar de dois aterramentos temporários	00:15:19	31																																																																																			
12 Instalar 3 pulsos na rede de MT	00:25:11	32																																																																																			
13		33																																																																																			
14		34																																																																																			
15		35																																																																																			
16		36																																																																																			
17		37																																																																																			
18		38																																																																																			
19		39																																																																																			
20		40																																																																																			
RECURSOS HUMANOS E DE SEGURANÇA																																																																																					
FUNÇÃO	Qtde	RECURSOS APLICADOS (EPI e Fundamentos)	Qtde	RECURSOS MATERIAIS (Insumos, Equipamentos)																																																																																	
Eletricista Linha Viva Distrib		Capacete branco abas total	2	Lista	Qtde																																																																																
Motorista		Óculos c/lente polic. Cinza	2	Vare de manobra ref vmr-45l	01																																																																																
Auxiliar Mant. Distribuição		Óculos c/lente polic. Transparente	2	Alcате de Compressão	01																																																																																
Encarregado da Equipe (Empreiteira)		Cajá p antichama distr m04	2	Cone de sinalização	06																																																																																
Eletricista de Operação	2,00	Camisa p antichama distr m03	2	Escada isolada extensiva	01																																																																																
Eletricista Operador de Guindaste		Botina s/c met n° 41	2																																																																																		
Encarregado Comercial		Cinto paraquedista tam. 1	2																																																																																		
Encarregado de Serviços		Talabarte segurança 1500kgf	2																																																																																		
Encarregado Proj Cons Man Dist		Luva de vaqueta de couro	2																																																																																		
Supervisor Análise de Perdas		Luva isol. Borr. CLO tam 10,0	2																																																																																		
Supervisor Comercial		Protetor solar	1																																																																																		
Supervisor de Operação		Mão de Linha	2																																																																																		
Supervisor Manuten. Transmissão		Balde de Lona	2																																																																																		
Supervisor Medição Conto Podas		Bolas para Luvas	2																																																																																		
Supervisor Proj Cadast Distrib		Icc linha de vida	1																																																																																		
Supervisor Proj Cons Man Distr		Trava quedas algo inox	2																																																																																		
Tec. Corest Manut Distribuição																																																																																					
Tec. Proj Cadastro Distrib																																																																																					
Tec. Proj Cons Manut Transm																																																																																					
Tecnico Analise de Perdas																																																																																					
Tecnico Comercial																																																																																					
Tecnico Operacao do Sistema																																																																																					
TOTAL EQUIPE	2,00			RECURSOS MATERIAIS (Veículos)																																																																																	
				Utilitário com porta escada	01																																																																																
PONTOS DE ATENÇÃO				FOTOS																																																																																	
- Analisar a estrutura do poste da concessionária	-	Eletricista																																																																																			
- Guardado com os veículos e movimentação de pessoas próximo ao local do serviço	-																																																																																				
-	-																																																																																				
-	-																																																																																				
-	-																																																																																				