



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉCTRICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

Título:

**Análise das técnicas para a detecção de avarias
em cabos subterrâneos de Média Tensão**

AUTOR:

Massange, Celso Eliote Domingos

SUPERVISORES:

UEM: Eng.º Isac Matavel

EDM: Pascoal Macandza

Maputo, Maio de 2023



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉCTRICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

Título:

**Análise das técnicas para a detecção de avarias
em cabos subterrâneos de Média Tensão**

AUTOR:

Massange, Celso Eliote Domingos

SUPERVISORES:

UEM: Eng.º Isac Matavel

EDM: Pascoal Macandza

Maputo, Maio de 2023



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Celso Eliote Domingos Massange, declaro que este Relatório de Estágio Profissional nunca foi apresentado para obtenção de qualquer grau ou num outro âmbito e que ele constitui o resultado do meu labor individual.

Maputo, ao ____ de Maio de 2023

(Celso Eliote Domingos Massange)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, que nunca me impediram de sonhar e que sempre colocaram a educação dos seus filhos em primeiro lugar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus pelo Dom da vida e pelas inúmeras bênçãos que Ele tem derramado sobre mim. Ao meu pai Domingos Lucas Massange e à minha mãe Fátima António pelos valores que me inculcaram, pela educação, pelas oportunidades que me proporcionaram, pelo apoio moral, material e monetário ao longo de toda minha vida, o que traduziu no que sou hoje. Às minhas irmãs Júlia Marta Domingos Massange e Etelvina Paulina Domingos Massange, à todos meus irmãos, e à toda família pelo incentivo e por sempre torcerem por mim para que tudo desse certo.

Ao Engenheiro Isac Matavel, por ter aceite ser meu supervisor neste trabalho e pela paciência e disponibilidade que sempre teve, não só neste relatório de Estágio Profissional como também no meu Projeto de Curso, portanto, nestes dois grandes trabalhos que juntos com êxito fizemos.

À todos os docentes do Departamento de Engenharia Eletrotécnica que contribuíram para minha formação, em especial aos docentes do curso de Engenharia Elétrica.

Ao Engenheiro Pascoal Macandza, pelo apoio nos conhecimentos práticos durante o estágio na EDM e pela supervisão, à engenheira Jene pelo apoio na integração e por todas ajudas incondicionais, ao engenheiro Maumane pela carona incondicional, à minha brigada liderada pelo engenheiro Bila, e aos engenheiros Dança, Augusto e Mafueca. Ao engenheiro Ussene pelos conhecimentos e pelo apoio na integração. À todos engenheiros dos departamentos de manutenção e projetos da EDM Ka Maxakeni que direta ou indiretamente contribuíram para o meu estágio. Aos meus Colegas de estágio, Domingos, Dania, Antônio, e Antônia.

Aos meus Colegas de graduação e à todos meus amigos, Biquelton, Coimbra, Sulemane, Vivaldo, Amine, Aurélio, Aime, Belchior, Jonas e Jofrisse, que em bons e maus momentos sempre estivemos juntos, têm o meu profundo e sincero agradecimento.

EPÍGRAFE

*“ A verdadeira felicidade e sucesso consiste em
gastar nossas energias com um propósito”*

William Cowper

RESUMO

A rede elétrica da Direção Regional da Cidade de Maputo de Média Tensão possui linhas aéreas e subterrâneas para a distribuição de energia elétrica.

As linhas elétricas subterrâneas quando sofrem uma avaria, coloca uma parte da rede temporariamente fora de serviço. Na sequência, tornou-se necessário encontrar estratégias que localizem a avaria em menos tempo e de forma precisa.

Técnicas como a Reflectometria de Domínio de Tempo (TDR) com o uso do Gerador de impulsos e a pós localização acústica com novos equipamentos que filtram ruídos externos e só enviam ao fone de ouvido o ruído causado pela onda do gerador de impulso no ponto de falha, mostrou-se a técnica mais eficaz e eficientes do que o método de ponte.

Contudo, com aquisição da nova tecnologia integrada em um veículo, proporcionará uma redução exponencial no tempo de intervenção das avarias dos cabos subterrâneos de média tensão da Direção Regional da Cidade de Maputo, e desta forma a EDM terá mais horas de faturação e os seus clientes terão menos tempo de corte de energia elétrica, reduzindo em ambas partes os prejuízos causados pelos cortes prolongados da corrente elétrica.

Palavras Chave: Cabos Subterrâneos, energia elétrica, média tensão, localização de avarias, Reflectometria.

ABSTRACT

The medium voltage electrical network of the Regional Direction of the City of Maputo has overhead and underground lines for the distribution of electricity.

Underground power lines, when they suffer a breakdown, put a part of the network temporarily out of service. Next, it became necessary to find strategies that would locate the fault in less time and accurately.

Techniques such as Time Domain Reflectometry (TDR) using the Pulse Generator and post acoustic localization with new equipment that filters out external noise and only sends the noise caused by the pulse generator wave at the failure point to the headphones, proved to be a more effective and efficient technique than the bridge method.

With the acquisition of the new technology integrated into a vehicle, it will provide an exponential reduction in the intervention time for breakdowns in the underground medium voltage cables of the Regional Direction of Maputo City and in this way EDM will have more billing hours and its customers will have less power outage time, reducing the damage caused by prolonged power outages on both sides.

Keywords: Underground cables, electricity, medium voltage, fault location, reflectometry.

ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS	iii
EPÍGRAFE	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
Lista de símbolos e abreviaturas	xii
1. CAPÍTULO I- Introdução	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Formulação do problema	1
1.3. Justificativa.....	2
1.4. Objetivos	2
1.4.1. Geral:.....	2
1.4.2. Específicos:	2
1.5. Metodologia.....	2
2. CAPÍTULO II: Revisão da literatura	3
2.1. Introdução	3
2.2. Caraterização de um cabo subterrâneo	3
2.3. Localização de defeitos em redes subterrâneas	5
2.3.1. Introdução.....	5
2.4. Tipos e Natureza dos Principais Defeitos.....	6
2.4.1. Classificação dos Tipos de Defeitos	6
2.5. Caracterização dos Defeitos Eléctricos.....	7
2.5.1. Defeito de Isolamento	7
2.5.2. Defeito de Continuidade	8
2.5.3. Defeito Tipo Explosor	8
2.5.4. Técnicas de Localização de Defeitos Eléctricos	9
2.5.5. Consignação do Cabo e Análise do Defeito	10
2.5.6. Modificação das Características do Defeito.....	11
2.5.7. Causas das avarias	13
2.5.8. Idade do circuito	13
2.5.9. Efeito do tráfego	14
2.5.10. Impacto da presença de condutas subterrâneas de abastecimento de água	15
2.5.11. Efeito da humidade dos solos	15

2.5.12.	Impacto das técnicas de dimensionamento.....	16
2.5.13.	Influência do número de caixas num circuito.....	17
2.5.14.	Impacto das causas “não naturais”	17
3.	Capítulo III: Análise das técnicas de detecção de avarias	18
3.1.	Introdução	18
3.2.	Passos de processo e métodos da localização de defeito de cabo	19
3.2.1.	Análise de defeito	20
3.2.2.	Pré-localização	20
3.2.3.	Pós-localização.....	20
3.2.4.	Identificação dos cabos ou seleção dos cabos.....	21
3.3.	Método de Ponte	21
3.3.1.	Perdas não técnicas de energia	28
3.4.	Métodos Ecométricos.....	30
3.4.1.	Ecometria em Baixa Tensão.....	30
3.4.2.	Ecometria em Alta Tensão	32
3.4.3.	Ecometria utilizando Impulsos de Corrente	33
3.4.4.	Reflectometria Convencional.....	33
3.4.5.	Reflectometria De Alta Energia.....	34
3.4.6.	Reflexão De Arco E Reflexão De Arco Diferencial	35
3.4.7.	Reflexão De Impulsos.....	36
3.4.8.	Decaimento	37
3.4.9.	Detecção Acústica De Impulsos	38
3.4.10.	Detecção Acústica/Eletromagnética De Impulsos	40
3.5.	ANÁLISE CRÍTICA.....	46
3.5.1.	Ao equipamento de pré localização.....	46
3.5.2.	À execução das caixas de junção.....	48
3.5.3.	Ao equipamento de pós localização	50
4.	Estimativa do custo e análise de viabilidade econômica.....	52
4.1.	Mapa de Amortização	54
4.2.	Mapa de Cash Flow	55
5.	CONCLUSÃO	57
6.	RECOMENDAÇÕES.....	58
7.	Referências bibliográficas	59

Anexo 1. Gerador SFX32 ou SPG32 e sua especificação.....	1
Anexo 2. Especificações técnicas do gerador SFX32.....	2
Anexo 3. STX40 e Ilustração do display do Teleflex integrado no STX40.....	3
Anexo 4. Outra vista do Gerador STX40.....	4
Anexo 5. Elementos de para execução de uma caixa de junção subterrânea.....	5
Anexo 6. Execução de uma caixa de junção subterrâneas.....	6
Anexo 7. Execução de uma caixa de junção subterrâneas e veiculo de localização.....	7
Anexo 8. Principais materiais isolante e Comparação dos digiPhones antigo e novo.....	8
Anexo 9. Componentes do digiPhone.....	9
Anexo 10. digiPHONE e localizador por tensão de passo.....	10
Anexo 11.1 Acta de encontros.....	11
Anexo 11.2 Acta de encontros.....	12
Anexo 11.3 Acta de encontros.....	13
Anexo 11.4 Acta de encontros.....	14
Anexo 11.5 Acta de encontros.....	15
Anexo 11.6 Acta de encontros.....	16
Anexo 11.7 Acta de encontros.....	17
Anexo 11.8 Acta de encontros.....	18
Anexo 12. Relatório de progresso.....	19
Anexo 13. F1- GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATORIO ESCRITO.....	20
Anexo 14. F1- GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATORIO ESCRITO.....	21
Anexo 15. F2- GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA.....	22
Anexo 16. F2- GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA.....	23
Anexo 17. F3- FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL.....	24

Lista de figuras

Figura 1. Condutor [13]	4
Figura 2. Cabo unipolar [13]	4
Figura 3. Cabo multipolar [13]	5
Figura 4. Cabos multipolar e monopolar de redes subterrâneas de MT [3].....	5
Figura 5. Defeito de isolamento [13].....	7

Figura 6. Defeito de continuidade [13].....	8
Figura 7. Defeito tipo explosor [13].....	9
Figura 8. Análise de defeito [13].....	10
Figura 9. Ilustração de um trecho de um circuito subterrâneo [9].....	17
Figura 10. Fluxograma dos passos para detecção de avarias [Autoria Própria]	19
Figura 11. Ponte de Wheatstone [BAUR].....	21
Figura 12. Implementação prática do anel de Murray [BAUR]	22
Figura 13. Circuito do Anel de Murray [13].....	22
Figura 14. Esquema de ligação do Shirla [BAUR].....	23
Figura 15. Equipamento de localização de avarias baseado na ponte de Wheatstone [BAUR]	24
Figura 16. Ponte de Sauty [13].....	25
Figura 17. Aplicação prática da ponte de Sauty [13]	25
Figura 18. Ponte de Wein [13].....	27
Figura 19. Ponte de Nernst [13]	27
Figura 20. Ilustração da conexão do ecómetro e o osciloscópio [13].....	30
Figura 21. Ecograma típico de um defeito de continuidade [13].....	32
Figura 22. Ecograma típico de um defeito de isolamento [13].....	32
Figura 23. Ecograma típico em uma caixa de junção [13].....	32
Figura 24. Ilustração da aplicação do TDR em cabo de energia [6].....	34
Figura 25. Ilustração do Método de reflexão de arco [6]	36
Figura 26. Ilustração do método de reflexão de impulso [6].....	37
Figura 27. Ilustração do método de decaimento [6]	38
Figura 28. Circuito do gerador de impulso conectado ao cabo [Autoria Própria]	39
Figura 29. Ilustração da detecção acústica [6]	39
Figura 30. Ilustração da detecção acústica melhorada [3]	41
Figura 31. Ilustração do método acústico com o sensor geofone [6]	42
Figura 32. Gerador de impulso sugerido, STX40 [Megger]	44
Figura 33. Conjunto acústico, digiPHONE+2 [Megger]	44
Figura 34. Veículo de localização de avarias [Hv Hipot]	45
Figura 35. Cabo a óleo [Autoria própria]	46
Figura 36. Gerador de surto SPG32 [Autoria própria]	47
Figura 37. Remoção e instalação de uma nova caixa de junção subterrânea de MT [Autoria Própria]	48

Figuras dos anexos

Figura A1-1. Gerador SFX32 ou SPG32 [Megger]	1
Figura A3.1-3. Gerador STX40 [Megger]	3
Figura A3.2-3. Ilustração do display do Teleflex integrado no STX40 [Megger].	3
Figura A4.1-4. Vista frontal do Gerador STX40 [Megger].....	4
Figura A4.2-4. Vista de cima do gerador STX40 [Megger].....	4
Figura A5.1-5. Elementos para execução de uma caixa de junção subterrânea [HV Hipot].....	5

Figura A5.2-5. Elementos para execução de uma caixa de junção subterrânea [HV Hipot].....	5
Figura A6.1-6. Execução de uma caixa de junção subterrâneas [Autoria própria]	6
Figura A6.1-6. Execução de uma caixa de junção subterrâneas [Autoria própria]	6
Figura A7.1-7. Execução de uma caixa de junção subterrâneas [Autoria própria]	7
Figura A7.2-7. Veículo de localização de avarias [Hv Hipot].....	7
Figura A8-8. Comparação dos digiPhones antigo e novo [Megger]	8
Figura A9-9. Componentes do digiPhone [Megger]	9
Figura A10.1-10. digiPHONE e localizador por tensão de passo [Megger]	10
Figura A10.2-10. Unidade de display multifuncional [Megger]	10

Lista de tabelas

Tabela 1. Ficha de avarias [Autoria própria].....	13
Tabela 2. Classificação do método de ponte de Wheatstone [Autoria própria] 29	29
Tabela 3. Análítica de Custos [Autoria própria]	29
Tabela 4. Interpretação dos resultados da fig.18 [Autoria Própria].....	39
Tabela 5. Interpretação dos resultados da fig.19 [Autoria própria]	41
Tabela 6. Características dos materiais isolantes [7]	42
Tabela 7. Classificação do método Enométrico [Autoria própria].....	43
Tabela 8. Análise de Custos [Autoria própria]	43
Tabela 9. Comparação dos dois métodos [Autoria própria]	44
Tabela 10. Estimativa do custo [Autoria própria]	52
Tabela 11. Especificações técnicas [Autoria própria].....	53
Tabela 12. Tabela de amortização [Autoria própria].....	54
Tabela 13. Mapa de cash flow [Autoria própria]	55

Lista de tabelas dos anexos

Tabela A1-1. Especificações técnicas do Teleflex [Megger].....	1
Tabela A9-9. Descrição da figura A9.13-9 [Megger].....	9
Tabela A11.1-11. Acta de encontro 1.....	11
Tabela A11.2-12. Acta de encontro 2.....	12
Tabela A11.3-13. Acta de encontro 3.....	13
Tabela A11.4-14. Acta de encontro 4.....	14
Tabela A11.5-15. Acta de encontro 5.....	15
Tabela A11.6-16. Acta de encontro 6.....	16
Tabela A11.7-17. Acta de encontro 7.....	17
Tabela A11.8-18. Acta de encontro 8.....	18

Tabela A12-19. Relatório de progresso.....	19
Tabela A13.1a-20. F1- GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATORIO ESCRITO.....	20
Tabela A13.1b-21. F1- GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATORIO ESCRITO.....	21
Tabela A14.1a-22. F2- GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA.....	22
Tabela A14.1b-23. F2- GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA.....	23
Tabela A15-24. F3- FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL	24

Lista de símbolos e abreviaturas

DRCM	Direção Regional da Cidade de Maputo;
MT	Média tensão;
PT	Posto de Transformação;
PTS	Posto de Transformação e Seccionamento;
R_d	Resistência de defeito;
U_d	Tensão de escorvamento do explosor;
EDM	Eletricidade de Moçambique;
TDR	<i>Time Doming Reflection;</i>
ARM	<i>Arc Reflection Method;</i>
K	Constante;
L	Comprimento total do cabo;
X	Comprimento até ao defeito;
P_M	Potência média demanda em [kW];
t_{MRA}	Tempo médio de resolução da avaria em [h];
ε_M	Energia média em [kWh];
QMP	Quantidade monetária média perdida em [MT];
t_x	Corresponde ao tempo de ida e volta da onda no cabo e que pode ser obtido a partir dos oscilogramas registados, em microssegundos;
v	É a velocidade de propagação da onda no cabo, em metros por microssegundos;

c	É a velocidade de propagação da luz no vácuo, em metros; por microssegundos;
ϵ_r	É a permitividade do dielétrico do cabo;
l_x	É a distância até ao defeito, em metros;
r	É o fator de reflexão;
Z_1	É a impedância antes do ponto de defeito;
Z_2	É a impedância depois do ponto de defeito;
VMP	Valor Monetário Poucado por avaria em [MT];
VMPA	Valor Monetário Poucado Anualmente [MT];
NA	número médio de avarias anualmente;
QMP_{atual}	Quantidade monetária média perdida do atual método por avaria em [MT];
QMP_{novo}	Quantidade monetária média perdida do novo método por avaria em [MT];
VAL	Valor Atual Líquido;
PRI	Período de Recuperação do Investimento;
C₀	Cash flow de Investimento;
C_t	Cash flow em determinado ano;
RAI	Resultado Antes de Imposto;
Ord	ordem;
Qtd	Quantidade;
MT	Metical;
U_n	Unidade.

1. CAPÍTULO I- Introdução

1.1. Contextualização

A rede elétrica da Direção Regional da Cidade de Maputo de Média Tensão (DRCM) possui linhas aéreas e subterrâneas para a distribuição de energia elétrica. Assim, percebe-se que as linhas são colocadas em meios distintos, fazendo com que cada ambiente influencie de diferentes formas na condição de exploração.

As linhas elétricas subterrâneas quando sofrem uma avaria, coloca uma parte da rede temporariamente fora de serviço. Na maioria dos casos, estas avarias não podem ser localizadas rapidamente, ao contrário do que se sucede nas linhas aéreas. Na sequência, torna-se necessário encontrar estratégias que localizem a avaria em menos tempo e de forma precisa.

1.2. Formulação do problema

A instalação de cabos subterrâneos nas zonas urbanas como Ka Maxaqueni, Ka Mphumo, Ka Mubukwane constitui uma opção viável não só por questões de estéticas, mas também trazem benefícios como eficiência, confiabilidade e segurança por não estarem sujeitos a intempéries.

Porém, quando num cabo subterrâneo da rede de distribuição de energia elétrica em média tensão ocorre uma avaria, muitas vezes devido ao reduzido número de informação disponível, a determinação da localização dos defeitos é uma tarefa trabalhosa e lenta. Técnicas como a Reflectometria no Domínio de Tempo (TDR), o uso do Gerador de impulsos, método de ponte, são algumas das várias técnicas possíveis para localizar as avarias. **De acordo com as características reais das redes de média tensão de 11 kV e 33 kV do local em estudo qual é o método mais rápido e preciso para detectar avarias em cabos subterrâneos?**

1.3. Justificativa

As redes subterrâneas se situam, na generalidade, em zonas urbanas, onde há uma elevada densidade populacional, e em áreas comerciais ou industriais em que o consumo é alto. Uma vez que os consumidores de eletricidade estão cada vez mais exigentes e de forma a reduzir o impacto na exploração da rede elétrica, o campo dedicado à localização de avarias possui um papel importante, pois uma correta detecção da avaria permite diminuir o tempo e o custo da intervenção, através de uma detecção exata do local da avaria.

1.4. Objetivos

1.4.1. Geral:

Analisar os métodos de detecção de avarias em cabos subterrâneos de média tensão.

1.4.2. Específicos:

- Identificar as diversas causas e tipos de defeito mais recorrentes nos cabos Subterrâneos de MT de Ka Maxaqueni;
- Comparar os métodos existentes para detecção de avarias em cabos subterrâneos de MT de Ka Maxaqueni;
- Avaliar o método atualmente usado na DRCM para localizar avarias em cabos subterrâneos de MT em termos de eficácia e eficiência;
- Identificar um métodos mais rápido e preciso para detecção de avarias em cabos subterrâneos de MT;
- Efetuar o estudo de viabilidade do método proposto.

1.5. Metodologia

Para a concepção do presente trabalho serão aplicadas três metodologias:

- **Revisão bibliográfica:** Para a aplicação rigorosa dos conceitos, tornar-se-á fundamental a consulta em manuais, literaturas, catálogos, regulamentos e em normas técnicas disponíveis, em que a sua maioria electrónicos dos quais estarão citados nas referências bibliográficas ou em outras bibliografias consultadas;

- **Pesquisa de campo:** Consistirá na recolha de dados nos diversos troços de circuitos da rede subterrânea de Media tensão de Ka Maxaqueni.
- **Entrevistas:** Como forma de obter com rigor informações referentes ao tema e para solucionar o problema, far-se-á a consulta ao técnico da EDM que é responsável pelo manuseio da máquina de detecção de avarias em cabos subterrâneos de MT atualmente usada na DRCM.

2. CAPÍTULO II: Revisão da literatura

2.1. Introdução

As redes de distribuição de energia eléctrica, que constituem um elemento fundamental do sistema energético de um país, fazem parte do designado Sistema Eléctrico Nacional, que é constituído pelas centrais de produção de energia eléctrica, redes de transporte e distribuição, aéreas e subterrâneas e instalações de transformação (subestações e postos de transformação) [3].

A energia eléctrica é transportada por meio de cabos eléctricos, e nas zonas urbanas este transporte é feito por meio de cabos subterrâneos de modo a dar possibilidades de se ter uma cidade verde e também constitui uma forma de ceder o espaço aéreo para ocupação dos edifícios [13].

2.2. Caraterização de um cabo subterrâneo

As três partes essenciais constituintes de um cabo são [13]:

- A alma condutora, que transporta a energia;
- O isolamento, que permite isolar os condutores nus uns dos outros, e dos seus envolventes;
- A proteção exterior, para proteger contra ações mecânicas, químicas e eletrolíticas, o fogo e qualquer outro tipo de influências externas que possam ser prejudiciais.

Chama-se condutor ao conjunto constituído por uma alma condutora e a sua camada isolante [13].

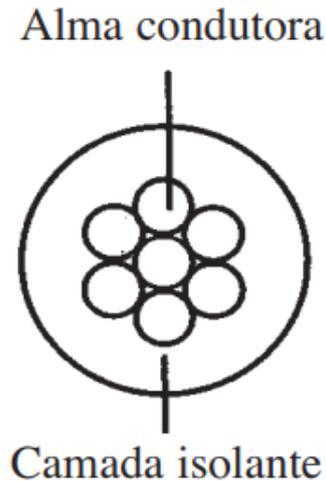


Figura 1. Condutor [13]

Um condutor munido de um revestimento exterior é designado por cabo unipolar (ou monopolar ou monocondutor) [13].

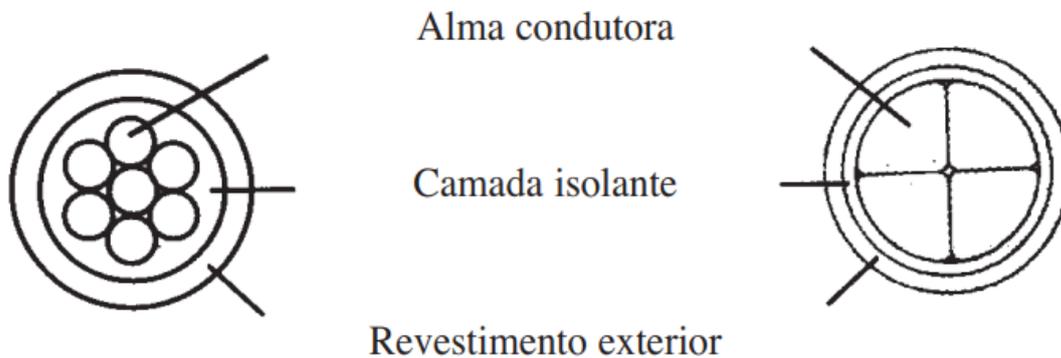


Figura 2. Cabo unipolar [13]

Um cabo multipolar é formado por vários condutores eletricamente distintos e mecanicamente solidários. A designação de cabo multicondutor é, em geral, usada para cabos com mais de três condutores [13].

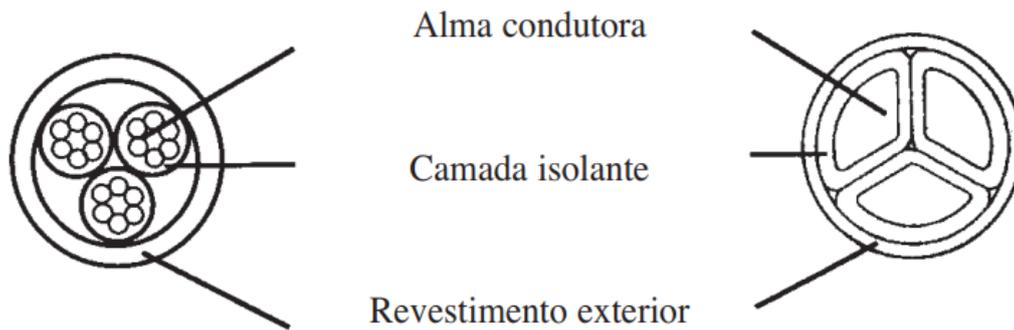


Figura 3. Cabo multipolar [13]

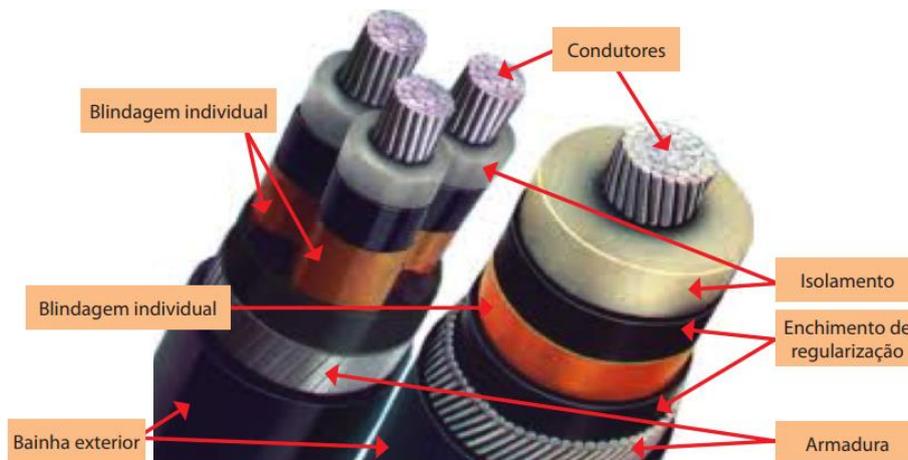


Figura 4. Cabos multipolar e monopolar de redes subterrâneas de MT [3]

2.3. Localização de defeitos em redes subterrâneas

2.3.1. Introdução

O progressivo desenvolvimento das redes subterrâneas em meios urbanos e a sua crescente importância justificam a necessidade de dispor de técnicas e meios simples e eficazes para localização de defeitos nessas redes. As vantagens destas redes são inúmeras sendo mesmo em alguns casos a única solução técnica de que é possível lançar mão [13].

Como principais vantagens podemos referir [13]:

- Insensibilidade praticamente total às condições climáticas e, em particular às intempéries;
- Atravancamento (dificultar o acesso a um local) bastante reduzido;
- Ausência de riscos eléctricos directos para os indivíduos.

A nível das desvantagens e, ignorando a questão económica, do ponto de vista da localização dos defeitos, devemos assinalar por um lado a sua invisibilidade e por outro o facto de a grande maioria dos defeitos ser do tipo permanente, sendo a estrutura do isolamento modificada de forma irreversível [13].

Os meios e técnicas de localização de um defeito em redes de cabos subterrâneos devem apresentar as seguintes características principais [13]:

- A **simplicidade**, que se justifica pela necessidade de poderem os meios em causa ser implementados por pessoal sem grande especialização ou seja, apenas com uma formação mínima adequada;
- A **rapidez**, que está ligada com a possibilidade de se efetuar uma reposição do serviço tão breve quanto possível, nomeadamente dos troços de rede que não foram diretamente afetados pelo defeito;
- A **precisão**, que pretende minimizar os custos da reparação a efetuar, em particular a parte referente a trabalhos de construção civil.

Devemos ainda lembrar a necessidade de preceder a aplicação de qualquer método de detecção de defeitos, de medidas de segurança básicas, de modo a assegurar que não existem riscos para os operadores. Em particular, deve ter-se em atenção o facto de a generalidade dos cabos das redes de baixa tensão serem do tipo multipolar, enquanto em redes de média, alta e muito alta tensão predominam os cabos unipolares [13].

2.4. Tipos e Natureza dos Principais Defeitos

2.4.1. Classificação dos Tipos de Defeitos

A origem e a natureza são critérios normalmente utilizados para classificar os diferentes defeitos encontrados nas redes subterrâneas [13].

Quanto à respectiva **origem** temos [13]:

- Defeitos externo e internos.
 - a) **Defeitos de origem externa** que se devem essencialmente a problemas de agressão mecânica, a uma progressiva penetração de humidade, devido à deterioração da bainha exterior do cabo, ou ainda a um defeito de montagem a nível de um acessório [13];

- b) **Defeitos de origem interna** que podem ter origem num defeito de fabrico do cabo (situação que tende a ser cada vez mais rara dado aos numerosos e rigorosos ensaios de qualificação a que o mesmo é submetido), num aquecimento local bastante forte (por exemplo, como consequência de uma elevada resistência térmica do terreno envolvente), no aparecimento de solicitações dielétricas importantes (sobretensões) ou no progressivo envelhecimento do dielétrico [13].

Quanto à respectiva **natureza** temos [13]:

- Defeitos não elétricos e elétricos.
- a) **Defeitos não eléctricos**, tais como fugas de óleo ou gás em cabos de constituição especial [13];
- b) **Defeitos eléctricos** que podem ser de isolamento (os mais frequentes), de continuidade e defeitos ditos intermitentes, do tipo explosor, os quais são característicos dos cabos de tensões elevadas[13].

A frequência de defeitos em redes de cabos subterrâneos é bastante baixa e tende progressivamente a ser menor. Para este facto muito contribuiu a introdução dos cabos de isolamento sintético, podendo afirmar-se que, na generalidade das redes de distribuição atuais, a taxa de avarias é não superior a um defeito por cada 100 km de ligação trifásica e por ano [13].

2.5. Caracterização dos Defeitos Eléctricos

2.5.1. Defeito de Isolamento

Trata-se do tipo de defeito mais frequente e que se pode caracterizar eletricamente através do esquema seguinte [13]:

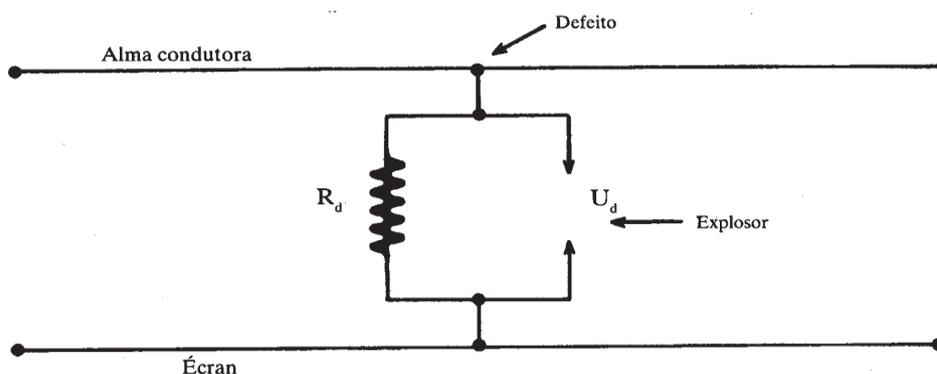


Figura 5. Defeito de isolamento [13]

Surge-nos assim o defeito representado por uma resistência shunt R_d colocada entre a alma condutora e o écran metálico (no caso de um defeito fase-terra) ou entre dois condutores (caso de um defeito fase-fase), em paralelo com um explosor de tensão de escorvamento U_d . A resistência R_d , é constituída por um trajeto ou (Ponte) de carbono, mais ou menos contínuo, e o seu valor pode situar-se numa larga gama desde alguns Ω até vários $M\Omega$ [13].

É habitual classificar o defeito de isolamento como sendo de baixa impedância sempre que $R_d \leq 5 \text{ k}\Omega$ e como de alta impedância sempre que $R_d > 5 \text{ k}\Omega$ [13].

Atualmente classifica-se como defeito de isolamento de baixa impedância se $R_d \leq 150\Omega$ e de alta impedância se $R_d > 150\Omega$ [Autoria própria].

A caracterização deste tipo de defeito é feita a partir da medição de R_d e do valor da tensão de escorvamento do explosor. O defeito diz-se franco se a tensão de escorvamento em corrente contínua é nula ou extremamente baixa [13].

2.5.2. Defeito de Continuidade

Este defeito corresponde à existência de um corte, num ou em vários condutores de fase, a que se encontra associado uma resistência de defeito (Shunt), mais ou menos elevada, em geral superior a $10 \text{ k}\Omega$ [13].

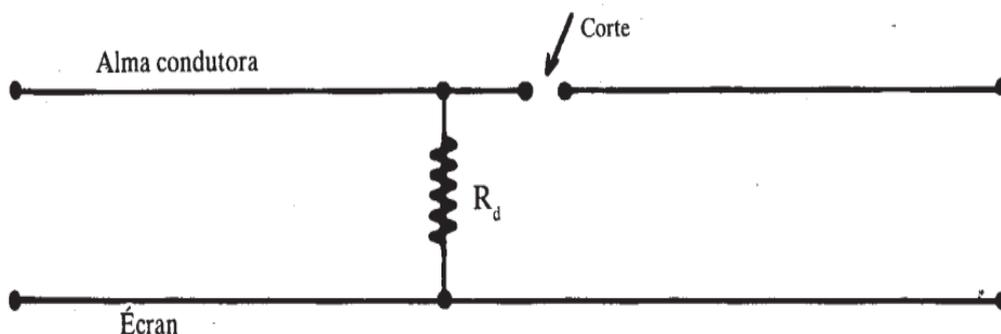


Figura 6. Defeito de continuidade [13].

2.5.3. Defeito Tipo Explosor

Trata-se de um defeito de isolamento em que a resistência R_d é muito elevada, mas que quando submetido a uma tensão progressivamente crescente se comporta como um explosor de tensão de escorvamento U_d . No escorvamento, toda a energia armazenada na capacidade do cabo vai descarregar-se no explosor. Se a fonte de tensão a que o cabo está ligado for suficientemente

potente, o cabo volta a carregar-se de novo e o processo repete-se: é o conhecido fenómeno de relaxação [13].

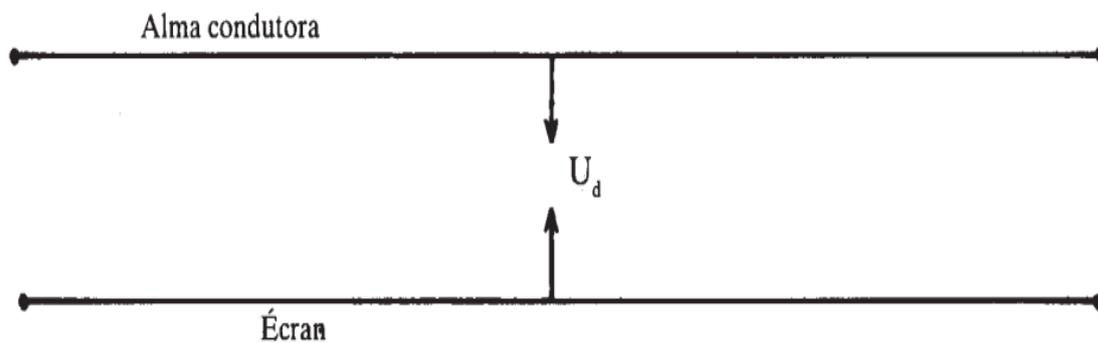


Figura 7. Defeito tipo explosor [13].

Tendo em conta os valores habituais dos parâmetros em jogo, o tempo de carga do cabo até à tensão U_d pode variar entre alguns décimos de segundo e alguns segundos, enquanto a descarga é mais rápida, ocorrendo em alguns milissegundos [13].

2.5.4. Técnicas de Localização de Defeitos Eléctricos

A grande diversidade de defeitos e suas características implica não só a necessidade de adopção de métodos de localização adequados como eventualmente a tentativa de modificação das características do defeito. É necessário reunir condições mínimas, ao nível de pessoal, de material e de plantas da rede, para ser atingido o objetivo com eficácia e rapidez. A competência do pessoal, adquirida com a prática, é obtida com o conhecimento dos diversos métodos, sendo por isso necessária uma especialização mínima. O equipamento terá custos iniciais, com a aquisição de alguns aparelhos, que serão rapidamente rentabilizados pela redução do tempo necessário à execução dos trabalhos e da extensão das valas a abrir [13].

As várias etapas que compreendem a localização de um defeito são ordenadas da seguinte maneira [13]:

- Manobras da aparelhagem de corte;
- Análise do defeito;
- Modificação eventual das características do defeito;
- Localização à distância e
- Localização no terreno.

2.5.5. Consignação do Cabo e Análise do Defeito

Será necessário efetuar as operações de consignação do cabo com defeito, antes que os trabalhos de localização se iniciem, a fim de garantir a segurança de pessoas e equipamentos. Estas operações consistem no isolamento da parte da rede com defeito (colocação dos aparelhos de corte na posição de abertura e desconexão das extremidades do cabo, com a finalidade de o separar eletricamente da rede), na verificação da ausência total de tensão no cabo e na ligação dos extremos à terra [13].

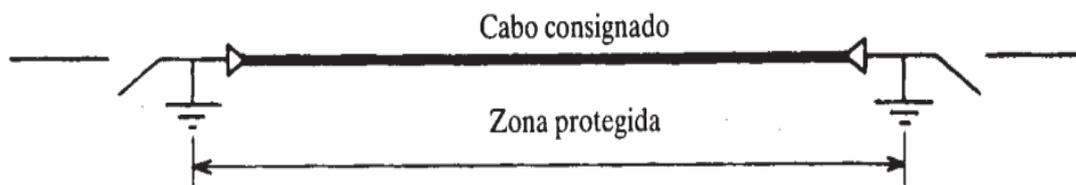


Figura 8. Análise de defeito [13]

Os métodos habitualmente utilizados para a determinação das características do defeito baseiam-se na medida de resistências de isolamento e de continuidade dos condutores, tendo sempre o máximo cuidado em evitar erros que poderiam falsear significativamente o diagnóstico de caracterização [13].

A medida da resistência de isolamento consiste na determinação da resistência aparente entre o condutor e o écran ligado à terra ou entre dois condutores, utilizando para o efeito uma tensão contínua cujo valor pode oscilar entre alguns volts e alguns quilovolts, em função do valor dessa resistência aparente [13].

Para a generalidade dos cabos, um ohmímetro de três escalas é suficiente. Assim, para as **medidas de continuidade** é aconselhável uma escala de 0,1 a 100 k Ω sendo a fonte de tensão contínua da ordem do volt. **No caso de defeito de isolamento**, já se torna necessário recorrer a uma escala na gama do k Ω , nomeadamente entre 0,1 e 100 k Ω , sendo a fonte de tensão contínua da ordem de alguns volt. Finalmente, para as **medidas de continuidade** torna-se necessário dispor de uma escala na gama dos M Ω , nomeadamente de 0,1 a 100 M Ω , e a fonte de tensão contínua deve possuir uma amplitude no mínimo igual a 500 V, podendo ir até cerca de 5 000 V [13].

No caso dos defeitos de continuidade pode ser útil o recurso a **medidas de capacidade**, as quais são aplicáveis sempre que o valor de R_d seja elevado (superior a 10 k Ω). Para estas medidas utiliza-se uma clássica ponte de Sauty, a qual pode ser dotada de compensação série (ponte de Wien) para valores de R_d superiores a 1 M Ω ou de compensação paralela (ponte de Nerst) para valores de R_d a partir de 10 k Ω [13].

2.5.6. Modificação das Características do Defeito

Como se referiu, trata-se de uma operação que nem sempre é necessária. O seu objetivo é proporcionar uma maior facilidade nas medições a efetuar permitindo a utilização de certos métodos de localização que de outro modo não seriam aplicáveis [1].

Esta operação pode revestir essencialmente duas formas [13]:

- Queima do defeito;
- Aumento da resistência de isolamento (re-isolamento).

No caso da queima do defeito pretende-se essencialmente uma redução do valor da resistência R_d do defeito de isolamento pela criação de uma ponte consistente de carbono ou ainda, no caso de um defeito do tipo explosor, tentar obter a partir dele um defeito de isolamento[13].

A operação de queima pode ser realizada em corrente contínua ou corrente alternada, tratando-se em geral de uma operação longa e cujo sucesso nem sempre está à partida assegurado, sobretudo no caso de cabos de isolamento sintético [13].

Quando é realizada em corrente alternada, utiliza-se para o efeito um transformador com indutância de fugas variável, de modo a estabelecer um circuito ressonante com a capacidade do cabo. A corrente máxima é assim obtida na situação de ressonância [13].

É importante a realização de um controlo apertado da tensão na ressonância de modo a garantir que não se ultrapassem os valores máximos previstos pelo isolamento do cabo. Por outro lado, como o valor da potência fornecida na ressonância é elevado, importa efetuar verificações periódicas do valor da

resistência do defeito, interrompendo a operação logo que o referido valor se apresenta abaixo do nível desejado [13].

A operação de queima em corrente contínua tem lugar com o auxílio de um gerador de alta tensão contínua, limitada a cerca de três vezes o valor da tensão de serviço fase-terra U_0 do cabo em ensaio e com a potência da ordem dos 10 kW. Para que a queima não se efetue sob uma intensidade de corrente muito elevada, pode ser necessário incluir uma resistência série de limitação [13].

No que se refere à segunda operação, de aumento da resistência de isolamento de defeito ou re-isolamento do defeito, a sua realização apenas se pode concretizar na hipótese de defeitos que se apresentam já fortemente impedantes (vários k Ω). Consiste na injeção de uma ou mais ondas de choque entre a alma condutora e o écran tendo o cuidado de não ultrapassar uma amplitude de 3 U_0 ou, excepcionalmente, em cabos novos de 4 U_0 [13].

Quando o serviço de fornecimento de energia elétrica é interrompido em resultado da ocorrência de uma avaria a concessionária EDM envia uma equipa ao terreno para localizar e resolverem a avaria. Ao detectar a avaria, a equipa chamada deveria, obrigatoriamente, indicar [Autoria própria]:

- Número de identificação de avaria;
- Ativo da rede afetado;
- Nível de tensão afetado;
- Causa que está na origem do defeito;
- Data da avaria;
- Raiz de circuito ao qual o troço afetado está integrado;
- Observações técnicas suplementares;

Existindo outros campos de preenchimento informativo das avarias, tais como:

- Identificação da linha afetada;
- Idade do componente avariado;

Tabela 1. Ficha de avarias [Autoria própria]

FICHA DE AVARIAS EM CABOS SUBTERRÂNEO								
Circuito	Número de identificação	Activo afectado	Nível de tensão	Causa do defeito	Linha afetada	Data da avaria	Idade do circuito	Número de caixas
SE4-PTP30	05	Cabo O	11 kV	Sobrecarga	GL12	21/03/23	65 anos	4

2.5.7. Causas das avarias

Na averiguação de um incidente, a equipa enviada ao terreno tem como funções a localização e reparação do elemento avariado, no mais curto espaço de tempo, para que se proceda a reposição do serviço. Por norma, a mesma equipa deve analisar a avaria e identificar a causa raiz da mesma. Mas, não tendo meios tecnológicos disponíveis para uma cuidada análise, a mesma equipa identifica a causa raiz, e tentam interpretá-la. Dada a experiência dos trabalhadores, estes conseguem observar alguns pormenores característicos e promotores das causas raiz, como [9]:

- Água/Humidade;
- Defeito de montagem/instalação de caixa de junção.

2.5.8. Idade do circuito

A rede de distribuição de Média Tensão, concessionada pela EDM, possui cabos subterrâneos, em exploração, de variadas idades. O tempo de vida útil de um cabo seco é de 30-40 anos e o de um cabo óleo é de mais de 40 anos. No entanto, denota-se que na rede ainda se encontram cabos a serem explorados, com idades superiores ao que lhes é estipulado [EDM].

Normalmente, quando se dá uma avaria no cabo, a empresa concessionária ordena a extração da parte afetada e a instalação de uma caixa de junção para dar continuidade à exploração. Por vezes, a substituição da totalidade do troço é imposta, caso se conclua que por custo/benefício a colocação de um novo troço e extração do antigo seja benéfica. Para se analisar a melhor solução, é necessário verificar se o circuito existente apresenta alguns sinais preocupantes, como, por exemplo, a degradação do cabo em várias partes do seu percurso, sinónimo de futuras avarias e cortes de serviço [9].

Mas, para isto, seria necessário abrir valas e analisar várias porções de cabo, o que é impensável. Por isso, é analisado o histórico do troço (número de avarias tidas até ao momento) e, são analisados os relatórios disponíveis do troço. Após análise e caso a relação custo/benefício seja negativa, o troço permanece inalterado, apenas lhe sendo acrescentada uma caixa de junção [9].

2.5.9. Efeito do tráfego

Em zonas urbanizadas, os cabos de Média Tensão utilizados na rede subterrânea devem possuir armadura metálica na sua constituição, a fim de que haja uma proteção mecânica capaz de suportar os abatimentos de terra, o contato com corpos duros e o choque com ferramentas naturais. Os cabos instalados ao longo de vias públicas, mais particularmente em passeios, são colocados em valas e envolvidos em areia adequada, ou em terra fina [9].

No caso de travessias de autoestradas e de estradas municipais e nacionais, os cabos devem ser enfiados em tubos ou em condutas, para conceder uma proteção mecânica suplementar e uma maior facilidade de remoção do cabo em caso de uma futura avaria localizada sob a estrada. Assim, percebe-se que os cabos instalados nos passeios possuem meios de proteção bastante simples [9].

Os edifícios industriais, comerciais ou habitacionais estão conexos às estradas através de passeios, e como referido, os cabos que são instalados em valas sob os passeios não possuem proteção suplementar. Por isso, os cabos que se encontram nessas condições estão sujeitos a compressão (um abatimento de terra) que pode provocar um contacto com corpos duros, resultando na gradual deformação e, mais tarde, uma perfuração do isolamento. Um outro facto considerado e que pode levar à degradação do componente tratado através da

diminuição da rigidez dielétrica são as vibrações resultantes dos movimentos dos carros nas estradas [9].

Quando as linhas subterrâneas são instaladas juntas às estradas, deveria de ser necessário ter em especial atenção às vibrações provocadas pelo tráfego de veículos, o que, pelas normas, não é tido em consideração aquando da escolha do cabo e as vibrações resultantes do tráfego provocam efeitos graduais negativos ao isolamento [Autoria própria].

2.5.10. Impacto da presença de condutas subterrâneas de abastecimento de água

Nos aglomerados populacionais, como é normal, coexistem cabos elétricos enterrados e condutas de abastecimento de água, em certos percursos. Ora, as condutas de água são suscetíveis a pequenas fendas na sua estrutura, permitindo o vazamento de água e o alagamento da zona envolvente. A água vazada entra em contacto com o cabo, de forma permanente, e se a situação persistir, irá desenvolver-se o fenómeno *water treeing* no isolamento do cabo, e posterior avaria. As vibrações provenientes das condutas existentes nos meios urbanos, devido ao excesso de fluxo de água transmitido, levam a efeitos de compressão do isolamento do cabo elétrico, tal como referenciado na secção anterior, e a uma menor tensão de ruptura do dielétrico [9].

2.5.11. Efeito da humidade dos solos

A infiltração da água nos solos depende das características destes, tais como a textura e a estrutura, o nível de concentração de água existente, a temperatura do solo e dos períodos de chuva e suas intensidades. No que toca à infiltração da água nos solos, não é conveniente, nem correto, definir-se um valor único para se caracterizar este parâmetro para todo país. Num dado local, a taxa de infiltração de água no solo pode sofrer alterações devido a fatores externos, como a intensidade da precipitação, visto que os fatores inerentes ao solo não se alteram. Todavia, essas alterações não são constantes e dependem do tempo e da velocidade com que a água se propaga, ou seja, da condutividade hidráulica [9].

2.5.12. Impacto das técnicas de dimensionamento

Nos dias de hoje, a rede elétrica Moçambicana possui cabos subterrâneos em exploração que datam desde a primeira metade do século XX. Naquela altura, o dimensionamento realizado para a instalação de um cabo era pouco elaborado e continha poucas variáveis. Por isso, a corrente máxima admissível para os cabos, não sofria grandes alterações em relação ao que era estipulado pela empresa fabricante, para as condições ideais [Autoria Própria].

Mas, a evolução da tecnologia criou novos pensamentos e novos estudos em diversas áreas, uma das quais, no dimensionamento de cabos isolados em meios subterrâneos [9].

Para a elaboração de um correto dimensionamento de um cabo é necessário ter em conta as diversas condicionantes envolventes, como [9]:

- Profundidade de enterramento;
- Resistividade térmica do solo;
- Afastamento entre cabos;
- Temperatura ambiente;
- Entubamento de cabos;
- Distância entre 2 circuitos diferentes

Estas condicionantes conduzem à existência de influências térmicas, o que leva à alteração das características técnicas do cabo em comparação ao que seria esperado para as condições ideais. Para se contabilizar esses efeitos, é necessário aplicar fatores de correção para se efetuar o cálculo correto da corrente máxima admissível da linha escolhida [9].

Na análise de estudos publicados, como é o caso da dissertação *Cabos Eléctricos de Alta Tensão - Optimização das Técnicas de Instalação para Redução das Perdas*, percebe-se a aplicação e o impacto que cada condição possui sobre o correto dimensionamento de cabos [9].

Ainda na mesma lógica, concluiu-se através de informações obtidas na publicação *Underground electric cables a correct evaluation of the soil thermal resistance*, que a condicionante resistência térmica pode possuir fatores

penalizadores próprios, levando à variação do fator de correção aplicado para a resistividade térmica do solo no dimensionamento de um cabo [9].

Segundo o último estudo, onde se promove a aplicação do *Método dos Elementos Finitos*, as dimensões da vala escavada e a distância entre cabos levam à alteração do valor da resistência térmica estipulada. Perante estas condicionantes, vê-se como é importante realizar uma correta estimativa da resistência térmica do solo. Assim evitam-se possíveis sobreaquecimentos, causados pelo efeito de Joule, que podem levar ao decaimento drástico do tempo de serviço do isolante dos cabos [9].

2.5.13. Influência do número de caixas num circuito

As caixas de junção são utilizadas com a finalidade de se criar uma ligação entre dois cabos eletricamente separados. As mesmas são instaladas a baixo da superfície do solo, ao nível dos cabos que se encontram nas suas extremidades. Porém, tal como os cabos, as condições de utilização dependem de diversos fatores existentes na zona envolvente ao cabo e de fenómenos de cariz elétrico [9]

As caixas de junção podem ser instaladas como estratégia de ligação entre dois cabos, quando no momento de instalação houver a necessidade de ser criada uma caixa, por motivos de escassez de cabo para o percurso todo, ou, o mais vulgar, para a ligação física de um troço após sofrer uma avaria [9].

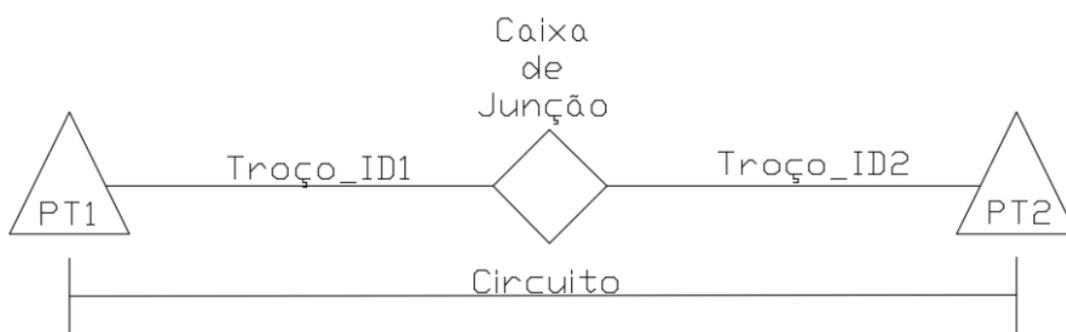


Figura 9. Ilustração de um troço de um circuito subterrâneo [9]

2.5.14. Impacto das causas “não naturais”

Algumas das principais causas que dão origem aos defeitos são fenómenos “não naturais”, ou seja, situações motivadas, por exemplo, por defeito de fabrico do cabo ou pelo corte involuntário do cabo pela mão humana. De modo a

caracterizar as causas “não naturais”, existem dois modos de classificação: Ações externas “involuntárias” e Defeito de montagem/instalação. O fenômeno Ações externas “involuntárias” ocorre essencialmente por interferência do Homem. Trabalhos relacionados com a construção civil, onde se usam materiais e equipamentos de grande impacto, que podem originar que os cabos ou caixas de junção sofram danos. A picagem ou corte do cabo são alguns dos danos relacionados. Na ocorrência deste fenômeno de interferência humana, o serviço elétrico é prontamente interrompido, pois o acontecimento provoca um dano severo no isolamento do componente [9].

O que toca a Defeito de montagem/instalação, ele refere-se à causa onde se identificou algum sinal de defeito relacionado com a construção ou instalação de um cabo ou caixa. Um defeito de origem encontrado no cabo (como um encurtamento da camada isolante), má instalação de uma caixa (excesso de calor durante a formação, resíduos dentro da caixa, etc) e a falta de cuidado na colocação do cabo na vala e conseqüente deformação do cabo (desaplicação de roldanas em zonas curvas) são caracterizados como *Defeito de montagem/instalação* [9].

3. Capítulo III: Análise das técnicas de detecção de avarias

3.1. Introdução

Atualmente a detecção de falhas em cabos subterrâneos é uma questão já superada em termos do alcance de seus objetivos, o que não exige maiores esforços através do uso de técnicas e procedimentos adequados, todavia, há necessidade da aplicação de forma eficiente os diferentes métodos, para conseguir uma detecção profissional, em menos tempo [Autoria Própria].

Além da necessidade de detecção de falhas, atualmente a tendência mundial baseia-se também na antecipação da fase da ocorrência da falha, através da aplicação de técnicas de diagnóstico baseadas na medição de descargas parciais e testes em baixa frequência (VLF) [6].

A localização de defeitos em cabos é um processo com etapas, analisa-se as etapas individuais de tal modo que os defeitos em cabos possam ser localizados

com rapidez e segurança, por isso, a localização de defeitos em cabos precisa ser feita por pessoas treinadas, que por sua vez precisam de um equipamento confiável e flexível com o qual se possa aplicar todos os métodos necessários de localização [9].

E os passos são [Autoria Própria]:

1. Consignação (Manobras da aparelhagem de corte);
2. Análise do defeito;
3. Pré-Localização (Localização à distância) e
4. Pós-Localização (Localização no terreno).

3.2. Passos de processo e métodos da localização de defeito de cabo



Figura 10. Fluxograma dos passos para detecção de avarias [Autoria Própria]

3.2.1. Análise de defeito

Análise do defeito serve para a constatação da característica do defeito e na localização do defeito, aonde determina a continuidade dos procedimentos e a escolha dos métodos e também das tensões, realizando a medição de resistência do isolamento para determinar a fase defeituosa e o tipo de defeito, teste de tensão e detecção da ruptura dielétrica para o teste da resistência à tensão do isolamento do cabo e teste de revestimento de cabos para a determinação de danos externos do cabo (defeitos do revestimento do cabo) [10].

3.2.2. Pré-localização

Após a mensagem de defeito, da identificação da linha de cabo atingida e de sua liberação, faz-se primeiro um exame do defeito. Para tal, detecta-se o tipo do cabo, o comprimento do cabo e a estrutura de rede, bem como as causas possíveis e visíveis de falha (por exemplo: obras de construção). As medições iniciais servem para determinar as resistências do isolamento de todas as fases do cabo. Com base nessas medições, define-se o tipo de defeito (de baixa ou alta impedância), identifica-se a fase defeituosa e decide-se o método de pré-localização que deve ser usado[10].

3.2.3. Pós-localização

A pós-localização detecta a posição exata do defeito na área em questão identificada na pré-localização, muitas vezes, os dados e esquemas de alinhamento de cabos disponíveis em formato digital não são suficientes para detectar o percurso exato de um cabo, para auxiliar nessa tarefa existem processos de audiofrequência que operam por via magnética e determinam a posição e profundidade do cabo. Na pós-localização acústica ou localização de defeitos por via sonora, usa-se as diferenças de duração entre sinais eletromagnéticos e acústicos a fim de localizar defeitos de alta impedância e intermitentes, são integrados em um receptor filtros e processos de medição de duração de livre escolha, dessa forma, o usuário é conduzido diretamente ao local do defeito mesmo com condições de solo desfavoráveis ou em ambiente ruidoso [10].

3.2.4. Identificação dos cabos ou seleção dos cabos

Na maioria das vezes, os cabos são unidos em um feixe, após a detecção da posição exata do defeito e sua liberação, o cabo defeituoso deve ser identificado de modo confiável. Alguns reflectómetro de pulso ou ecómetro IRG tem um dispositivo de fácil manuseio e transporte para localização de defeitos em cabos monofásicos, ele é empregado em conjunto com um gerador de tensão de surto em cabos de baixa, média e alta tensão com comprimento de 0-65 km, também é possível usá-lo em cabos condutores de tensão de até 400V. O dispositivo é controlado com especial facilidade graças ao menu intuitivo e à operação, outros métodos também podem ser empregados através da combinação com outros módulos e sistemas [10].

Entre os diversos métodos de localização à distância encontramos dois grandes grupos, a saber [Autoria própria]:

- Métodos de ponte (ou de anel);
- Métodos ecométricos.

3.3. Método de Ponte

De um modo geral estes métodos têm como base o princípio da ponte de Wheatstone (para defeitos de isolamento) ou da ponte de Sauty (para defeitos de continuidade). As figuras 12 e 13 apresentam o princípio de funcionamento da ponte de Wheatstone, assim como, o esquema eléctrico da sua aplicação a um defeito de isolamento, montagem conhecida com a designação de anel de Muray [13].

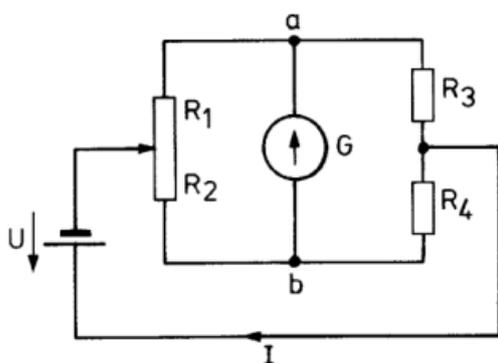


Figura 11. Ponte de Wheatstone [BAUR]

Quando $I_G = 0$:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 \quad Eq. (01)$$

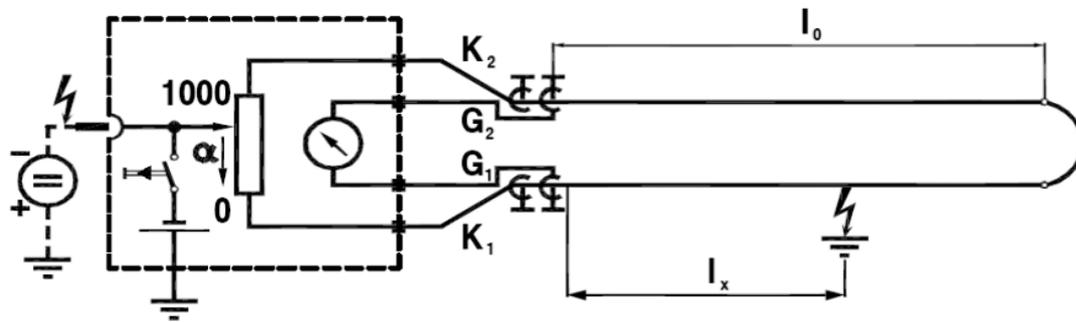


Figura 12. Implementação prática do anel de Murray [BAUR]

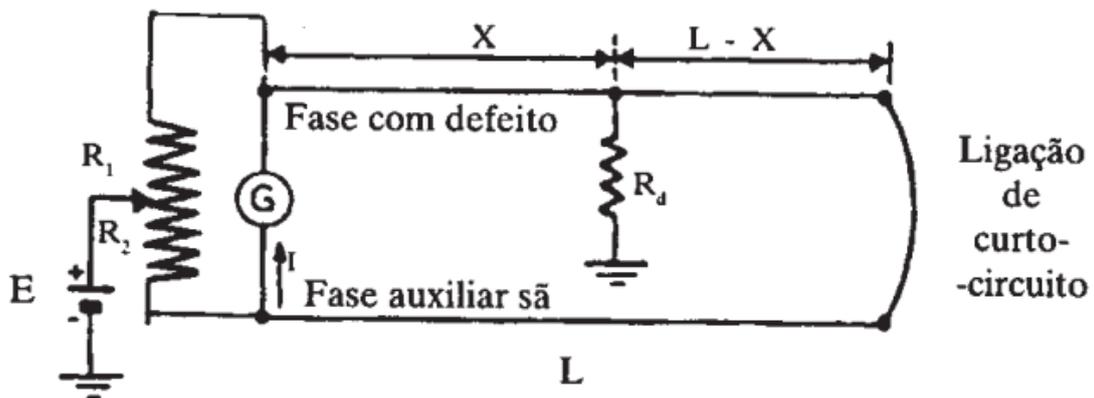


Figura 13. Circuito do Anel de Murray [13]

Em que:

$$R_4 = \alpha * L_D \quad Eq. (02)$$

$$R_3 = \alpha * (2L - L_D) \quad Eq. (03)$$

Em Equilíbrio, as equações (02) e (03) em (01):

$$R_1 * R_3 = R_2 * R_4$$

$$R_1 * [\alpha * (2L - L_D)] = R_2 * \alpha * L_D$$

$$R_1 * \alpha * 2L - R_1 * \alpha * L_D = R_2 * \alpha * L_D$$

$$R_1 * \alpha * 2L = R_1 * \alpha * L_D + R_2 * \alpha * L_D$$

$$R_1 * \alpha * 2L = \alpha * L_D * (R_1 + R_2)$$

$$\frac{R_1 * \alpha * 2L}{\alpha * (R_1 + R_2)} = L_D$$

$$L_D = 2L \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad Eq. (04)$$

Onde:

- α – constante, que depende da escala do aparelho
- L - comprimento total do cabo
- L_D - comprimento até ao defeito

$$L_D = 2 * (500 \text{ m}) * \left[\frac{20000 \Omega}{20000 \Omega + 30000 \Omega} \right]$$

$$L_D = 400 \text{ m}$$

A distância até ao defeito de isolamento é de 400 metros, o equipamento mostra no seu display este valor de comprimento, contudo não é exato, é um valor aproximado, considera-se um erro de 0,1 a 5 % [Autoria própria].

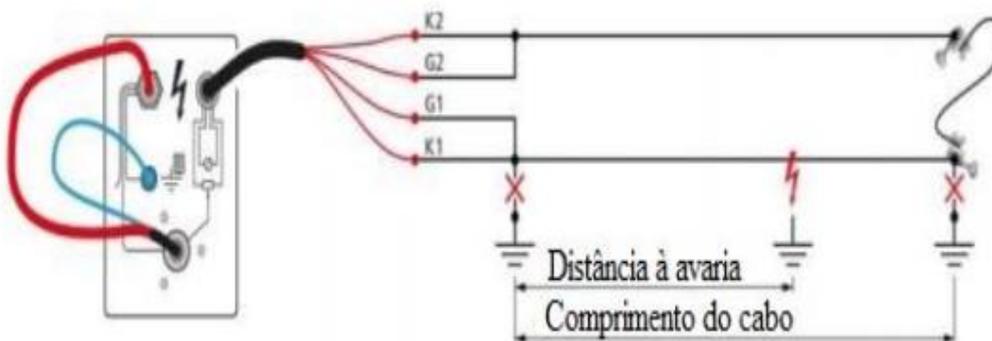


Figura 14. Esquema de ligação do Shirla [BAUR]



Figura 15. Equipamento de localização de avarias baseado na ponte de Wheatstone [BAUR]

Como observações fundamentais ao método convém referir [13]: A resistência de defeito R_d não intervém diretamente na precisão da medida, mas condiciona obviamente a respectiva sensibilidade, a qual é função do valor das correntes I_1 e I_2 no anel;

Ligado com o ponto anterior está o valor da fonte de tensão contínua de alimentação E . Como indicações gerais podemos referir que, se R_d for da ordem do $k\Omega$ ou inferior, basta utilizar uma fonte da ordem da dezena de volt. Para valores de R_d entre $1 k\Omega$ e algumas dezenas de $k\Omega$, E terá necessidade de atingir algumas centenas de volt, entre 500 V a 1000 V. Para valores elevados de R_d (algumas dezenas de $k\Omega$) impõe-se uma operação prévia de queima do defeito;

O método é ainda aplicável na hipótese de secções diferentes ou condutores de natureza diferente, através de uma conveniente correcção dos comprimentos em função da razão das secções e da razão das resistividades, operação que não apresenta qualquer dificuldade especial;

A presença de derivações obriga à utilização de uma técnica de aproximações sucessivas que vai permitindo o levantamento das várias indeterminações que se apresentam;

Embora basicamente o princípio seja o mesmo, existem diversas montagens utilizáveis de acordo com a especificidade do defeito. Com essa finalidade são referidas na literatura especializada as montagens de Murray, Murray-Fisher, Hilhorn e Werren, entre outras.

No que se refere à ponte de Sauty, a figura 17 apresenta o princípio de funcionamento assim como a aplicação da ponte a um defeito de continuidade [12].

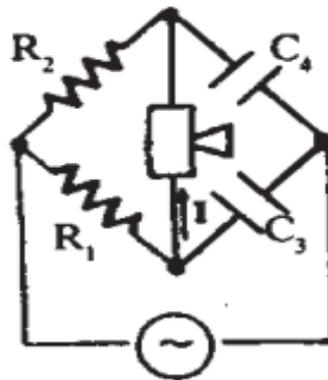


Figura 16. Ponte de Sauty [13]

$$500\text{Hz} < f < 1000\text{Hz}$$

Quando $I = 0$:

$$\bar{Z}_1 * \bar{Z}_4 = \bar{Z}_2 * \bar{Z}_3 \quad \text{Eq. (05)}$$

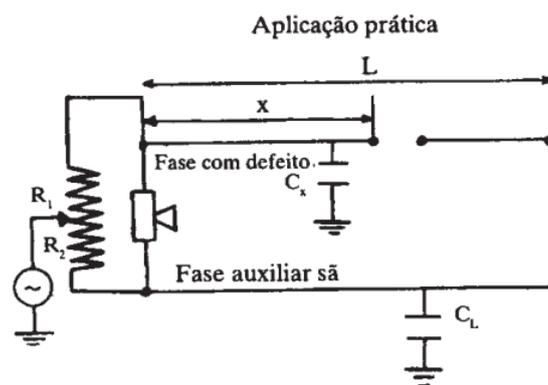


Figura 17. Aplicação prática da ponte de Sauty [13]

$$\bar{Z}_1 = R_1 \quad \text{Eq. (06)}$$

$$\bar{Z}_2 = R_2 \quad Eq. (07)$$

$$\bar{Z}_3 = j(\alpha * L_D) \quad Eq. (08)$$

$$\bar{Z}_4 = j(\alpha * L) \quad Eq. (09)$$

Em equilíbrio:

$$\bar{Z}_1 * \bar{Z}_4 = \bar{Z}_2 * \bar{Z}_3$$

$$R_1 * j(\alpha * L) = R_2 * j(\alpha * L_D)$$

$$\frac{R_1 * j(\alpha * L)}{j(R_2 * \alpha)} = L_D$$

$$L_D = L * \frac{R_1}{R_2} \quad Eq. (10)$$

$$L_D = (500 \text{ m}) * \left[\frac{20\,000 \, \Omega}{30\,000 \, \Omega} \right]$$

$$L_D = 333,33 \text{ m}$$

A distância até ao defeito de continuidade é 333,33 m.

Como observações principais ao método, importa referir as seguintes [13]:

As capacidades do cabo Cx e CL não são perfeitas, isto é, apresentam perdas não nulas e, por outro lado, como o defeito pode estar mais ou menos isolado, o equilíbrio perfeito é inatingível. No sentido de ultrapassar parcialmente essa dificuldade podem usar-se duas variantes da ponte de Sauty designadas respectivamente por ponte de Wien e por ponte de Nernst (Figura 19 e Figura 20 respectivamente);

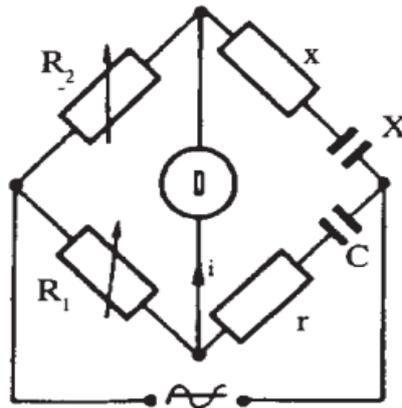


Figura 18. Ponte de Wein [13]

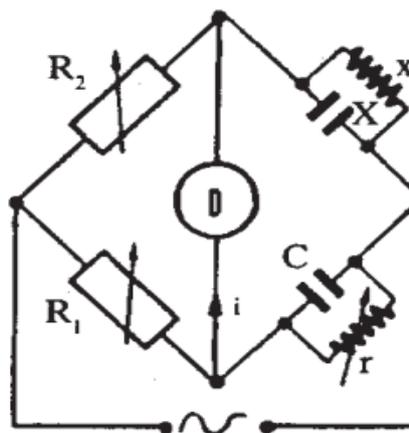


Figura 19. Ponte de Nernst [13]

A ponte de Wien é dotada de uma resistência de compensação série sendo aplicável para cortes de condutor bem isolados (R_d superior a $k\Omega$). A ponte de Nernst apresenta uma resistência de compensação colocada em paralelo com as capacidades e é aplicável para cortes do condutor com isolamento menor (R_d não inferior a $10\text{ k}\Omega$) [12];

De qualquer modo para se conseguir uma mais perfeita percepção do estado de equilíbrio é aconselhável o recurso a um detector do tipo visual e não do tipo acústico tradicionalmente utilizado [12];

A dificuldade resultante da eventual inexistência de uma fase sã no cabo é ultrapassável através da realização de medições nas duas extremidades do cabo se R_d for aproximadamente igual a R'_d ou então através do conhecimento prévio da capacidade linear do cabo e recorrendo a uma capacidade padrão externa; A

fonte alternada de frequência musical que alimenta a ponte deve apresentar uma onda sinusoidal tão pura quanto possível [12];

Nos cabos de campo não radial, situação habitual dos cabos de baixa tensão, é necessário levar em linha de conta a influência das capacidades parciais na medição efetuada o que leva em geral a uma perda de precisão [12];

Em qualquer situação a ponte utilizada deve ser insensível aos 50 Hz da frequência industrial [12].

A finalizar esta referência aos métodos de ponte apresenta-se as seguintes conclusões [Autoria própria]:

Foram os primeiros métodos utilizados neste domínio e os serviços prestados ao longo de algumas décadas extremamente relevantes [Autoria própria];

Na época actual os métodos de ponte podem considerar-se largamente suplantados pelos chamados métodos ecométricos, principalmente por três tipos de razões [Autoria própria]:

- Apresentam um espectro de utilização relativamente limitado, os tempos de intervenção correspondentes são em geral bastante longos, para se conseguir uma boa precisão as precauções exigidas são bastantes numerosas o que implica o recurso a verdadeiros especialistas;
- Convém, no entanto, não esquecer que o seu custo em termos de equipamento é incomparavelmente mais baixo e que estes métodos podem ainda constituir um elemento de ajuda importante.

3.3.1. Perdas não técnicas de energia

Em perdas não técnicas refere-se na quantidade de energia que deixa de ser investida durante o tempo de reparação de uma avaria em unidades monetárias [Autoria Própria].

$$P_M = 5\,400 \text{ kW}$$

$$t_{MRA} = 8 \text{ h}$$

$$\epsilon_M = P_M * t_{MRA} \text{ Eq. (11)}$$

$$\epsilon_M = (5\,400\text{ kW}) * (8h)$$

$$\epsilon_M = 43\,200\text{ kWh}$$

$$1\text{ kWh} \text{-----} 8,03\text{ MT}$$

$$43\,200\text{ kWh} \text{-----} QMP$$

$$QMP = \frac{(43\,200\text{ kWh}) * (8,03\text{ MT})}{1\text{ kWh}}$$

$$QMP = 346.896,00\text{ MT}$$

Onde:

P_M – Potência média demanda em [kW]

t_{MRA} – Tempo médio de resolução da avaria em [h]

ϵ_M – Energia média em [kWh]

QMP – Quantidade monetária média perdida em [MT]

Tabela 2. Classificação do método de ponte de Wheatstone [Autoria própria]

Método	Dispositivo	Precisão (%)	Velocidade	Eficácia	Eficiência
Ponte W	Shirla	0,1 a 5	Baixa	Baixa	Baixa

Tabela 3. Análise de Custos [Autoria própria]

Dispositivo	Custo do dispositivo [MT]	Custos na implementação/Avaria [MT]
Shirla	1.436.883,10	346.896,00

3.4. Métodos Ecométricos

Tratam-se de métodos baseados na análise da resposta de um cabo ou de uma parte de uma rede de cabos a um impulso ou a uma onda eletromagnética de alta frequência [12].

Para uma correcta aplicação destes métodos torna-se indispensável o conhecimento de noções básicas sobre a teoria da propagação de ondas móveis em circuitos de constantes repartidas, designadamente o comportamento dessas ondas em face das diversas discontinuidades de impedância característica presentes na rede (junção, derivação, extremidade aberta, extremidade em curto circuito, etc.) [12].

3.4.1. Ecometria em Baixa Tensão

O princípio de aplicação destes métodos exige a ligação ao cabo de um gerador de impulsos (ecómetro), sendo o registo efetuado por meio de um osciloscópio [12].

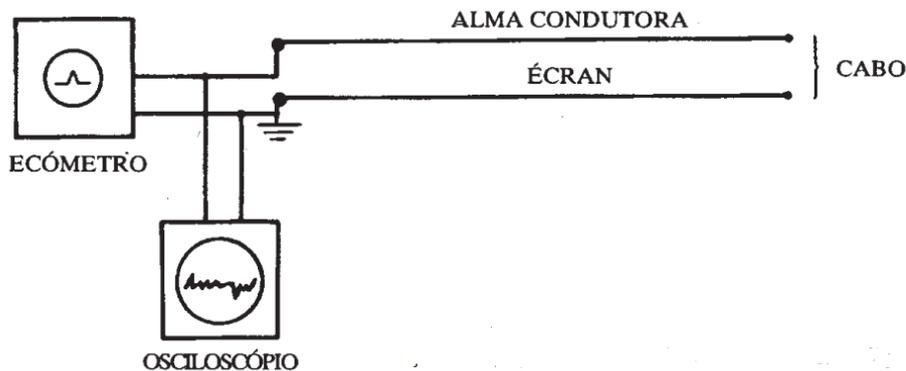


Figura 20. Ilustração da conexão do ecómetro e o osciloscópio [13]

Para uma conveniente visualização do oscilograma, a frequência de emissão dos impulsos deve ser suficientemente elevada, mas não superior à frequência que corresponde ao tempo de ida e volta do impulso no cabo, de modo a não haver sobreposição de dois impulsos, convenientemente desfasados [2].

O valor do comprimento l_x pretendido pode ser obtido pela expressão seguinte [2]:

$$2 * l_D = v * t_x$$

$$l_D = \frac{1}{2} * v * t_x \quad Eq. (12)$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad Eq. (13)$$

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Onde:

t_x – corresponde ao tempo de ida e volta da onda no cabo e que pode ser obtido a partir dos oscilogramas registados, em microssegundos;

v – é a velocidade de propagação da onda no cabo, em metros por microssegundos;

c – é a velocidade de propagação da luz no vácuo, em metros por microssegundos;

ϵ_r – é a permissividade do dielétrico do cabo;

l_D – é a distância até ao defeito, em metros;

r – é o fator de reflexão;

Z_1 – é a impedância antes do ponto de defeito;

Z_2 – é a impedância depois do ponto de defeito.

Alguns dos oscilogramas típicos são apresentados a seguir [12]:

1. Este Ecograma refere-se a um defeito de continuidade em que R_d é de valor superior ao de Z_c (impedância característica). O fator de reflexão é positivo [12];

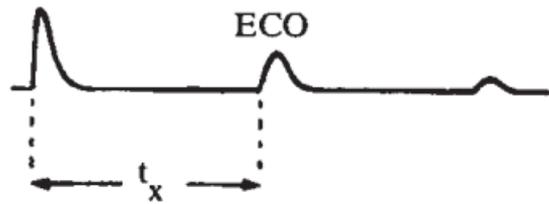


Figura 21. Ecograma típico de um defeito de continuidade [13]

$$r > 0$$

2. Neste caso o defeito é de isolamento, sendo o factor de reflexão negativo [12];



Figura 22. Ecograma típico de um defeito de isolamento [13]

$$r < 0$$

3. Finalmente temos o Ecograma obtido com uma caixa de união, sem haver mudança nas características do cabo [13].



Figura 23. Ecograma típico em uma caixa de junção [13]

No que se refere à medição dos tempos t_x , habitualmente utiliza-se a base de tempo do osciloscópio eventualmente com recurso a um defasador [13].

3.4.2. Ecometria em Alta Tensão

Os métodos Ecométricos de alta tensão são os que se adaptam às situações em que o defeito apresenta uma elevada impedância ou é do tipo explosor [12].

Classicamente eram utilizados dois métodos [12]:

O **método da onda de choque** utilizado quando estamos perante um caso de defeito cujo escorvamento só tem lugar a uma tensão bastante elevada (entre alguns kV e algumas dezenas de kV) [12].

Da equação (12) sendo no entanto necessário corrigir o tempo t_x , subtraindo-lhe o atraso Δt relativo ao escorvamento da onda de choque no local do defeito [12].

O **método das oscilações de relaxação (alta tensão contínua)** assenta no princípio de que um cabo previamente carregado e colocado em curto-circuito, entra em oscilação de um quarto de onda. O sistema de ondas de relaxação é registado no écran do ecómetro, sendo o período T correspondente a um percurso de quatro vezes o local do defeito e a extremidade de medida [12].

Modernamente outros métodos foram surgindo no domínio da ecometria de alta tensão, no sentido de ultrapassar as dificuldades registadas com os dois métodos anteriores. Dentre esses métodos é de referir a ecometria utilizando a reflexão dos impulsos sobre o arco de queima do defeito (método idêntico ao já referido para a baixa tensão) e a ecometria em impulsos de corrente. Dada a importância adquirida nos últimos anos por estes últimos métodos, justifica-se o seu tratamento com algum detalhe [12].

3.4.3. Ecometria utilizando Impulsos de Corrente

Os métodos ecométricos de alta tensão apresentam vários inconvenientes e limitações, tais como [6]:

- Falta de clareza dos ecogramas, em parte resultante da necessidade de utilizar um divisor capacitivo para detecção e registo de fenómenos;
- Dificuldades na medida do tempo t_x devido ao atraso no escorvamento da onda de choque no local do defeito;
- Domínio relativamente restrito de aplicação, nomeadamente redes sem derivações.

3.4.4. Reflectometria Convencional

O Refletómetro no Domínio do Tempo, muitas vezes chamado de TDR, ecómetro ou simplesmente Refletómetro, foi desenvolvido há mais de 25 anos, como uma técnica para localizar falhas em linhas Telefone Só nos últimos anos passou a ser utilizado também em cabos de força, mas com a desvantagem de não ser capaz de mostrar alta resistência, falhas do tipo shunt maiores que

aproximadamente 200 ohms. E as falhas do cabo de alimentação do mundo real são geralmente muito maiores do que esse valor, limitando a utilidade dos TDRs [6].

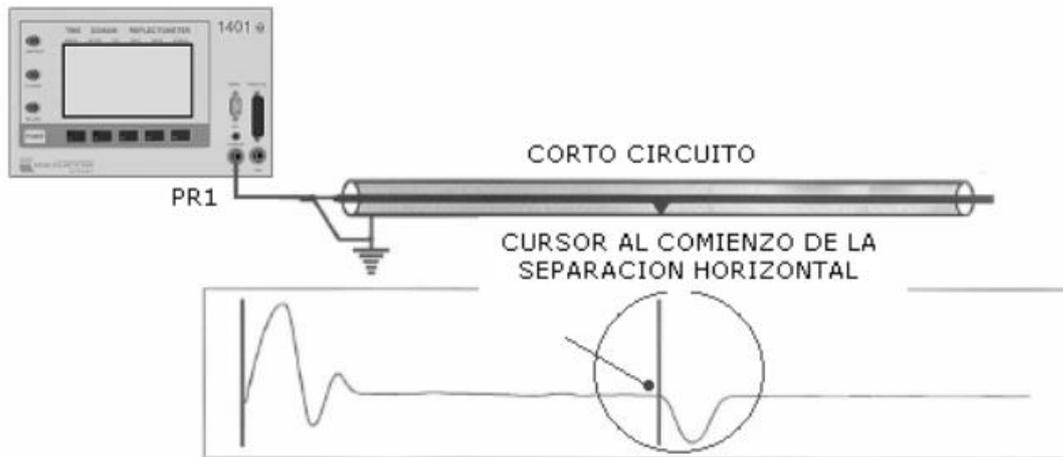


Figura 24. Ilustração da aplicação do TDR em cabo de energia [6]

Em operação, o TDR transmite pulsos de baixa tensão e alta frequência pelo cabo. As mudanças em impedâncias, eles causam reflexões de impulsos transmitidos que aparecem em uma tela. Simplesmente, um aumento na impedância causa reflexão para cima e uma diminuição na impedância causa uma reflexão descendente. Se a velocidade de propagação, ou a velocidade na qual esses pulsos viajam pelo fio, for conhecida, ao posicionar marcadores ou cursores, a distância entre dois pontos pode ser medida. Desta forma, o TDR pode ser usado para medir distâncias aproximadas, para algumas falhas e outras mudanças em impedância em um cabo, como extremidades e emendas. Na prática, a precisão desses instrumentos é de cerca de 1%, na melhor das hipóteses. Caso contrário, a medição nunca será precisa o suficiente para determinar a localização exata. Além disso, os pulsos TDR percorrem cada metro de cabo, independentemente de sua rota e incluindo todos os laços. Como as medições de comprimento são feitas no nível do solo, as estimativas devem ser feitas por todo o comprimento extra que está escondido no subsolo [6].

3.4.5. Reflectometria De Alta Energia

Como o TDR sozinho não é capaz de identificar falhas de alta resistência, sua eficácia como um localizador de falhas do cabo de alimentação é limitado. Quando usado em um sistema de “alta tensão” com geradores de impulso, filtros

ou acopladores, o TDR pode mostrar ambas as falhas de alta e baixa resistência. Durante os últimos 15 anos, três sistemas básicos de Reflectometria foram desenvolvidos: reflexão de arco, reflexão de impulso e reflexão de decaimento [6].

3.4.6. Reflexão De Arco E Reflexão De Arco Diferencial

De longe o mais preciso e fácil de usar, *Arc Reflection* e sua extensão, *Arc Reflection Diferencial*, tornaram-se os métodos preferidos para localização de falhas subterrâneas. Esses métodos não apenas mostram falhas, mas também mostram a localização de pontos de referência, como emendas, fornecendo o que se costuma chamar de: um mapa elétrico do cabo sob ensaio. *Arc Reflection* permite que o TDR mostre traços "antes" e "depois". O traço "antes" é o *log* mostrando nenhuma reflexão para baixo de uma falha de alta resistência. O traço "depois" é o registro que inclui a falha, mesmo que a resistência da falha seja maior que 200 Ohms. Essa aparente contradição ocorre porque um arco de falha, produzido pelo gerador de pulsos, criará momentaneamente um loop de curto-circuito [6].

Durante este período de tempo, os pulsos TDR são refletidos do arco e fornecerão uma reflexão descendente sobre o traço. Quando um TDR é do tipo digital, o display irá congelar o traço que ele possui digitalizados e os cursores podem ser facilmente localizados para ler a distância até a falha de alta resistência. Reflexão de arco diferencial é uma extensão do método de reflexão de arco. Com esta técnica este fornece uma segunda tela que mostra apenas a diferença algébrica entre os traços baixos e o alta voltagem [6].

Se os dois traços forem idênticos até a falha, o display de reflexão de arco diferencial mostrará uma linha totalmente plana, e a falha será a primeira reflexão descendente. Isso simplifica a solução de problemas, principalmente se a reflexão da falha não estiver bem definida [6].

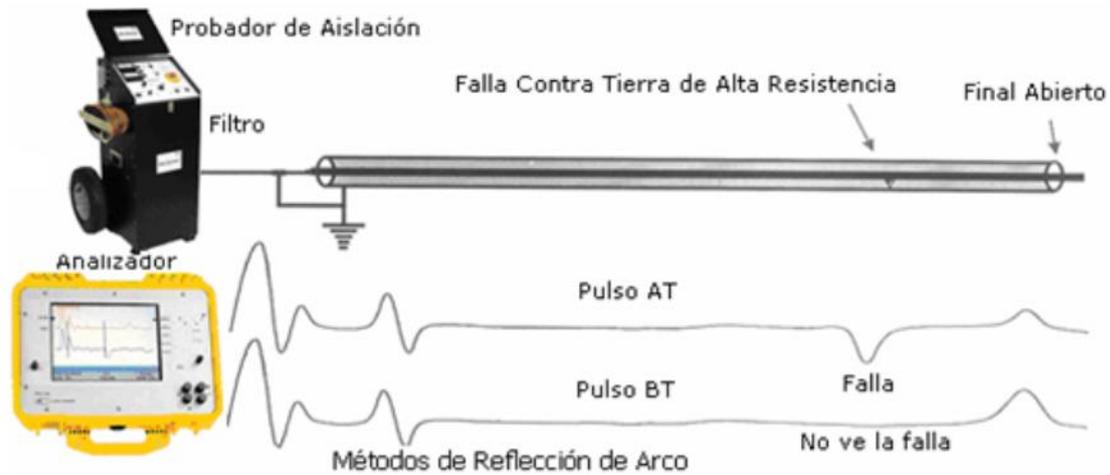


Figura 25. Ilustração do Método de reflexão de arco [6]

3.4.7. Reflexão De Impulsos

O Método de Impulso localizará a maioria das mesmas falhas que podem ser localizadas usando reflexão do arco, mas geralmente reduz a precisão e a confiabilidade. Outra desvantagem do método é a maior dificuldade de interpretação do gráfico apresentado e a falta de pontos de referência nos traçados [6].

Felizmente, o Método do Impulso tem valor compensatório, pois localizará algumas falhas bastante comuns, que não seriam evidentes usando reflexão do arco. Nesse método, um gerador de pulsos é conectado diretamente ao eletrodo, sem o uso de um filtro, que pode limitar tanto a tensão quanto a corrente aplicada à falta [6].

Algumas falhas, como aqueles com água ou óleo na cavidade da falha, requerem mais corrente de ionização e tensão maior. A reflexão do arco pode fornecer esses parâmetros. Com o Método de Impulso, o gerador de ondas de choque transmite um pulso de alta tensão que percorrerá o cabo sob teste, causando um arco na falha [6].

O arco produz uma reflexão retorna a energia para o gerador de pulsos, alternando entre a falha e o gerador, até que toda a energia seja consumida. O pulso de alta tensão produz reflexões semelhantes às de um TDR. Um acoplador

de corrente, captura as sucessivas reflexões periódicas, que são capturadas e exibidas como um traço ou refletogramas na tela [6].

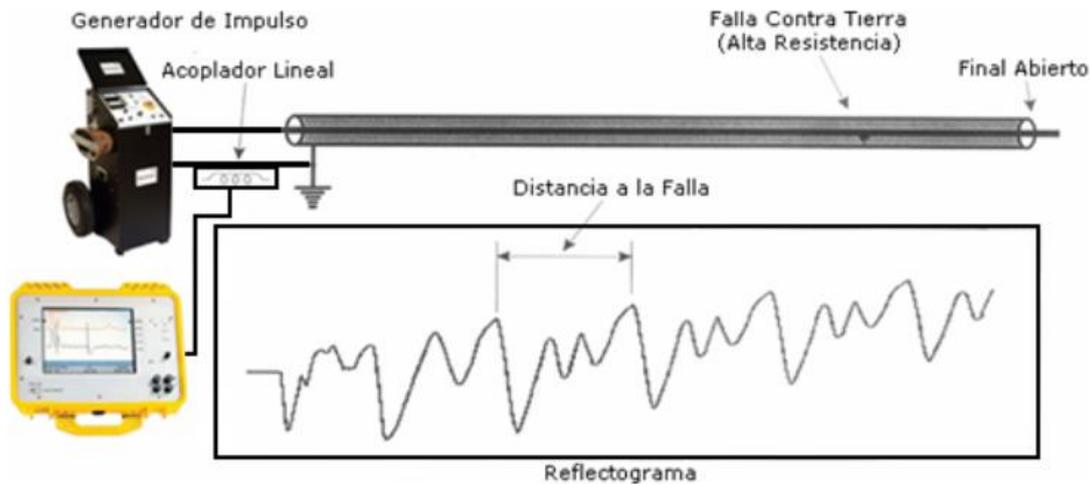


Figura 26. Ilustração do método de reflexão de impulso [6]

Para determinar a localização de uma falha, os cursores são posicionados em dois picos sucessivos do traço. O analisador medirá o tempo entre os dois e calculará a distância até a falha, usando a velocidade de propagação. Para o traço mostrado acima, há pouca dificuldade em determinar a distância até a falha. Porém, em muitos casos, a interpretação da forma de onda pode ser extremamente difícil, devido às reflexões adicionais que podem ser produzidas pelas emendas. A precisão do pulso também é afetada, devido às diferentes mudanças na velocidade de espalhar. Apesar de suas desvantagens, este método fornece uma ferramenta alternativa para localizar algumas falhas, que de outra forma seriam muito mais difíceis de localizar [6].

3.4.8. Decaimento

O método de Decaimento é usado principalmente para localizar falhas em cabos de transmissão, que requerem tensões de ruptura maiores do que aquelas fornecidas por geradores de pulso típicos. Pode ser necessário equipamento de teste de isolamento com corrente contínua, com capacidade de saída de até 160 kV para quebrar a falha e captura transitória, usando um acoplador e um analisador. Este método dispensa o uso de um gerador de pulsos. Quando uma alta tensão é aplicada (C.C.) ao cabo em teste, sua capacitância é carregada. A tensão será aumentada gradualmente, até que a falha de alta resistência seja

eliminada. Quando quebrado, a capacitância do cabo é descarregada na falha e isso gera um pulso que viajará de volta para o conjunto de teste, onde será refletido de volta para a falha.

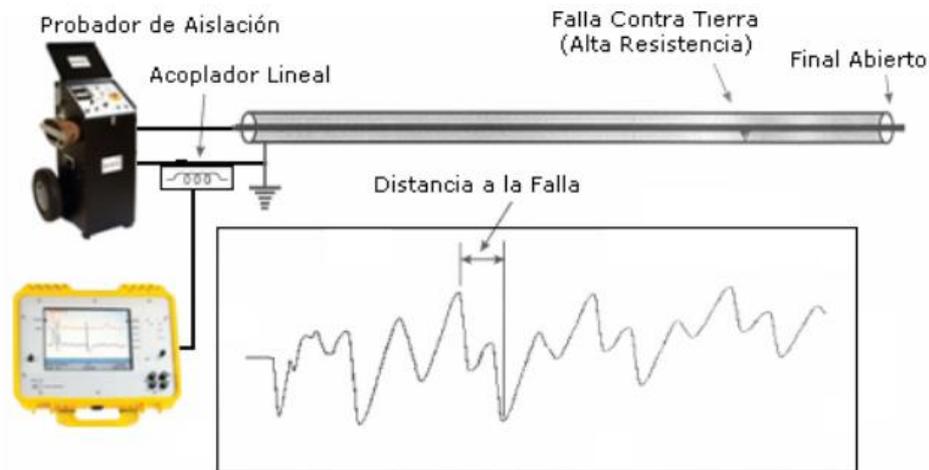


Figura 27. Ilustração do método de decaimento [6]

Quando o pulso atingir a falha, sua polaridade será invertida e ele retornará novamente ao equipamento de teste. Essas reflexões continuarão até que a energia contida na onda seja dissipada. Um acoplador de corrente irá capturar os transitórios, e as sucessivas reflexões periódicas serão capturadas e exibidas como um traço refletômetro na tela. Para determinar a localização da falha, os cursores são posicionados em um pico e vale sucessivos da vestígio. O analisador medirá o tempo e calculará a distância até a falha, usando a velocidade de propagação agendada [6].

3.4.9. Detecção Acústica De Impulsos

A detecção acústica, usando um gerador de pulsos e um detector acústico, dominou a localização exata de faltas nos últimos 50 anos. Seu maior trunfo é seu histórico praticamente perfeito de sucesso, na tarefa de localização exata de cabos subterrâneos. Em geral, limitando-se a apenas um, o número de escavações [6].

Método para localizar com precisão falhas em cabos subterrâneos, esta técnica tem sido usada desde que os geradores de pulsos foram desenvolvidos. A ideia básica é criar um "baque" (ruído) na falha, que pode ser ouvido a nível do solo. A base de um certo gerador de pulsos é que quanto maior a tensão usada, maior

o ruído. Quanto maior o ruído, mais fácil será a determinação do localização da falha [Autoria própria].

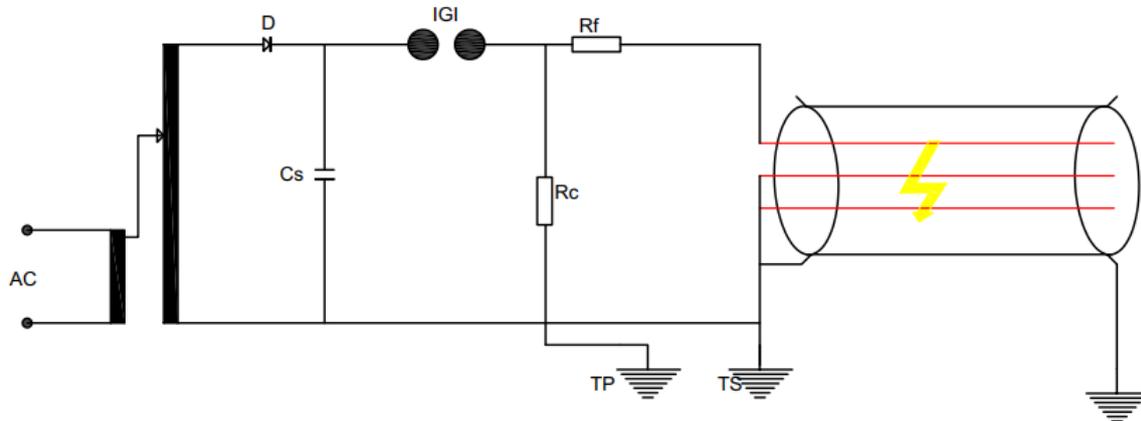


Figura 28. Circuito do gerador de impulso conectado ao cabo [Autoria Própria]

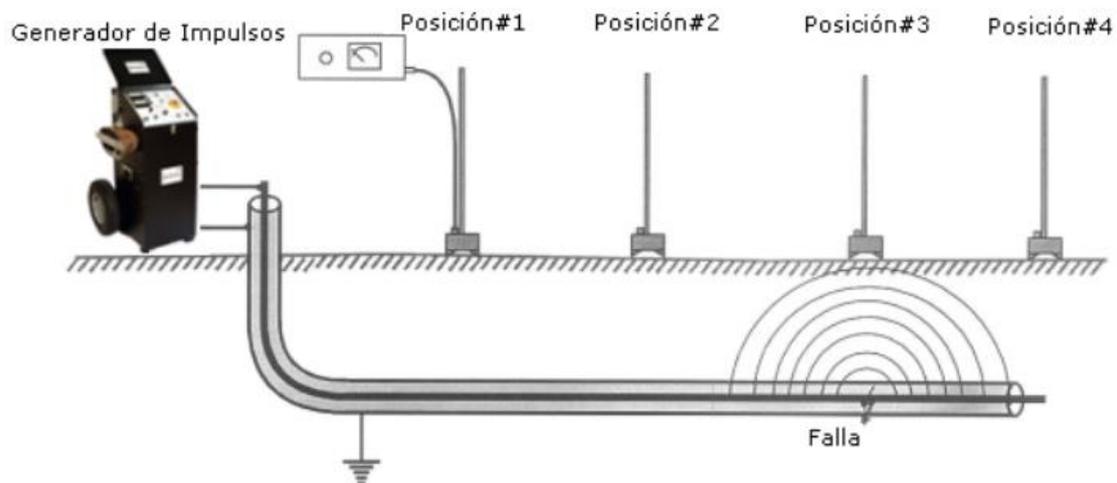


Figura 29. Ilustração da detecção acústica [6]

Tabela 4. Interpretação dos resultados da fig.18 [Autoria Própria]

POSIÇÃO	SITUAÇÃO
1	Nenhum som detectado. Fora de alcance
2	A uma distância de aprox. de 6 metros, um baixo nível de som é detectado.
3	Diretamente acima da falha, o nível de som mais alto é detectado.
4	Após a falha. O nível de som diminui.

Os detectores acústicos amplificados, que estão disponíveis, ajudam no processo. Se for gasto tempo suficiente percorrendo a rota do cabo e com um sinal sonoro forte o suficiente, a falha será encontrada. A utilização deste método tem sido questionada pelo efeito possivelmente nocivo produzido pelo pulso de alta tensão, em cabos de polietileno reticulado (XLPE) [Autoria própria].

A tendência hoje é minimizar o nível de estresse, e reduzir o tempo que o impulso é usado, empregando métodos de pré-localização e sistemas de localização exata. Os pontes foram os localizadores mais antigos, seguidos por Reflectometria de baixa tensão e Reflectometria de alta energia. Hoje, a indústria ainda depende fortemente de batidas de alta tensão para localizar acusticamente com precisão as falhas em cabos subterrâneos e localizar as seções defeituosas, detectando impulsos eletromagnéticos em cabos sob condutas [6].

3.4.10. Detecção Acústica/Eletromagnética De Impulsos

Avanços recentes na identificação de ferramentas foram feitos para ajudar a reduzir a exposição a altas tensões do cabo testado. Os detectores acústicos mais antigos foram exclusivamente para a detecção de som. Quando a sensibilidade embutida no detector era muito alta, sons de fundo mascararam o "baque" produzido na falha. Quando a sensibilidade foi ajustada muito baixa, o som produzido na falha não foi ouvido [6].

Projetos recentes detectam o pulso atual do gerador de pulsos e o ruído produzida na falha. De importância ainda maior, esta técnica consegue medir o tempo entre o impulso atual e o som produzida na falha. Quando esta medição de tempo está no mínimo, a falha é diretamente sob a unidade receptora. Ao usar receptores duplos, os sinais recebidos são processados em símbolos direcionais, que apontam para a direção da falha. A utilização deste tipo de dispositivos de localização exata, aumenta a eficiência do processo e reduz a exposição do cabo a altas tensões [6].

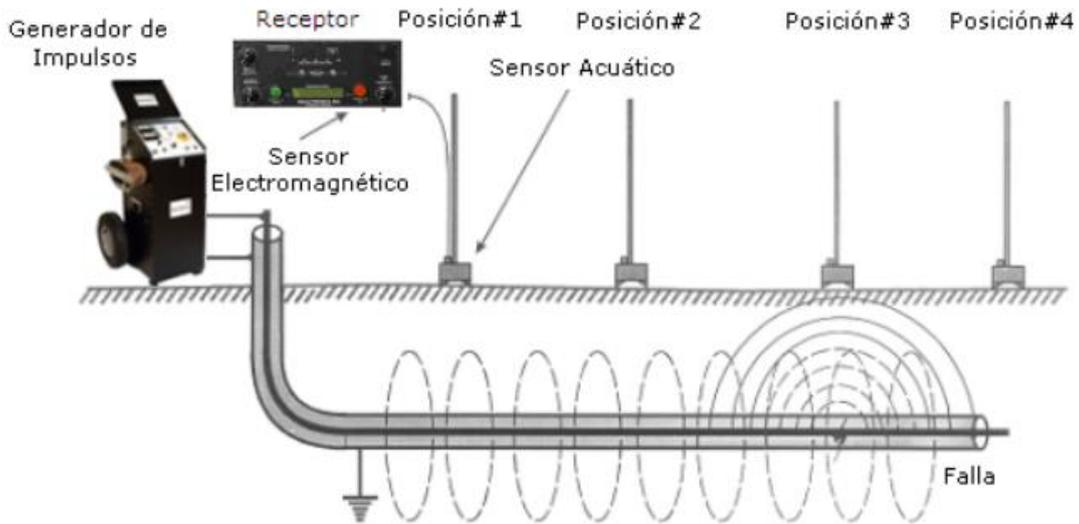


Figura 30. Ilustração da detecção acústica melhorada [3]

Tabela 5. Interpretação dos resultados da fig.19 [Autoria própria]

POSIÇÃO	SITUAÇÃO
1	O sinal eletromagnético produzido pelo impulso (descarga) é detectado. Mas está fora de alcance.
2	O som fraco é detectado com a frequência selecionada para discriminar melhor o som. A recepção do som começa quando se está a uma distância de 12m da falha. Foi detectado um diferencial de tempo alto
3	Som mais alto é recebido. Diferencial de tempo mais curto é detectado.
4	O som mais alto de todos é recebido. O menor diferencial de tempo de todos.

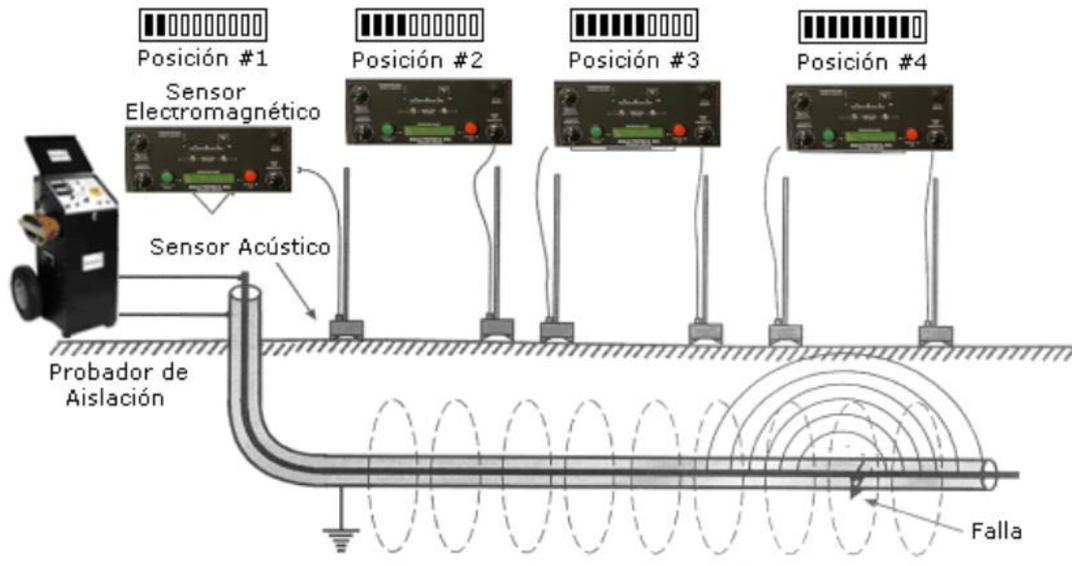


Figura 31. Ilustração do método acústico com o sensor geofone [6]

Tabela 6. Características dos materiais isolantes [7]

Materiais	Permitividade relativa (ϵ_r)
Papel impregnado	3,6
Policloreto de Vinilo (PVC)	4 a 8
Polietileno (PE)	2,3
Polietileno Reticulado PEX	2,3-2,8

Das equações (12) e (13):

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 * 10^2}{\sqrt{2,3}} = 197,81 \text{ m}/\mu\text{s}$$

$$l_D = \frac{1}{2} * (197,81 \text{ m}/\mu\text{s}) * (4 \mu\text{s})$$

$$l_D = 395,62 \text{ m}$$

A distância até ao defeito de isolamento ou de continuidade é de 395,62 m.

$$P_M = 1\,400 \text{ kW}$$

$$t_{MRA} = 2 \text{ h}$$

$$\epsilon_M = P_M * t_{MRA} \text{ Eq. (11)}$$

$$\epsilon_M = (1\,400\text{ kW}) * (2h)$$

$$\epsilon_M = 2\,800\text{ kWh}$$

$$1\text{ kWh} \text{-----} 8,03\text{ MT}$$

$$2\,800\text{ kWh} \text{-----} QMP$$

$$QMP = \frac{(2\,800\text{ kWh}) * (8,03\text{ MT})}{1\text{ kWh}}$$

$$QMP = 22.484,00\text{ MT}$$

Tabela 7. Classificação do método Enométrico [Autoria própria]

Método	Dispositivo	Precisão (%)	Velocidade	Eficácia	Eficiência
Ecométrico	Gerador de impulso e digiPHONE+2	90 a 100	Alta	Alta	Alta

Tabela 8. Análise de Custos [Autoria própria]

Dispositivo	Custo do dispositivo [MT]	Custos na implementação/Avaria [MT]
Gerador de impulso e digiPHONE+2	3.162.500,00	22.484,00

Tabela 9. Comparação dos dois métodos [Autoria própria]

Método/dispositivo	Método de ponte/Shirla	Método ecométrico/STX40 e digiPHONE+2
Precisão (%)	0,1 a 5	90 a 100
Velocidade	Baixa	Alta
Eficácia	Baixa	Alta
Eficiência	Baixa	Alta
Custo de aquisição	1.436.883,10 MT	3.162.500,00 MT
Custo na implementação	346.896,00 MT	22.484,00 MT

Ambos métodos possuem uma simplicidade na aplicação, mas com base na tabela [9], o gerador de impulso STX40 da MEGGER que contém um Teleflex integrado para o seu uso juntamente com o digiPHONE+2 que é o conjunto acústico para localização exata mostra ser eficaz e eficiente na localização de defeitos, pois leva menos tempo na localização e possui o alcance de até 64 km e alta precisão, sendo assim é o método ecométrico é o escolhido.



Figura 32. Gerador de impulso sugerido, STX40 [Megger]



Figura 33. Conjunto acústico, digiPHONE+2 [Megger]



Figura 34. Veículo de localização de avarias [Hv Hipot]

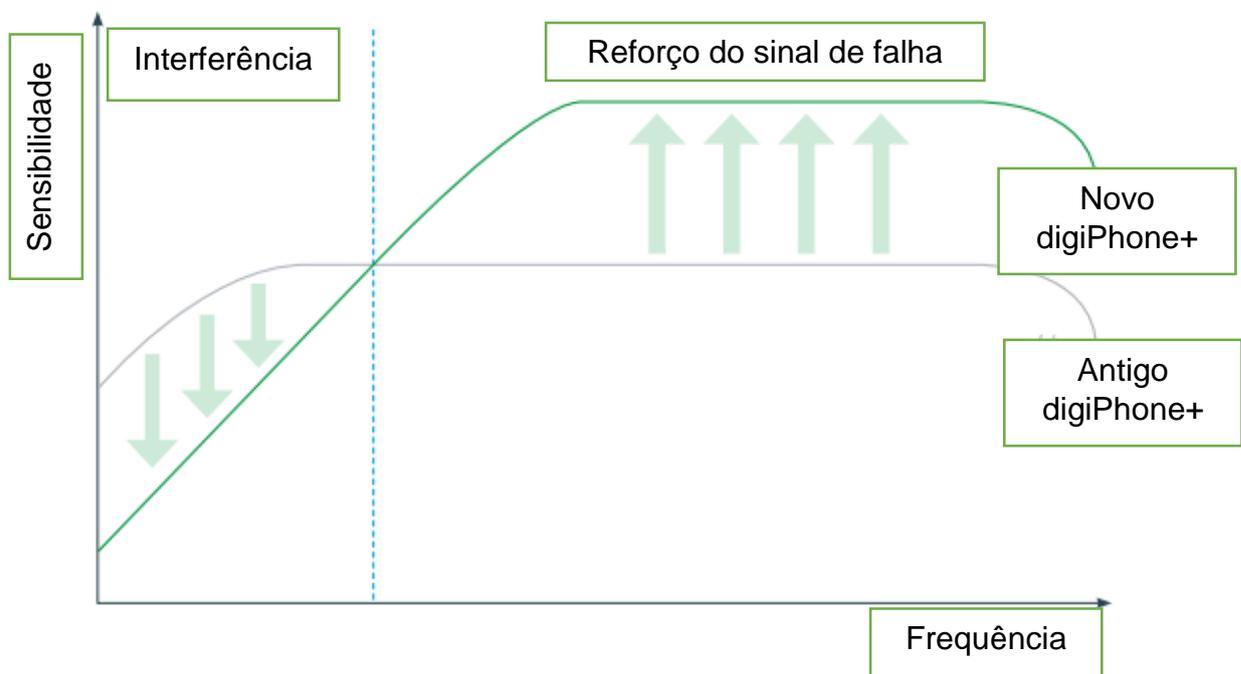


Figura 35. Análise comparativa do conjunto acústico antigo e o novo [Megger]

A nova tecnologia do conjunto acústico permite filtrar os ruídos provenientes de outras fontes e concentra-se apenas no ruído proveniente do ponto do defeito, e para além do ruído, este localiza a falha por meio das ondas eletromagnéticas, em que durante o processo de localização da avaria, partindo do emissor o usuário é direcionado ao ponto de avaria primeiro pelas ondas eletromagnéticas que o conjunto acústico estará a receber e depois quando estiver à 12 metros do

local da falha, o conjunto acústico começa a receber também o ruído do ponto de falha causado pela descarga da impulso emitido pelo gerador STX40 tornando assim o processo de localização eficaz e rápido [Autoria própria]

3.5. ANÁLISE CRÍTICA

3.5.1. Ao equipamento de pré localização

O Surgeflex 32 é um sistema móvel para teste e localização de falhas em cabos de baixa e média tensão. A tensão de teste e surto de até 32 kV torna o SPG 32 adequado para todas as redes de cabos de baixa e média tensão. (Short time Arc Reflection Method) é usado para pré-localização de faltas de alta resistência até 32 kV. A queima de falhas é possível em todos os níveis de tensão por queima de curto prazo. Todavia, o uso frequente do gerador de surto num determinado cabo, danifica o isolamento do cabo porque durante o teste, o cabo é submetido a uma tensão superior à tensão de operação normal, fazendo com que o isolamento do cabo seja submetido a um esforço acima do normal [Autoria própria].



Figura 36. Cabo a óleo [Autoria própria]

Este cabo a óleo pertence a um dos circuito das saídas da SE4, e é evidente que o cabo possui déficit de isolamento e quando este é submetido a um teste pelo gerador de impulso, está ação só danifica ainda mais o cabo, apesar de que no final atinge-se os objetivos de detecção da avaria, mas em contrapartida cria-se possibilidades de uma futura avaria [Autoria própria].



Figura 37. Gerador de surto SPG32 [Autoria própria]

Para além de ser apenas uma máquina para toda a região, o processo de montagem da mesma é lento, a equipe é bastante pequena, e uma só máquina não ajuda bastante pois o técnico responsável pelo manuseamento da máquina deve suprir todas as brigadas do departamento de manutenção e de toda DRCM. Esta máquina tem funcionalidades para detecção de avarias em redes de baixa tensão mas não é explorada, então seria viável adquirir um ecómetro portátil para redes de baixa tensão [Autoria própria].

A falta de detectores de avarias em cabos de baixa tensão, subterrâneos torna difícil o trabalho dos técnicos da empresa que enxergam como sendo difícil a investigação da avaria e de certa forma acabam fazendo lançamentos desordenados de cabos aéreos de um poste de iluminação para outro em zonas urbanas, sendo que os cabos anteriormente instalados de forma subterrânea. [Autoria própria].

3.5.2. À execução das caixas de junção

Na rede de distribuição subterrânea, quando ocorre um defeito, a maioria das reparações requer a construção de caixas de junção. Estas caixas servem para ligar eletricamente dois troços de cabo, de modo a retomar a sua continuidade. A construção destas caixas deve obedecer a determinadas regras na sua execução de modo a que a estanqueidade e o isolamento do cabo sejam garantidos. Deve também assegurar-se a continuidade das bainhas metálicas e das armaduras dos cabos, no caso de existirem. É usado um material termorretráctil, constituído por uma manga que envolve cada condutor individualmente, por uma manga exterior que envolve todos os condutores, por ligadores de cravação e por uma trança de cobre para a interligação das bainhas de aço dos cabos [Autoria própria].

Todos estes componentes são fornecidos em conjunto e vêm embalados em sacos de plástico bem fechados, para estarem bem protegidos contra impurezas.

Sugestão 1

Na execução de caixas de junção, a limpeza dos equipamentos, das ferramentas e do local de trabalho, são essenciais para um trabalho bem realizado, assim como o conhecimento das indicações dadas pelo fabricante [Autoria própria].



Figura 38. Remoção e instalação de uma nova caixa de junção subterrânea de MT [Autoria Própria]

Sugestão 2

Na construção das caixas, o desgordurar muito bem o cabo, assim como a quantidade de calor posta em jogo na retração das mangas termorretrácteis

(para que não sejam depositadas partículas de carvão nas mangas), são dois dos aspectos a que se deve dar uma grande relevância [Autoria própria].

Sugestão 3

Na execução destas caixas, para os cabos de isolamento seco, não pode haver vestígios de grafite ou verniz deixados pela fita semicondutora, tal como se deve manter o isolamento bem limpo e sem qualquer risco. Mesmo depois de a reparação estar efetuada, há que ter atenção àquele ponto, pois será sempre um ponto débil da rede de distribuição [Autoria própria].

Sugestão 4

Durante a instalação de novas caixas de junção tem-se deixado de lado a reposição de camadas semicondutoras, habitualmente, que só são utilizadas acima de 10 kV, com o objetivo de criar uma transição perfeita entre a alma condutora e a camada isolante, e entre a camada isolante e o écran metálico. Para tal, usualmente, utiliza-se o polietileno com um aditivo como o carbono. Essa alteração das suas características vai permitir-lhe alguma condutividade, obtendo-se assim um condensador perfeito, nesta ordem de ideia deve-se fazer a reposição das camadas semicondutoras na caixa de junção [Autoria própria].

Sem a aplicação destas camadas semicondutoras, tal como acontece, não é possível, por causa das irregularidades das almas condutoras multifilares e da textura dos écrans metálicos. Geralmente ambas as camadas semicondutoras, em conjunto com a camada isolante, são aplicadas num processo de tripla extrusão simultânea, de modo a assegurar uma adesão perfeita entre as três camadas [Autoria própria].

Esta tarefa requer pessoal competente e especializado, e nem todos os trabalhadores estão habilitados para dirigir certos tipos de reparações. É de salientar que, antes das reparações serem executadas, é necessário realizar as consignações e verificar que todas as regras de segurança para efetuar os trabalhos de reparação sem tensão estão a ser escrupulosamente cumpridas [Autoria própria].

Sugestão 5

Deve-se garantir a reposição das terras dos cabos subterrâneos no ponto de avaria, isto garante a proteção do profissionais bem como das pessoas que se

fizerem presente no ponto de avaria aquando da ocorrência de um defeito tanto de continuidade e quanto de isolamento.

Sugestão 6

A limpeza no local de execução da caixa de junção subterrânea é extremamente fundamental e depois da execução da caixa é imperioso certificar-se de que a redores não existe nenhum corpo duro e a caixa está em volta de areia fina.

Sugestão 7

No ponto de junção é um ponto frágil da rede, portanto a construção de uma caixa de visita é de grande relevância, pois a caixa de visita com uma tampa de Betão, protegerá a caixa de junção para diferente tipos de golpes e compressões que poderia vir a sofrer e também caso ocorra uma ruptura protegera a pessoa ou elemento que estiver por cima da caixa, pois existem cabos que estão enterrados a poucos centímetros da superfície.

3.5.3. Ao equipamento de pós localização

O Teleflex T30-E, oferece orientação de usuário integrada e a operação do codificador rotativo de botão único que mostra automaticamente a extremidade distante do cabo e a distância da falha no modo ARM. O “Modo fácil passo a passo” oriente até mesmo usuários menos experientes através do processo de localização de falhas para o local bem-sucedido. A alternativa “Expert-Mode” fornece acesso livre a todos os parâmetros para localização abrangente de falhas, mesmo sob condições difíceis. Junto a este equipamento pode se auxiliar ao gerador de surto que fornece até 3500 J de energia de surto, que facilita a localização da avaria pelo método acústico [Autoria própria].

O problema está exatamente no equipamento de localização acústica que possui pouca sensibilidade, e quando há muito movimento de carros no local onde estiver a ser usado, há interferências no sinal, fazendo com que o técnico responsável interrompa o processo de detecção da avaria naquele momento para voltar mais tarde, quase meia noite se for este o período sem muito movimento de carros [Autoria própria].

Calculo de perdas

$$P_M = 5\,400\text{ kW}$$

$$t_{MRA} = 5 h$$

$$\epsilon_M = P_M * t_{MRA} \quad Eq. (11)$$

$$\epsilon_M = (5\,400\,kW) * (5h)$$

$$\epsilon_M = 27\,000\,kWh$$

$$1\,kWh \text{-----} 8,03\,MT$$

$$27\,000\,kWh \text{-----} QMP$$

$$QMP = \frac{(27\,000\,kWh) * (8,03\,MT)}{1\,kWh}$$

$$QMP = 216.810,00\,MT$$

Valor a poupar com a implementação do novo método por avarias

$$VMP = QMP_{atual} - QMP_{novo} \quad Eq. (12)$$

$$VMP = (216.810,00\,MT) - (22.484,00\,MT)$$

$$VMP = 194.326,00\,MT$$

Anualmente:

$$VMPA = VMP * NA \quad Eq. (13)$$

$$VMPA = (194.326,00\,MT) * (2 * 12)$$

$$VMPA = 4.663.824,00\,MT$$

Considerando uma média de duas avarias de cabos subterrâneos por mês.

Onde:

VMP- Valor Monetário Poupado por avaria em [MT]

VMPA –Valor Monetário Poupado Anualmente [MT]

NA - número médio de avarias anualmente

QMP_{atual} - Quantidade monetária média perdida do atual método por avaria em [MT]

QMP_{novo} - - Quantidade monetária média perdida do novo método por avaria em [MT].

4. Estimativa do custo e análise de viabilidade econômica

Tabela 10. Estimativa do custo [Autoria própria]

Ord	Item	Unidade	Qtd	Custo Unitário [MT]	Custo total [MT]
1	Gerador de impulso	Un	1	1.897.500,00	1.897.500,00
2	didiPhone+2	Un	1	1.265.000,00	1.265.000,00
3	Veículo	Un	1	8.974.050,00	8.974.050,00
4	A- Custo total dos Materiais				12.136.550,00
5	Mão-de-obra (10%)	Transporte		485.462,00	
6		Pagamento		485.462,00	
7		Imprevistos		242.731,00	
8	B- Custo total de Mão-de-Obra				1.213.655,00
9	Orçamento (A+B)				13.350.205,00

Onde:

Ord – ordem;

Qtd – Quantidade;

MT – Metical;

U_n – Unidade

Tabela 11. Especificações técnicas [Autoria própria]

Descrição detalhada	Fabricante
Gerador de impulso STX40, 40 kV DC, 2000 Joules, 8 kV, 11kV, 16 kV, 32 kV e 40 kV, IP43, com TDR integrado.	Megger
digiPHONE+2 NT com unidade de exibição, unidade de sensor, estéreo de fone de ouvido	Megger
GDCF-900T, Veiculo com (3) partes: a cabine, a sala de operações e o compartimento de equipamentos.	HV Hipot

4.1. Mapa de Amortização**Tabela 12.** Tabela de amortização [Autoria própria]

Descrição	Valor de Aquisição	Taxa de Amortização	Amortizações							
			Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Valor Contabilístico	Valor de Mercado	Valor Residual
Gerador de impulso	1.897.500,00	10%	189.750,00	189.750,00	189.750,00	189.750,00	189.750,00	948.750,00	948.750,00	948.750,00
digiPHONE+2	1.265.000,00	10%	126.500,00	126.500,00	126.500,00	126.500,00	126.500,00	632.500,00	632.500,00	632.500,00
Veículo	8.974.050,00	10%	897.405,00	897.405,00	897.405,00	897.405,00	897.405,00	4.487.025,00	4.487.025,00	4.487.025,00
Total	12.136.550,00	-	1213655,00	1213655,00	1213655,00	1213655,00	1213655,00	6.068.275,00	-	6.068.275,00

Valor Contabilístico = Valor de Aquisição – somatório das amortizações

Valor Residual = Valor do mercado – (Valor de Mercado – Valor Contabilístico) vezes Taxa de imposto

Taxa de imposto é de 32%

4.2. Mapa de Cash Flow

Tabela 13. Mapa de cash flow [Autoria própria]

Descrição	Anos					
	0	1	2	3	4	5
1. Proveitos=1.1+1.2		4.663.824,00	4.852.242,50	4.949.287,30	5.048.273,10	5.149.238,50
1.1. Vendas=preço*quantidade		4.663.824,00	4.852.242,50	4.949.287,30	5.048.273,10	5.149.238,50
1.2. Outros Proveitos		0	0	0	0	0
2. Custos Operacionais=2.1+2.2+2.3+2.4		1.213.655,00	1.213.655,00	1.213.655,00	1.213.655,00	1.213.655,00
2.1. Matéria Prima		0	0	0	0	0
2.2. Mão-de-Obra		1.213.655,00	1.213.655,00	1.213.655,00	1.213.655,00	1.213.655,00
2.3. Fornecimentos e Serviços Terceiros		0	0	0	0	0
2.4. Outros custos		0	0	0	0	0
3. Amortizações		1.213.655,00	1.213.655,00	1.213.655,00	1.213.655,00	1.213.655,00
4. Provisões		100.000,00	100.000,00	100.000,00	100.000,00	100.000,00
5. Resultados Operacionais=1-2-3-4		2.136.514,00	2.324.932,50	2.421.977,30	2.520.963,10	2.621.928,50
6. RAI=5		2.136.514,00	2.324.932,50	2.421.977,30	2.520.963,10	2.621.928,50
7. Matéria Coletável=6 (Somente quando for >0)		2.136.514,00	2.324.932,50	2.421.977,30	2.520.963,10	2.621.928,50
8. Imposto=TI*5		683.684,48	743.978,40	775.032,74	806.708,19	839.017,12
9. Resultado pós imposto (RL)		1.452.829,52	1.580.954,10	1.646.944,56	1.714.254,91	1.782.911,38
10. Amortizações=3		1.213.655,00	1.213.655,00	1.213.655,00	1.213.655,00	1.213.655,00
11. Provisões=4		100.000,00	100.000,00	100.000,00	100.000,00	100.000,00
12. Cash Flow de exploração=9+10+11		2.766.484,52	2.894.609,10	2.960.599,56	3.027.909,91	3.096.566,38
13. Investimentos=13.1+13.2	12.136.550,00	840.000,00	840.000,00	840.000,00	840.000,00	840.000,00
13.1. Capital fixo	12.136.550,00					
13.2. Capital circulante		840.000,00	840.000,00	840.000,00	840.000,00	840.000,00
14. Valor residual=14.1+14.2						7.748.275,00
14.1. Capital Fixo						6.068.275,00
14.2. Capital circulante						1.680.000,00
15. Cash flow do projeto simples=12-13+14		1.926.484,52	2.054.609,10	2.120.599,56	2.187.909,91	10.004.841,40

$$VAL = -C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{\prod(1+i)^t} \quad Eq. (14)$$

$$VAL = -12.136.550,00 + \frac{1.926.484,52}{(1+0,1)^1} + \frac{2.054.609,10}{(1+0,1)^2} + \frac{2.120.599,56}{(1+0,1)^3} \\ + \frac{2.187.909,91}{(1+0,1)^4} + \frac{10.004.841,4}{(1+0,1)^5}$$

$$VAL = 612.652,70 \text{ MT}$$

O VAL é maior que zero, então, o projeto é viável.

$$PRI = 4 \text{ Anos} + \frac{12.136.550,00 - 2.187.909,91}{10.004.841,40}$$

$$PRI = 4 \text{ Anos} + 1 \text{ mês}$$

Onde:

VAL – Valor Atual Líquido;

PRI – Período de Recuperação do Investimento;

C_0 – Cash flow de Investimento;

C_t – Cash flow em determinado ano;

RAI – Resultado Antes de Imposto;

TI – Taxa de imposto que é de 32%;

i – taxa de juros, considerou-se de 10%;

t - tempo em anos.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho abordou-se acerca dos vários métodos de detecção de avarias em cabos de média tensão, em que, de forma sucinta primeiro falou-se dos cabos elétricos, da sua composição e classificação bem como da sua instalação pois isto influencia nas avarias que tem ocorrido; em seguida falou-se do primeiro método de detecção de avarias em cabos subterrâneos, o método de ponte, concluindo que este método não é eficaz e apesar de que o custo de aquisição do equipamento ser bastante reduzido, porém, o custo na implementação é altíssimo, causando perdas na faturação por parte da concessionaria e a sua devida responsabilização pelo não cumprimento dos contratos com os consumidores.

E o método ecométrico, mostrou-se ser a alternativa viável, apesar de que o custo de aquisição dos equipamentos ser elevado, o projeto torna-se viável pois o capital de investimento é recuperado em 5 anos e começa-se a lucrar com as poucas paragens no fornecimento de energia elétrica; pelas suas características técnicas o gerador de impulso STX40 da MEGGER que contém um Teleflex integrado para o seu uso juntamente com o digiPHONE+2 para localização exata mostraram ser eficazes e eficientes na localização de defeitos, porém a aquisição de um veículo específico que contém compartimentos para montagem de todos equipamentos de detecção de avarias em cabos subterrâneos atuais é de extrema relevância. Porque é projetado para alimentar o gerador de impulso em 230 V AC, e nesta ordem de ideia o processo de localização de defeitos passa a ser independente da existência da alimentação arredores.

O STX40 irá permitir reduzir os esforços no isolamento dos cabos durante o teste para localização de defeitos em cabos subterrâneos pois não será necessário injetar pulsos de tensões elevadas.

O digiPHONE+2 filtra os ruídos externos e só concentra-se no ruído causado pela onda emitida pelo STX40 no ponto de falha e desta forma permitindo com que os técnicos efetuem o processo de localização de defeitos a qualquer hora, mesmo em períodos de maior fluxo de carros e ou outros elementos externos causadores de distúrbios para o método ecométrico.

6. RECOMENDAÇÕES

A rede elétrica subterrânea da Direção Regional da cidade de Maputo apesar de possuir desenhos feitos em ferramentas como AutoCad carece de mapas geográficos em vários troços, principalmente em troços que foram instalados à 40 anos atrás, desta maneira a aquisição de um equipamentos como CL20 da BAUR para localizar as rotas e o seu devido registo seria de extrema importância não só para os arquivos como também no momento de localização de avarias e durante a planificação de substituição de cabos cujo ao longo do tempo a população terá construído edifícios por cima dos cabos. E estes arquivos deveram também estar na posse das entidades municipais de modo a não permitir que as populações construam por cima dos troços por onde passam os cabos.

É de extrema importância também recomendar à concessionaria a criar seminários de modo a especializar a sua mão-de-obra especificamente na execução de caixas de junção em avarias de cabos subterrâneos.

7. Referências bibliográficas

- [1] BARROS, LUÍS RICARDO PAUPÉRIO. **Detecção e Identificação de Anomalias em Redes de Distribuição de Energia Elétrica-Dissertação**. ISEP, Porto, 2013.
- [2] BAUR, Baur ensing the flow, www.baur.eu/pt/brochuras, Acessado em 08 de abril de 2023, 9h:05.
- [3] BOLOTINHA, Manuel. **Distribuição de Energia Elétrica em Média e Baixa Tensão-Manual**. 2ª Edição, Quântica Editoras, Lisboa, 2019.
- [4] ELECTRICAL TESTING GROUP, **Capacitacion Y Entrenamiento En Tecnicas De Ensayos, Diagnostico Y Deteccion De Fallas En Cables Subterraneos De Energia**, 2010.
- [5] IEEE. **Guide for Fault-Locating Techniques on Shielded Power Cable Systems**. 7th Ed.
- [6] ISO 9001-2008 **certified in testing- diagnosis and research on HV cable**.
- [7] SANTOS, J. NEVES DOS. **Condutores e Cabos de Energia**. FEUP, Novembro, 2005.
- [8] MALDONADO, Miguel Colaço. **Avaliação do Estado de Cabos Subterrâneos-Dissertação**. Lisboa, 2016
- [9] MONTEIRO, RAÚL FILIPE QUEIRÓS. **Ensaio, localização de avarias e traçados em cabos subterrâneos- Dissertação**. ISEP, Porto, 2021
- [10] REIS, PAULO BERNARDO DA SILVA COUTO. **Avaliação da condição dos Cabos Subterrâneos de AT e de MT-Dissertação**. FEUP, Porto, 2017.
- [11] P.G. Scholar Manjula V, Asst. Prof. P. Sumathi, HOD. P. Anlet Pamila Suhi. **Underground Fault Cable Detection Using Wireless Technology**. IJSRET, 2021.
- [12] SILVA, Gerliano De Oliveira, LIMA, Lázaro Luis de. **LOCALIZAÇÃO DE FALHAS EM CABOS SUBTERRÂNEOS ISOLADOS-UFERSA**. TCC, 2021.
- [13] SOLIDAL- **Condutores Eléctricos, Guia técnico**, 10ª edição, Portugal, 2007.
- [14] SOUSA, ANTÓNIO JOSÉ NEVES DE. **Caracterização, Detecção e Reparação de avarias em Cabos Subterrâneos MT/BT**. FEUP, Lisboa, 2008
- [15] SOUZA, André Nunes de, SILVA Paulo Sérgio da, et all. **Sistema Especialista Inteligente para Identificação e Localização de Defeitos em Cabos Subterrâneos de Média Tensão – MT**

ANEXOS

Anexo 1. Gerador SFX32 ou SPG32 e sua especificação



Figura A1-1. Gerador SFX32 ou SPG32 [Megger]

Tabela A1-1. Especificações técnicas do Teleflex [Megger]

Distance range	20 m – 160 km at $v/2 = 80$ m/microsecond
Pulse width	20 ns – 10 micro second
Pulse amplitude	10 – 50 V
Resolution	0.1 m at $v/2$ 80 m/microsecond
Sampling rate	Up to 400 MHz
Amplification	-37 - +37
De-attenuation	0 - +22 dB for Prorange
Transit time setting $v/2$	10 – 149.9 m/micro second
Dynaminc response range	>80 dB
Output impedance	50 Ohms
adjustment	8 – 15 Ohms
ARM trigger	Automatic adjustment

Anexo 2. Especificações técnicas do SFX32

Tabela A2-2. Especificações técnicas do SFX32 [Megger]

Product*	8 kV	12 kV	16 kV	32 kV	
	SPG 8-1000	SPG 12-1100	SPG 16-2000	SPG 32-1750	SPG 32-1750 C4
Surge steps / surge energy in every step	3 / 1000 J	3 / 1100 J	3 / 2000 J	3 / 1750 J	1 / 1200 J (4kV step) 3 / 1750 J
Surge voltage (kV)	0 ... 2 0 ... 4 0 ... 8	0 ... 3 0 ... 6 0 ... 12	0 ... 4 0 ... 8 0 ... 16	0 ... 8 0 ... 16 0 ... 32	0 ... 4 0 ... 8 0 ... 16 0 ... 32
Surge rate (sec)	single pulse, 2 ... 6	single pulse, 3 ... 10			
DC-test (kV) / I _{max} (mA)	0 ... 2 / 1400 0 ... 4 / 700 0 ... 8 / 350	0 ... 17 / 1.0	0 ... 24 / 1.4	0 ... 32 / 1.8	
Burning voltage (kV) / I _{max} (mA)	0 ... 2 / 1400 0 ... 4 / 700 0 ... 8 / 350	0 ... 3 / 200 0 ... 6 / 100 0 ... 12 / 50	0 ... 4 / 200 0 ... 8 / 100 0 ... 16 / 50	0 ... 8 / 200 0 ... 16 / 100 0 ... 32 / 50	
Sheath fault location (kV) / I _{max} (mA)	no	0 ... 5 / 120		0 ... 5 / 160	
Pulse ratio (sec)	no	1:3 – 1:10			
Prelocation (kV)	ARM & ICE: 0 ... 2 / 4 / 8	ARM & ICE: 0 ... 3 / 6 / 12 Decay: 0 ... 17	ARM & ICE: 0 ... 4 / 8 / 16 Decay: 0 ... 24	ARM & ICE: 0 ... 8 / 16 / 32 Decay: 0 ... 32	ARM & ICE: 0 ... 4 / 8 / 16 / 32 Decay: 0 ... 32
Leakage current display (mA) in DC-test	no	0 ... 2 0 ... 0,2			
Display	analogue				
Power input (max.)	2,3 kVA	2 kVA			
Dimensions W x D x H (mm)	790 x 770 x 1185	790 x 715 x 1160			602 x 690 x 1180
Weight (kg)	164	203			212
HV test lead	7 m				
Ground lead	5 m				
Mains lead	2.5 m				
Operating temperature	-10 °C ... +50 °C				
Storage temperature	-20 °C ... +60 °C				
IP class	IP 20				
Mains supply	230 V; 50 / 60 Hz (110 V optional – StepUp Trafo)				

Anexo 3. STX40 e Ilustração do display do Teleflex integrado no STX40



Figura A3.1-3. STX40 [Megger]

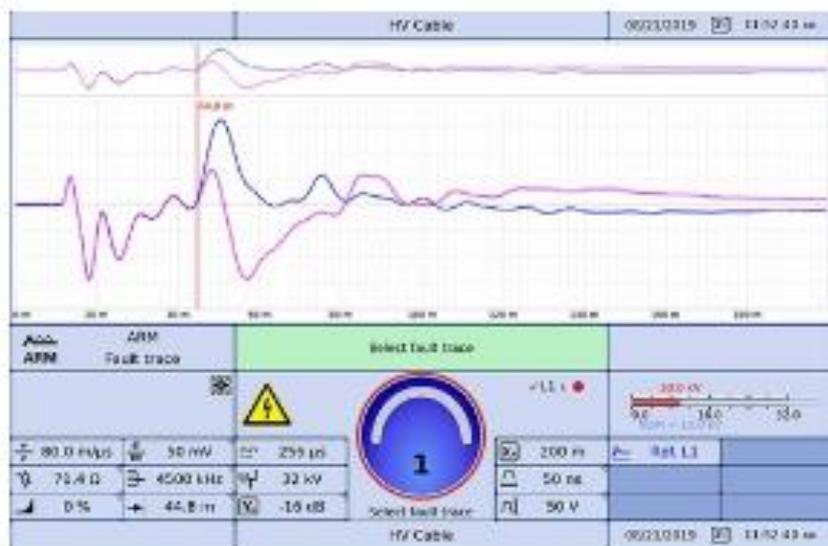


Figura A3.2-3. Ilustração do display do Teleflex integrado no STX40 [Megger]

Anexo 4. Outra vista do Gerador STX40



Figura A4.1-4. Vista frontal do gerador STX40 [Megger]



Figura A4.2-4. Vista de cima do gerador STX40 [Megger]

Anexo 5. Elementos de para execução de uma caixa de junção subterrânea



Figura A5.1-5. Elementos de para execução de uma caixa de junção subterrânea [HV Hipot]



Figura A5.2-5. Elementos de para execução de uma caixa de junção subterrânea [HV Hipot]

Anexo 6. Execução de uma caixa de junção subterrâneas



Figura A6.1-6. Execução de uma caixa de junção subterrâneas [Autoria própria]



Figura A6.2-6. Execução uma caixa de junção subterrâneas [Autoria própria]

Anexo 7. Execução de uma caixa de junção subterrâneas e veículo de localização



Figura A7.1-7. Execução uma caixa de junção subterrâneas [Autoria própria]



Figura A7.2-7. Veículo de localização de avarias [Hv Hipot]

Anexo 8. Principais materiais isolante e Comparação dos digiPhones antigo e novo

Tabela A8-8. Principais materiais isolante [14]

Natureza do material	Papel impregnado	P.V.C.		Ignífugos sem halogéneo			Polietileno			PEX			
		Isolante BT e MT	Tensão de serviço U ≤ 10kV	Bainha	Isolante reticulado BT	Bainha Termoplástica	Bainha Reticulada	Isolante MT	Isolante AT	Bainha	Isolante		
Domínio de utilização	Isolante BT e MT	Segundo composição (e tensão)		Segundo composição			Segundo composição			Segundo composição			
Temperatura máxima, °C													
- em regime permanente	65	70 a 85	60 a 85	70 a 90	70 a 90	90	70	70	70	90	90	90	
- no fim de um curto-circuito	150	160		250			150	150		250 ⁽³⁾	250	210-250	
Temperatura mínima, °C													
- armazenamento ou funcionamento em local fixo, sem choques, vibrações ou curvas acentuadas	-30	-40 a -60		-40	-40	-40	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
- desenrolamento													
- com precauções normais	+5	-5 a -10		-10	-10	-10	-5	+5	-5	-10	-10	+5	
- com precauções especiais ⁽¹⁾	-5	-10 a -25		-20	-20	-20	-10	-5 ⁽²⁾	-10	-20	-20	-5 ⁽²⁾	

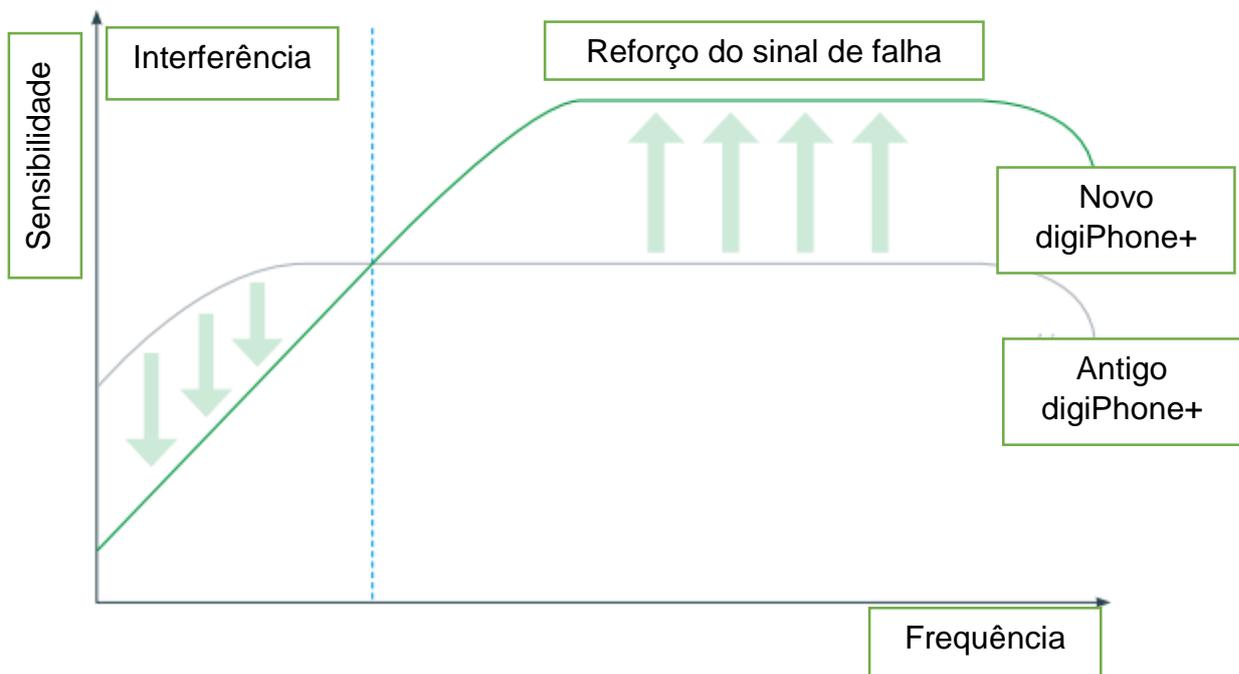


Figura A8-8. Comparação dos digiPhones antigo e novo [Megger]

Anexo 9. Componentes do digiPhone



Figura A9-9. Componentes do digiPhone [Megger]

Tabela A9-9. Descrição da Figura A9.1-9 [Megger]

1	Tough ground sound sensor
2	Selectable ground adapters
3	Ergonomic handle
4	Multifunctional display unit
5	High-end Bluetooth ANC headphone (Active noise canceling)

Anexo 10. Localizador de avaria do modelo digiPHONE e localizador por tensão de passo

Figura A10.1-10. Localizador de avarias do modelo digiPHONE e localizador por tensão de passo [Megger]



Figura A10.2-10. Unidade de ecrã multifuncional [Megger]

Anexo 11. Acta de encontros

Tabela A11.1-11. Acta de encontro 1

**FACULDADE DE ENGENHARIA****DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA****ACTA DE ENCONTROS**

REFERÊNCIA DO TEMA:	2023ELEPD06	Data:	15/03/2023
---------------------	-------------	-------	------------

1. AGENDA:

Apresentação do TAT de Estágio Profissional

2. PRESENÇAS

Supervisor	Eng.º Isac Matavel
Co-Supervisor	
Estudante	Massange, Celso Eliote Domingos
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO:

Alinhamento do tema e dos objetivos.

4. RECOMENDAÇÕES:

Alterar de “Análise do método usado na DRCM para a detecção de avarias em cabos subterrâneos de média tensão” para “Análise das técnicas para a detecção de avarias em cabos subterrâneos de média tensão”.

5. OBSERVAÇÕES	Visto que trabalhamos juntos no projeto de
----------------	--

DATA DO PROXIMO ENCONTRO	22/03/2023
--------------------------	------------

A11.11

Anexo 11. Acta de encontros

Tabela A11.2-12. Acta de encontro 2

**FACULDADE DE ENGENHARIA****DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA****ACTA DE ENCONTROS**

REFERÊNCIA DO TEMA:	2023ELEPD06	Data:	22/03/2023
---------------------	-------------	-------	------------

1. AGENDA:

Apresentação das correções do TAT de Estágio Profissional e apresentação do plano
De atividades

2. PRESENÇAS

Supervisor	Eng.º Isac Matavel
Co-Supervisor	
Estudante	Massange, Celso Eliote Domingos
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO:

Ajustes das datas do plano de atividades e assinatura do TAT e do plano de atividades

4. RECOMENDAÇÕES:

Manter em contacto com o técnico da EDM responsável pela detecção de avaria em
Cabo subterrâneos para obter mais informações.

5. OBSERVAÇÕES	
----------------	--

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	27/03/2023
-----------------------------	------------

Anexo 11. Acta de encontros

Tabela A11.3-13. Acta de encontro 3

**FACULDADE DE ENGENHARIA****DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA****ACTA DE ENCONTROS**

REFERÊNCIA DO TEMA:	2023ELEPD06	Data:	05/04/2023
---------------------	-------------	-------	------------

1. AGENDA:

Apresentação dos capítulos I e II do resumo teórico

2. PRESENÇAS

Supervisor	Eng.º Isac Matavel
Co-Supervisor	
Estudante	Massange, Celso Eliote Domingos
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO:

Apresentação das causas de avarias em cabos subterrâneo e apresentação do Método de Reflectometria como solução para detecção da avaria

4. RECOMENDAÇÕES:

Abordar no trabalho o método de ponte, e compara-lo com o método de Reflectometria

5. OBSERVAÇÕES

--

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO

12/04/2023

A11.13

Anexo 11. Acta de encontros

Tabela A11.4-14. Acta de encontro 4



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2023ELEPD06	Data:	05/04/2023
---------------------	-------------	-------	------------

1. AGENDA:

Apresentação das correções dos capítulos I e II do resumo teórico e apresentação do Capítulo III

2. PRESENÇAS

Supervisor	Eng.º Isac Matavel
Co-Supervisor	
Estudante	Massange, Celso Eliote Domingos
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO:

Comparação dos métodos de localização de avarias em cabos subterrâneos, Abordagem teórica.

4. RECOMENDAÇÕES:

Incluir cálculos justificativos da preferência de um método em relação aos outros

5. OBSERVAÇÕES	Novas tecnologia são bem vindas desde que o custo benefício seja respeitado
----------------	---

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	19/04/2023
-----------------------------	------------

A11.14

Anexo 11. Acta de encontros

Tabela A11.5-15. Acta de encontro 5

**FACULDADE DE ENGENHARIA****DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA****ACTA DE ENCONTROS**

REFERÊNCIA DO TEMA:	2023ELEPD06	Data:	19/04/2023
---------------------	-------------	-------	------------

1. AGENDA:

Apresentação dos capítulos III e IV

2. PRESENÇAS

Supervisor	Eng.º Isac Matavel
Co-Supervisor	
Estudante	Massange, Celso Eliote Domingos
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO:

Comparação dos métodos de localização de avarias em cabos subterrâneos,
Abordagem prática com cálculos justificativos inclusos e apresentação da estimativa
Do custo do projeto.

4. RECOMENDAÇÕES:

Fazer a análise de viabilidade econômica do projeto.

5. OBSERVAÇÕES

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO

26/04/2023

Anexo 11. Acta de encontros

Tabela A11.6-16. Acta de encontro 6

**FACULDADE DE ENGENHARIA****DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA****ACTA DE ENCONTROS**

REFERÊNCIA DO TEMA:	2023ELEPD06	Data:	26/04/2023
---------------------	-------------	-------	------------

1. AGENDA:

Apresentação da avaliação econômica do projeto

2. PRESENÇAS

Supervisor	Eng.º Isac Matavel
Co-Supervisor	
Estudante	Massange, Celso Eliote Domingos
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO:

Apresentação dos fornecedores dos equipamentos e dos preços, apresentação do Mapa de amortização e do mapa de fluxo de caixa.

4. RECOMENDAÇÕES:

Avançar com as conclusões e recomendações.

5. OBSERVAÇÕES

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	10/05/2023
-----------------------------	------------

A11.16

Anexo 11. Acta de encontros

Tabela A11.7-17. Acta de encontro 7

**FACULDADE DE ENGENHARIA****DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA****ACTA DE ENCONTROS**

REFERÊNCIA DO TEMA:	2023ELEPD06	Data:	10/05/2023
---------------------	-------------	-------	------------

1. AGENDA:

Apresentação das conclusões e recomendações

2. PRESENÇAS

Supervisor	Eng.º Isac Matavel
Co-Supervisor	
Estudante	Massange, Celso Eliote Domingos
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO:

Apresentação das conclusões obtidas, concluído que o método ecométrico é o mais eficaz com melhoria dos equipamentos de pós localização acústica.

4. RECOMENDAÇÕES:

Apresentar uma tabela resumo de comparação dos métodos de localização de avarias
Apresentar sugestões na execução de caixas de junção de modo a protege-las.

5. OBSERVAÇÕES

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO

23/05/2023

A11.17

Anexo 11. Acta de encontros

Tabela A11.8-18. Acta de encontro 8

**FACULDADE DE ENGENHARIA****DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA****ACTA DE ENCONTROS**

REFERÊNCIA DO TEMA:	2023ELEPD06	Data:	23/05/2023
---------------------	-------------	-------	------------

1. AGENDA:

Apresentação de todo relatório.

2. PRESENÇAS

Supervisor	Eng.º Isac Matavel
Co-Supervisor	
Estudante	Massange, Celso Eliote Domingos
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO:

Apresentação de todas correções e entrega do relatório ao supervisor para devida Classificação.

4. RECOMENDAÇÕES:

5. OBSERVAÇÕES

--

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO

--

A11.18

Anexo 12. Relatório de progresso

Tabela A12-19. Relatório de progresso



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

RELATÓRIO DE PROGRESSO

REFERÊNCIA DO TEMA:	2023ELEPD06
---------------------	-------------

1. ACTIVIDADES PLANIFICADAS

ACTIVIDADES	PRAZOS PREVISTOS
1. Apresentação dos Cap.I e II	05/04/2023
2. Apresentação dos Cap.III e IV	10/05/2023
3. Apresentação de todo relatório	19/05/2023

2. CONTROLE DE EXECUÇÃO

ACTV.	DATA	ESTÁGIO (%)	OBSERVAÇÕES	RÚBRICA
1	15/03/23	20	Melhorar o tema e alinhar os objetivos	
	22/03/2023	60	Todas correções já foram feitas avançar para a resumo teórico	
	05/04/23	100	Acrescentar a abordagem prática no resumo teórico	
2	12/04/23	30	Falar do método de ponte	
	19/04/23	76	Fazer a análise critica	
	26/04/23	100	Fazer a avaliação de viabilidade	
	15/05/23	80	Melhorar os anexos	

Anexo 13. F1- GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATORIO ESCRITO

Tabela A13.1a-20. F1- GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATORIO ESCRITO

**FACULDADE DE ENGENHARIA****DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA****F1- GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATORIO ESCRITO**Nome do estudante: Massange, Celso Eliote Domingos

Referência do tema: 2023ELEPD06

Data: 20/02/2023

Título do tema: Análise das técnicas para a detecção de avarias em cabos subterrâneos de média tensão

1. Resumo					
1.1. Apresentação dos pontos chaves no resumo (Clareza, organização, correlação com o apresentado)	1	2	3	4	5
Secção 1 subtotal (max: 5)					

2. Organização (estrutura) e explanação										
2.1. Objectivos	1	2	3	4	5					
2.2. Introdução, antecedentes e pesquisa bibliográfica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.3. Metodologias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.4. Resultados, sua análise e discussão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 2 subtotal(max: 45)										

3. Argumentação										
3.1. Criatividade e originalidade	1	2	3	4	5					
3.2. Rigor	1	2	3	4	5					

Anexo 13. F1- GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATORIO ESCRITO

Tabela A13.1b-21. F1- GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATORIO ESCRITO

3.3.Análise crítica, evidência e lógica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.4.Relação objectivos/ métodos/ resultados/conclusões	1	2	3	4	5					
3.5.Relevância	1	2	3	4	5					
Secção 3 subtotal(max: 30)										

4. Apresentação e estilo da escrita										
4.1. Legibilidade e organização	1	2	3	4	5					
4.2. Ilustração e qualidade das figuras e tabelas	1	2	3	4	5					
4.3. Estilo da escrita (fluência do texto, uso da língua e gramática)	1	2	3	4	5					
4.4.Fontes bibliográficas (citação correcta, referências, etc)	1	2	3	4	5					
Secção 4 subtotal(max: 20)										

Total de pontos (max:100)	
----------------------------------	--

Nota (=Total*0,2)	
--------------------------	--

Nota: Quando exista a componente gráfica (desenhos técnicos), a nota acima é multiplicada por 0,8 cabendo os restantes 20% do peso à referida parte gráfica.

Anexo 14. F2- GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA

Tabela A14.1a-22. F2- GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

F2- GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA

Nome do estudante: Massange, Celso Eliote Domingos

Referência do tema: 2023ELEPD06

Data: 20/02/2023

Título do tema: Análise das técnicas para a detecção de avarias em cabos subterrâneos de média tensão

1. Introdução										
1.1. Apresentação dos pontos chaves na introdução (Contexto e importância do trabalho)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 1 subtotal(max: 10)										

2. Organização e explanação										
2.1. Objectivos	1	2	3							
2.3. Metodologia	1	2	3	4						
2.4. Resultados, sua análise e discussão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações)	1	2	3	4	5	6	7	8		
Secção 2 subtotal(max: 25)										

3. Estilo da apresentação										
3. 1. Uso efectivo do tempo	1	2	3	4	5					
3.2. Clareza, tom, vivacidade e entusiasmo	1	2	3	4	5					
3.3. Uso e qualidade dos audio-visuais	1	2	3	4	5					
Secção 3 subtotal(max: 15)										

Anexo 14. F2- GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA

Tabela A14.1b-23. F2- GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA

4. Defesa										
4.1. Exactidão nas respostas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.2. Domínio dos conceitos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.3. Confiança e domínio do trabalho realizado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.4. Domínio do significado e aplicação dos resultados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.5. Segurança nas intervenções	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 3 subtotal(max: 50)										

Total de pontos (max: 100)		Nota (=Total*0,2)	
---------------------------------------	--	------------------------------	--

Anexo 15. F3- FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL

Tabela A15-24. F3- FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL

**FACULDADE DE ENGENHARIA****DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA****F3- FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL**Nome do estudante: Massange, Celso Eliote Domingos

Referência do tema: 2023ELEPD06

Data: 20/02/2023

Título do tema: Análise das técnicas para a detecção de avarias em cabos subterrâneos de média tensão

AVALIADOR	NOTA OBTIDA	PESO (%)
Relatório escrito (F1)	N1=	A= 60
Apresentação e defesa do trabalho (F2)	N2=	B= 40

CLASSIFICAÇÃO FINAL = $(N1 \cdot A + N2 \cdot B) / 100$	
---	--

OS MEMBROS DO JURI:

O Presidente	
O Oponente	
Os Supervisores	