



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

Faculdade De Engenharia

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Engenharia Eléctrica

Estágio Profissional

Substituição dos cabos subterrâneos por linha aérea de média tensão de 11 KV que interligam a subestação de aeroporto ao PS12 do Bairro Aeroporto a Chamankulo.

Nome:

Nhalugume, Edson Carlos

Coordenador:

Eng: Anacleto Albino

Supervisor:

Eng. José Chissico

Supervisor da empresa:

Eng. Daniel Nhancale.

Maputo, 25 de Novembro de 2022

Edson Carlos Nhalugume

Estágio profissional

Referência do tema: 2022ELEPD32

Substituição dos cabos subterrâneos por linha aérea de média tensão de 11 KV que interligam a subestação de aeroporto ao PS12 do Bairro Aeroporto a Chamankulo.

Trabalho de estágio profissional de fim do curso para obtenção do Grau de licenciatura em Engenharia Eléctrica pela Faculdade de Engenharia – UEM.

Coordenador: Eng: Anacleto Albino.

Supervisor: Eng: José Chissico.

Maputo, 25 de Novembro de 2022

AGRADECIMENTOS

Em princípio agradeço a Deus por essa enorme graça que me concede todos os dias, que é a vida. E por tudo o que tem feito na minha vida.

Um dos grandes pilares da vida é a família e é com muita satisfação que dedico esse enorme abraço de agradecimento pelo apoio que me tem dado nesses longos anos de vida, sem ela nada teria sido possível, em especial minha mãe Glória Nhameleque e meu irmão Crisaldo Malatisse. Também a minha família em geral que apoia e vem dando forças para que continue nessa jornada.

Ao corpo docente e a faculdade de engenharia em geral meu muito obrigado pela formação e transmissão de conhecimento sem vocês nada disso teria sido possível. Foi onde aprendi o melhor da vida e como ser uma pessoa melhor e um profissional ainda mais qualificado.

A minha enorme satisfação e agradecimento à Electricidade de Moçambique, E.P. pela oportunidade a mim cedida para estagiar com uma equipe de trabalho satisfatório e muito competente para resolver prontamente os problemas; Meu Obrigado.

Palavras me faltam para agradecer muito ao Doutor Agostinho do Hospital Militar e Doutor Fidélis Sitefane, Doutor Artur Júnior, Doutora Aurélia António e a todo corpo funcional do Instituto de Coração (ICOR) que tem vindo apoiar-me nesses últimos anos. Os meus eternos agradecimentos.

Não dá para esquecer aos amigos e conhecidos que directamente e indirectamente dão uma ajuda sou grato por tê-los.

RESUMO

De modo a achar soluções para o fornecimento de sem interrupções de energia eléctrica aos seus consumidores sem interrupções a EDM vem procurando maneira mais eficaz. Neste presente trabalho retrata a implementação de uma linha área como solução mais viável para a distribuição e fornecimento de energia em circuitos de média tensão, o objectivo descrever os aspectos constitucionais e técnicos usados na criação de redes aéreas. Deste modo é necessário conhecer as vantagens e desvantagens proporcionadas pela rede aérea durante o funcionamento normal, período de manutenção e tempo de vida útil em comparação com os cabos subterrâneos existentes.

O desenvolvimento desse trabalho foi realizado com a ajuda de manuais obtidos durante o curso e informações oferecida pela Electricidade de Moçambique.

A proposta de substituição dos cabos subterrâneos existentes é devido as constantes avarias ao longo do circuito que necessitam de reposição e manutenção constante. Entretanto o novo circuito deve trazer melhorias a rede em aspectos de desempenho e custos de implementação. Por sua vez para projectar esse circuito foi necessário recorrer se ao dimensionamento eléctrico que lida com parâmetros de funcionamento da linha e o dimensionamento mecânico que estuda os esforços criados pelos cabos e factores atmosféricos sobre os apoios. Com recurso a plataforma topográfica *online Google earth* foi possível demonstrar o troco que a linha percorre respeitando a segurança de pessoas e bens.

INFORMAÇÕES SOBRE A EMPRESA



ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, E.P.

A Electricidade de Moçambique, E.P é uma empresa pública de produção, transporte, distribuição e comercialização de energia eléctrica de Moçambique.

Histórico

A EDM foi criada em resultado da privatização da empresa estatal Electricidade de Moçambique, E.E., a qual havia sido criada em 1977 pelo governo da República Popular de Moçambique, dois anos depois da independência. Quando foi criada em 1977, a empresa surgia da fusão de vinte e cinco unidade de produção e/ou distribuição dispersas pelo território de Moçambique.

Missão

Produzir, transportar, distribuir e comercializar energia eléctrica de boa qualidade, de forma sustentável, para iluminar e potenciar a industrialização do país;

Visão

Transformar a EDM numa Utilidade Inteligente e Sustentável, que dá acesso à energia eléctrica de qualidade a cada moçambicano e exerce liderança no Mercado Regional;

Valores

- Integridade;
- Transparência;
- Igualdade;
- Competitividade e
- Espírito de Equipa.

Lema

Iluminando a transformação de Moçambique;

Objectivos Estratégicos até 2030:

- ❖ Alcançar o acesso universal à energia eléctrica;
- ❖ Transformar Moçambique num pólo regional de energia eléctrica; e
- ❖ Alcançar a igualdade do género

	Pág.
ÍNDICE	
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iii
INFORMAÇÕES SOBRE A EMPRESA	iv
ÍNDICE	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objectivos.....	2
1.1.1 Objectivo geral.....	2
1.1.2 Objectivos específicos.....	2
1.2 Estrutura do projecto	3
2 CABO SUBTERRÂNEO	4
2.1 Alma condutora	5
2.1.1 Composição e forma da Alma Condutora.....	6
2.2 Camada Isolante	7
2.2.1 Materiais termoplásticos.....	8
2.2.2 Elastómeros e polímeros reticuláveis	8
2.2.3 Camadas semi-condutoras.....	8
2.2.4 Polietileno (PE).....	9
2.2.5 Polietileno reticulado (XLPE).....	9
2.2.6 Policloreto de vinilo (PVC).....	10
2.3 Revestimentos metálicos.....	10
2.3.1 Blindagem ou écran metálico	10
2.3.2 Armadura.....	11

2.3.3	Revestimentos não metálicos (bainhas).....	11
2.4	Acessórios para instalação de cabos subterrâneos	13
2.4.1	Caixas de junção	13
2.4.2	Caixas de derivação	14
2.4.3	Caixas de terminais	15
2.5	Causa de avarias em cabos subterrâneos	16
2.6	Técnicas de colocação dos cabos.....	16
2.7	Profundidade de colocação	17
3	LINHAS AÉREAS	18
3.1	Condutor nu.....	18
3.2	Apoio	19
3.3	Isoladores	20
3.4	Armações	21
3.5	Vantagens e desvantagens de uso de linhas aéreas em relação aos cabos subterrâneos.....	22
4	CÁLCULO ELÉCTRICO	24
4.1	Intensidade de corrente nominal	24
4.2	Parâmetros eléctricos	25
4.2.1	Resistência eléctrica.....	25
4.2.2	Coeficiente de auto-indução	26
4.2.3	Reactância.....	27
4.3	Perdas de energia	27
4.4	Quedas de tensão	27
4.5	Intensidade máxima da corrente de curto-circuito admissível	28
5	CÁLCULO MECÂNICO	29
5.1	Tensões mecânicas máximas	29

5.2	Acções que afectam as linhas.....	30
5.3	Acções variáveis.....	30
5.4	Forças que actuam nos condutores	30
5.5	Estado atmosférico mais desfavorável	32
5.6	Coeficientes de sobrecarga	32
5.7	Vão crítico.....	33
5.8	Equação dos estados atmosféricos.....	33
5.9	Flecha máxima	34
5.10	Seleccção dos isoladores.....	35
5.11	Distâncias de segurança Estabelecidas	35
5.12	Fundações dos apoios	38
5.13	Ligação à terra dos apoios de betão armado	38
5.14	Escolha dos pára-raios.....	39
6	PROJECTO ELÉCTRICO	40
6.1	Avaliação da extensão da linha	41
6.2	Apresentação dos cálculos para o projecto.....	42
6.2.1	Cálculo eléctrico	42
6.2.2	Cálculo mecânico	43
7	Estimativa de custo.....	51
8	CONCLUSÃO	53
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
	ANEXOS	A11 - 55

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Lista de abreviaturas

AAAC	Condutor de liga de alumínio
AAC	Condutor de alumínio
AT	Alta tensão
EDM	Electricidade de Moçambique
HRFSC	Esteira horizontal de função de reforço em alinhamento
MT	Média tensão
PE	Polietileno
PT	Poste de transformação
PVC	Policloreto de vinilo
RSLEAL	Regulamento de segurança de linhas eléctricas de alta tensão
XLPE	Polietileno reticulado

Lista de símbolos

	Unidade
c - Coeficiente de forma	sem unidade
d - Diâmetro do condutor	[m]
E - Módulo de elasticidade	$\left[\frac{daN}{mm^2}\right]$
f_{max} – Flecha máxima	[m]
F_v - Força proveniente da ação do vento	[daN/m]
F_x - Solicitação mecânica transversal à linha	[daN]
F_y - Solicitação mecânica longitudinal à linha	[daN]
F_z - Solicitação mecânica vertical à linha	[daN]
S - Comprimento do vão	[m]
L_{cr} - Vão crítico	[m]

L_{eq} - Vão equivalente	[m]
m_i - Coeficiente de sobrecarga para o estado atmosférico	sem unidade
β_1 – Ângulo	[grados]
S_c - Seção do condutor	[mm ²]
ΔU - Queda de tensão	[V]
α - Coeficiente de dilatação térmica	[1/°C]
W_v - Peso específico linear do condutor	[daN]
θ_i - Temperatura no estado mais desfavorável	[°C]
θ_2 - Temperatura no estado de Verão	[°C]
θ_1 - Temperatura no estado atmosférico de Inverno	[°C]
T_{max} - Tensão montagem máxima da linha	[daN/mm ²]

LISTA DE FIGURAS	Pág.
Figura 1 - cabo monopolar. [2].....	4
Figura 2 - cabo tripolar. [2].....	4
Figura 3 - cabo com alma circular. [10]	6
Figura 4 - cabos com alma sectorial. [10].....	7
Figura 5 - Cabo subterrâneo de Média Tensão.....	12
Figura 6 - constituição de um cabo subterrâneo.....	12
Figura 7 - caixa de junção monopolar. [6].....	14
Figura 8 - caixa de terminais.	15
Figura 9 - Cabo enterrado directamente no solo. [10]	16
Figura 10 - condutor nu: (a) alumínio (b) Ligas de alumínio. [15]	19
Figura 11 - Poste de betão (a) vista frontal (b) vista lateral	20
Figura 12 - Tipos de isoladores: (a) em cadeia, (b) para acoplamento, (c) rígido.	21
Figura 13. - Amarração tipo esteira horizontal.....	21
Figura 14 - Implantação de apoio (a) normal (b) para reforço	22
Figura 15 - Fluxograma do estado mais desfavorável.....	32
Figura 16 - Representação do vão e flecha. [15].....	34
Figura 17 - Perfil do sistema de aterramento.....	38
Figura 18 - linha de MT que interliga a SE4 ao PS12.....	41
Figura 19 - Representação dos esforços exercidos em apoios em ângulo. [7]	46

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 1 - características físicas, eléctricas e mecânicas. [10]	5
Tabela 2 - comparação de cabos subterrâneos e linhas aéreas de MT.	22
Tabela 3 - Densidade da corrente económica.	25
Tabela 4 – Valores de coeficientes de termoresistividade e de resistividade.	25
Tabela 5 - Constantes para cada tipo de material condutor k1 e k2.	28
Tabela 6 - Valores da pressão em função do vento. [4]	30
Tabela 7 - Coeficiente de forma. [4]	31
Tabela 8 - Temperaturas para os estados de inverno e primavera. [4]	33
Tabela 9 - Condições para obtenção da flecha máxima na linha. [4]	34
Tabela 10 - Características do condutor AAAC – ASTER 228.	43

1 INTRODUÇÃO

A rede de distribuição de energia eléctrica em média tensão é responsável por realizar a distribuição da energia eléctrica recebida da rede nacional de transporte para os consumidores, é a etapa crucial no fornecimento de energia aos consumidores. Nesse sentido, a energia eléctrica é em primeiro lugar, transportada em longas distâncias pela rede de transporte. Isto ocorre em linhas de alta tensão (AT) que alimentam as subestações, de seguida, a electricidade é entregue à rede de distribuição em média tensão, que a transporta em distâncias menores, até chegar às instalações dos consumidores. [16]

Entretanto, de modo a garantir maior fiabilidade no fornecimento de energia é necessário que a rede de distribuição ofereça segurança, eficiência e qualidade para que não haja interrupção do fornecimento durante varias horas, causadas por descargas atmosféricas ou falhas eléctricas de uma linha, ou durante o período de manutenção da mesma.

Durante o processo de concepção e projecção de linhas eléctricas analisam se vários factores até a selecção do melhor tipo de linha a implementar nesse território, durante essa selecção pode-se escolher uma linha subterrânea ou aérea. Os factores que definem a escolha de uma em vez da outra serão desenvolvidos ao longo deste trabalho.

Na saída da subestação do aeroporto foram instalados três cabos subterrâneos monopolares para distribuição e alimentação de postos de transformação e outras cargas, onde ao longo do circuito têm-se registado avarias frequentes entre eles defeito no isolamento ao longo do cabo, rompimento ou fuga de correntes nas caixas de junção. Esses problemas têm resultado em custos para a empresa e por vezes em interrupção no fornecimento de energia aos consumidores.

Os cabos subterrâneos de distribuição apresentam vantagens sobre a rede de distribuição aérea consideráveis que habilitam sua instalação em todos os locais do mundo. Sua estrutura principal se mantém enterrada, mantendo níveis de segurança e confiabilidade altíssimos.

O que torna este tipo de projecto insustentável é devido ao custo de implementação que é altíssimo em comparação a condutores nus, constituindo assim um dos principais motivos de escolha de linhas aéreas. As linhas aéreas apresentam baixo custo de implementação e facilidade de detectar avarias na mesma.

Este trabalho tem como finalidade substituir os cabos subterrâneos de média tensão (MT) de 11 KV que interligam o SE4 e o ponto de distribuição PS12, com vista a reduzir os problemas de interrupção e manutenção constante sobre o circuito, garantindo assim qualidade, continuidade e eficiência na distribuição de energia.

1.1 Objectivos

1.1.1 Objectivo geral

Substituir a linha subterrânea por uma linha aérea de média tensão de 11 KV.

1.1.2 Objectivos específicos

- ❖ Definir e caracterizar linhas subterrâneas e aéreas;
- ❖ Mencionar os tipos de matérias usados em cada linha;
- ❖ Analisar as vantagens e desvantagens dos dois tipos de linhas eléctricas;
- ❖ Avaliar a extensão da linha e suas perdas eléctricas;
- ❖ Dimensionar e especificar os parâmetros da nova linha.

1.2 Estrutura do projecto

Este documento encontra-se estruturado em sete capítulos, sendo o primeiro capítulo o presente.

No capítulo 2 descreve-se as características dos cabos, analisando-se as várias camadas da estrutura de um cabo e seus materiais e acessórios de instalação para cabos subterrâneos numa rede eléctrica, suas funções e objectivos.

No Capítulo 3 é retratado sobre a constituição de uma linha aérea de MT onde fala-se dos condutores nus, isoladores, tipos de amarrações e apoios.

No capítulo 4 são apresentados os parâmetros de cálculo eléctricos de uma linha aérea.

No capítulo 5 é o cálculo mecânico de linha aérea em média tensão, de modo a garantir a estabilidade da linha nos apoios. Estes procedimentos de cálculo serão em seguida implementados na aplicação fazendo referência às respectivas normas.

No penúltimo capítulo serão apresentados os resultados dos cálculos eléctricos e mecânicos da linha projectada de modo a garantir segurança e qualidade de funcionamento.

No último Capítulo serão apresentadas as principais conclusões da dissertação e referidas perspectivas futuras para o trabalho desenvolvido.

2 CABO SUBTERRÂNEO

As três partes essenciais constituintes de um cabo são:

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

O nome de condutor é usado para designar a alma condutora em conjunto com a camada isolante. No caso de se ter um condutor com um revestimento exterior temos um cabo monopolar, como é exemplo

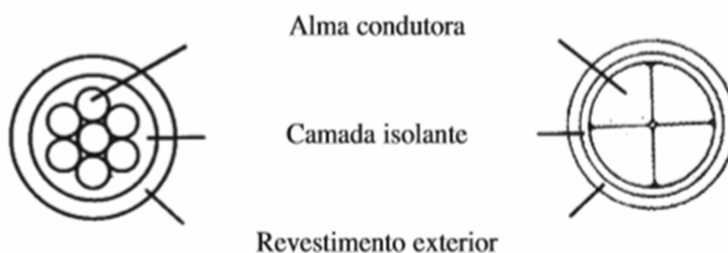


Figura 1 - cabo monopolar. [2]

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

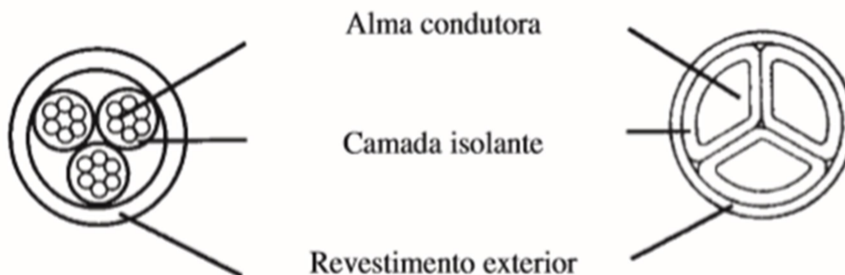


Figura 2 - cabo tripolar. [2]

2.1 Alma condutora

A alma condutora pode-se caracterizar essencialmente pela:

Natureza do metal condutor,

Secção nominal,

Composição e forma.

Quanto à natureza a alma condutora

Pode ser em cobre recozido ou estanhado, em alumínio 3/4 duro ou em ligas de alumínio que aumentam a sua resistência mecânica.

Tabela 1 - características físicas, eléctricas e mecânicas. [10]

Características	Unidades	Cobre	Alumínio	Liga	ACS	Aço
Massa específica	Kg/dm ³	8,89	2,703	2,703	6,59	7,78
Coefficiente dilatação linear	°C ⁻¹	17,0x10 ⁻⁶	23,0x10 ⁻⁶	23,0x10 ⁻⁶	13,0x10 ⁻⁶	11,5x10 ⁻⁶
Modulo de elasticidade	Kg/mm ²	12700	7000	7000	16200	20700
Resistividade a 20°C	Ω.mm ² /m	0,017774	0,028264	0,0305 a 0,0325	0,0848	0,1916
Condutividade a 20°C (%)	I.A.C.S.	97,0	61,0	52,5	20,3	9,0
Cof. Temp. a 20°C	°C ⁻¹	0,00381	0,00403	0,00360	0,00360	-
Calor específico a 20°C	Kcal/Kg°C	0,092	0,215	0,215	0,136	0,110

A tabela acima apresenta as principais características do cobre e do alumínio utilizados nos condutores e nos cabos. Devem estar dentro de certas tolerâncias em relação aos materiais tipo definidos por vários documentos nacionais e internacionais.

Poder-se-á observar, nestas características, que em igualdade de resistência eléctrica um condutor de alumínio tem uma secção 1,6 vezes superior à de um condutor em cobre, para uma massa sensivelmente igual a metade, o que explica independentemente, das

vantagens económicas, o sucesso crescente do alumínio no seio dos utilizadores. No entanto, em casos particulares, o uso do cobre permanece o mais indicado, em virtude das suas características mecânicas (flexibilidade) ou do seu diâmetro inferior para a alma condutora.

2.1.1 Composição e forma da Alma Condutora

Em relação à composição da alma condutora, dependendo da secção nominal e da flexibilidade pretendida, ela poderá ser maciça ou multifilar.

Sendo maciça, é constituída por apenas um condutor sólido e geralmente a sua utilização destina-se às secções não muito elevadas.

Sendo multifilar, é constituída por diversos fios cableados, e que em princípio, confere uma maior flexibilidade. Os fios estão dispostos em hélice numa ou mais camadas distintas, e o sentido do cableamento é sucessivamente total de fios é dado pela expressão

$$N^{\circ} \text{ total de fios} = 1 + 3n(n + 1)$$

Quanto à forma da alma conduta, ela é habitualmente circular ou sectorial

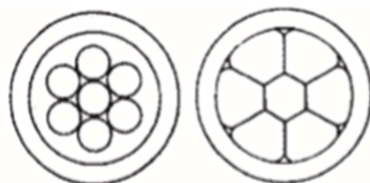


Figura 3 - cabo com alma circular. [10]

As almas condutoras circulares são constituídas por camadas concêntricas. Para secções muito elevadas (geralmente acima dos 800 [mm²), podem ser segmentada, ou seja, composta por vários elementos cableados, com forma sectorial, e que podem ser ligeiramente isolados entre eles. A finalidade desta constituição é a redução tanto do efeito de proximidade com do efeito peculiar, e conseqüentemente a redução da resistência óhmica em corrente alternada, o que vai permitir um maior aproveitamento da secção útil.



Figura 4 - cabos com alma sectorial. [10]

Normalmente a forma sectorial é aplicada em cabos de 3 ou 4 condutores, pois permite uma melhor ocupação do espaço, o que provoca uma diminuição das suas dimensões e conseqüentemente o seu peso também irá decrescer.

Outra forma de reduzir as dimensões e pesos do cabo é compactar as almas condutoras.

2.2 Camada Isolante

Antigamente a camada isolante era feita a papel impregnado a óleo, mas com a descoberta de isolantes sintéticos com melhores propriedades, esse tipo de isolação foi caindo em desuso.

Hoje em dia é feita exclusivamente de isolantes sintéticos, também conhecidos como isolantes secos, pois estes suplantam em muito, a camada isolante a papel impregnado a óleo, tanto a nível de instalação como de exploração. Temperaturas de funcionamento mais elevadas, maior capacidade de transporte de energia, para secções iguais, maior simplicidade na execução de acessórios, menor probabilidade de avaria simultânea nos três condutores, são algumas das vantagens do uso de isolantes sintéticos, que conferem uma maior fiabilidade da instalação. No entanto, ainda há muitos cabos, instalados na rede subterrânea, com isolamento a papel impregnado a óleo, pois não é economicamente viável a sua substituição, sem mais nenhuma justificação.

Os diferentes isolantes sintéticos podem ser divididos em dois grandes grupos:

- ❖ Materiais termoplásticos;
- ❖ Elastómeros e polímeros reticuláveis.

2.2.1 Materiais termoplásticos

Têm como característica a variação de plasticidade, de uma maneira reversível, que é provocada pela temperatura. Os mais usados são o policloreto de vinilo (PVC) e o polietileno (PE).

2.2.2 Elastómeros e polímeros reticuláveis

Têm como característica a elasticidade, que confere uma grande capacidade de deformação. Depois da sua extrusão precisam de passar por uma operação de vulcanização ou de reticulação, com a finalidade de lhes estabelecer ligações transversais entre as cadeiras moleculares de forma irreversível.

Os mais usados são o polietileno reticulado (PEX), borracha etil-propílica e borracha de silicone. Convém realçar que quanto maior for a tensão de funcionamento do cabo, maior é a exigência relativa à qualidade dieléctrica da cama isolante.

2.2.3 Camadas semi-condutoras

As camadas semi-condutoras, habitualmente, só são utilizadas acima da média tensão, geralmente acima dos 10 kV, com o objectivo 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. Sem a aplicação destas camadas semi-condutoras, tal não era possível, por causa das irregularidades das almas condutoras multifilares e da textura dos ecrãs 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.

Características dos isolantes sintéticos mais comuns

Os isolantes sintéticos mais comuns são:

- ❖ Polietileno (PE)
- ❖ Polietileno reticulado (XLPE)
- ❖ Policloreto de vinilo (PVC)

2.2.4 Polietileno (PE)

O polietileno é obtido por polimerização a alta pressão do etileno gasoso com um elevado grau de pureza. Ele pode ser dividido em dois grupos, o polietileno de baixa densidade (PEBD), com uma densidade entre 0,91 e 0,93, muito utilizado no isolamento dos cabos de alta tensão, e o polietileno de alta densidade (PEAD), com uma densidade entre 0,94 e 0,96.

O polietileno tem excelentes qualidades dieléctricas, das quais se destacam o pequeno factor de perdas e a baixa permitividade dieléctrica relativa, independentemente da temperatura. Ainda de realçar a elevada resistência de isolamento e de rigidez dieléctrica. As suas qualidades mecânicas também são muito boas, pois para além de ter uma boa resistência aos choques, tem também uma certa flexibilidade. Apresenta ainda uma elevada resistência à maioria dos agentes químicos assim como dos agentes atmosféricos. A sua grande desvantagem é a fraca resistência à propagação da chama, apesar de não libertar gases corrosivos durante a combustão. Deste modo, a sua utilização fica praticamente limitada ao isolamento. A conjugação de todos estes factores, faz com que o polietileno seja o escolhido para isolante no fabrico de cabos de alta e muito alta tensão.

2.2.5 Polietileno reticulado (XLPE)

O polietileno reticulado tem boas características dieléctricas, apesar de estas não atingirem os níveis das do polietileno. Porém, face à sua reticulação, as características mecânicas e estabilidade térmica são consideravelmente melhores. Deste modo permite temperaturas máximas de 90° C em regime permanente, de 110° C a 130° C em sobrecarga e 250° C em curto-circuito. A sua combustão não liberta gases corrosivos e a sua resistência à propagação da chama pode ser melhorada, através de uma composição especial. Apesar da sua reticulação, o seu comportamento ao frio não vai ser alterado.

O polietileno reticulado apresenta um maior interesse quando as condições do meio envolvente são desfavoráveis a nível térmico, ou em regimes de sobrecarga temporários. O polietileno reticulado é essencialmente utilizado como isolante para cabos de baixa tensão, média tensão e alta tensão.

2.2.6 Policloreto de vinilo (PVC)

O policloreto de vinilo é obtido através da polimerização do cloreto de vinilo, e incorporação de plastificantes, estabilizantes, cargas. A utilização de corantes específicos, permite-lhe dispor de uma variada gama de cores. Apesar de apresentar boas características dieléctricas como é o caso do elevado valor da resistência de isolamento e da rigidez dieléctrica, apresenta elevadas perdas dieléctricas, devido ao seu elevado factor de perdas, que podem ser críticas na média tensão. Além disso a sua permissividade dieléctrica e capacidade linear são muito elevadas. As suas características mecânicas são geralmente boas, como são os casos da carga de ruptura, resistência ao desgaste, compressão e choque.

Contudo a sua flexibilidade é reduzida o que se traduz numa pequena utilização em instalações móveis. Apresenta uma boa resistência ao envelhecimento térmico, e com as habituais misturas permitem uma temperatura máxima de 70° C em regime permanente. Existem certas misturas que permitem um aumento da temperatura até 105° C. Ele oferece também uma boa resistência à água e à maioria dos agentes químicos, e uma muito boa resistência à propagação da chama, contudo, durante a sua combustão liberta gases nocivos. O PVC é bastante usado como isolante em cabos de baixa tensão e de média tensão mas apenas até 10 kV, devido ao elevado factor de perdas. A sua utilização como bainha exterior está também largamente generalizada.

2.3 Revestimentos metálicos

Os revestimentos metálicos estão divididos em dois tipos, que diferem na sua função e localização, e são eles:

- ❖ Écran metálico;
- ❖ Armadura.

2.3.1 Blindagem ou écran metálico

Regra geral, o écran metálico é ligado à terra.

Função:

- ❖ Garantir a protecção das pessoas no caso de o cabo ser perfurado por um corpo condutor exterior;
- ❖ Permite o escoamento das correntes capacitivas e das correntes de curto-circuitos;
- ❖ Possibilita também criar uma superfície equipotencial, e deste modo orientar as linhas de força do campo eléctrico, que pode dar origem a cabos de campo radial e a cabos de campo não radial.

2.3.2 Armadura

Objectivo assegurar a protecção mecânica do cabo, quando esse é submetido a esforços significativos, quer transversais como a compressão e os choques, quer longitudinais como a tracção, ou ainda durante a colocação e exploração.

Eventualmente a armadura também, poderá ser utilizada com a função de écran metálico, perante determinadas disposições no plano eléctrico.

A armadura mais comum em cabos multipolares é composta por duas fitas de aço, enroladas em hélice, de modo a que nenhum intervalo seja visível. Desde que não haja esforços longitudinais ou condições específicas de flexibilidade ou corrosão, este tipo de armadura satisfaz todas as situações.

No caso de se exigir uma grande flexibilidade é usada uma armadura composta por uma camada de fios de aço cruzados (tranca). No caso de haver elevados esforços a armadura deve ser composta por duas camadas de fios de aço enrolados em hélice.

Não são usadas armaduras em aço nos cabos monopolares, pois as suas características magnéticas reduzem significativamente a capacidade de transporte de condutor. Em alternativa pode-se usar armaduras de alumínio em dupla fita enroladas em hélice. Outra hipótese é utilizar um tubo como protecção mecânica exterior, substituindo assim a armadura.

2.3.3 Revestimentos não metálicos (bainhas)

Os revestimentos não metálicos são conhecidos por bainhas, e podem ser divididos em:

- ❖ Bainhas interiores;
- ❖ Bainhas exteriores.

2.3.3.1 As bainhas interiores

Função:

- ❖ Assegurar a estanquidade do cabo, ou seja, não permitir que a camada isolante entre em contacto com a água ou qualquer agente químico exterior ao cabo.

Geralmente são utilizados materiais sintéticos, dos quais os mais comuns são o PVC e o Polietileno. Estas bainhas têm também como função preencher os espaços vazios entre os condutores, para lhes conceder uma determinada geometria, habitualmente cilíndrica. Ou seja, desempenham um papel de enchimento.

2.3.3.2 As bainhas exteriores

Função:

- ❖ Assegurar a protecção exterior mecânica e química do cabo.

Para tal utilizam-se materiais sintéticos, que podem variar conforme a aplicação pretendida, e deve ter em conta alguns factores como resistência mecânica quer na colocação, quer na exploração, resistência aos agentes químicos, resistência a diferentes temperaturas, estanquidade, flexibilidade. Os mais utilizados são o PVC e o polietileno.

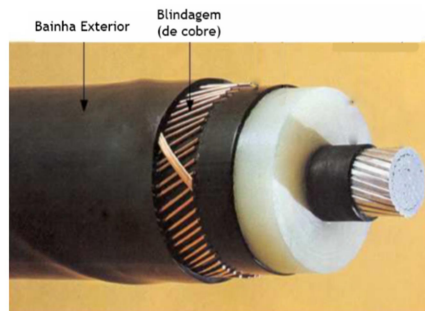


Figura 5 - Cabo subterrâneo de Média Tensão.

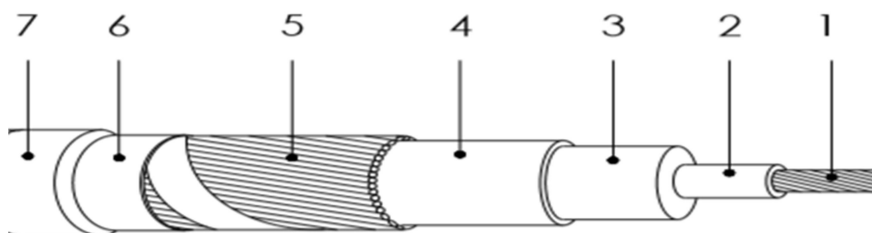


Figura 6 - constituição de um cabo subterrâneo.

- 1 - Condutor;
- 2 - Ecrã sobre o condutor;
- 3 - Isolação do condutor;
- 4 - Ecrã sobre a isolação;
- 5 - Blindagem;
- 6 - Barreira de estanquidade longitudinal;
- 7 - Bainha exterior (de protecção)

2.4 Acessórios para instalação de cabos subterrâneos

Os cabos subterrâneos são fornecidos com um comprimento limitado de forma a permitir que as suas bobinas de enrolamento sejam fáceis de transportar e tenham cómodo manuseamento. Desta forma, as instalações que precisem de um grande comprimento de cabo subterrâneo, vão necessitar de fazer várias ligações entre os diferentes troços de cabo.

Normalmente são necessárias 2 a 4 junções por quilómetro de cabo. Para tal, existem as caixas de junção. Por vezes é necessário derivar dum cabo principal, um ou mais cabos secundários, regra geral com secção inferior, e para isso são utilizadas as caixas de derivação. Também pode existir a necessidade de fazer a ligação entre um cabo subterrâneo e uma linha aérea, ou um barramento de condutores nus no exterior, ou até mesmo no interior de um edifício, e para isso são usadas as caixas terminais.

2.4.1 Caixas de junção

O objectivo das junções consiste em estabelecer a continuidade eléctrica ao nível do condutor entre dois troços de cabo. No que diz respeito à blindagem, a junção pode garantir a continuidade eléctrica da mesma ou a sua interrupção. A junção deverá garantir o desempenho e fiabilidade da ligação.

Assim, as junções devem permitir:

- ❖ A ligação (conexão) dos condutores através de um conector de união;
- ❖ A reconstituição da isolação do cabo, bem como dos diferentes elementos que o constituem;

- ❖ O controlo da distribuição do campo eléctrico, para evitar a concentração localizada de linhas de campo, evitando-se, dessa forma, a perfuração eléctrica da junção;
- ❖ A continuidade eléctrica da blindagem e, quando solicitado, a ligação desta à terra;
- ❖ A protecção (dos seus componentes interiores e do próprio cabo) em relação ao meio ambiente que as rodeia. Nomeadamente, devem assegurar a impermeabilidade (estanquidade) à água e ser resistentes à corrosão do solo.

A fiabilidade da junção não deve ser inferior à do cabo, pelo que deve ser dada especial atenção aos gradientes eléctricos garantidos ao nível das blindagens sobre o condutor e sobre a isolação, pelo cabo.

A ligação à terra deve ser feita de modo a não prejudicar a impermeabilidade à água da junção e do cabo e de preferência sem interferir com a execução do trabalho.



Figura 7 - caixa de junção monopolar. [6]

2.4.2 Caixas de derivação

Objectivo

Efectuar ramificações secundárias a partir de um cabo principal, para permitirem distribuir a alimentação por vários cabos.

As caixas de derivação podem ter uma ou duas derivações:

No caso de ter uma derivação são normalmente designadas por caixas em T, pois a derivação faz um ângulo recto. Se a derivação não for feita segundo um ângulo de 90°, então deve-se usar uma caixa de derivação em Y.

No caso de ter duas derivações, e são normalmente designadas por caixas em cruz, isto no caso de as derivações fazerem um ângulo recto. Se as derivações não forem feitas segundo um ângulo de 90°, então deve-se usar uma caixa de derivação em duplo Y. Tal como nas caixas de junção, as caixas de derivação são pontos débeis das redes subterrâneas.

2.4.3 Caixas de terminais

Dispositivo colocado no fim do cabo para assegurar a ligação eléctrica com outras partes do sistema para garantir a isolação do cabo até ao ponto de ligação.

As terminações devem permitir:

- ❖ A ligação (conexão) do condutor por intermédio de um terminal;
- ❖ A selagem do cabo contra a possível entrada de água ou de humidade;
- ❖ A ligação da blindagem à terra.

A protecção do material da isolação contra as radiações ultravioletas, os agentes atmosféricos e, em todo o caso, o ambiente envolvente;



Figura 8 - caixa de terminais.

A terminação (de uso no) exterior é destinada a ser utilizada em locais expostos às radiações solares ou aos agentes atmosféricos (intempéries) ou aos dois. As caixas terminais, do ponto de vista eléctrico, são consideradas pontos delicados das canalizações eléctricas, visto serem colocadas no limite de circuitos com impedâncias diferente, o que facilita o aparecimento de sobretensões.

No caso destas caixas, efectuem a ligação de uma linha aérea com um cabo subterrâneo, há que ter em consideração a ocorrência de sobretensões atmosféricas. Logo é preciso estudar a necessidade de se reforçar o isolamento, para evitar que possam ocorrer danos devido a sobretensões.

2.5 Causa de avarias em cabos subterrâneos

As redes subterrâneas são mais seguras e melhor transportam a corrente sem muitos riscos e não sofrem acções atmosféricas pois estão enterrados. Dados que ajudam no funcionamento e na estética de uma certa região. As avarias mais frequentes dos cabos subterrâneos são devido a seguintes aspectos: defeito de fabricação, métodos incorrecto de colocação, envelhecimento do cabo (tempo de vida útil para cabo seco é de 30-40 anos e o de um cabo óleo é de mais de 40 anos), número de caixa de junções e factores externos tais como danos em trabalhos de escavação ou movimentações de terra. Por tanto percebe-se que as falhas de fornecimento de energia em cabos subterrâneos são devidos a um conjunto de factores.

2.6 Técnicas de colocação dos cabos

No contexto dos cabos isolados de baixa e media tensão subterrâneos, existem diferentes métodos para a sua instalação, sendo que normalmente eles se separam por:

- ❖ No solo, directamente enterrados;
- ❖ No solo, em calreira;
- ❖ No solo, em tubos;
- ❖ Ao ar (em galeria).



Figura 9 - Cabo enterrado directamente no solo. [10]

Os cabos que constituem as canalizações subterrâneas devem ser protegidos contra as deteriorações resultantes do abatimento de terras, do contacto com corpos duros, do

choque com ferramentas metálicas manipuladas pelo homem e, se tal tiver lugar, da acção química causada pelos elementos do solo.

2.7 Profundidade de colocação

Deverá ser determinada em função das condições locais e da tensão de serviço da canalização. Considera-se uma profundidade mínima de colocação dos cabos no solo:

- ❖ 0,60 a 0,70 m, em terreno normal;
- ❖ 1 metro, sob vias de comunicação,

3 LINHAS AÉREAS

As linhas aéreas de MT são construídas usando os seguintes materiais: condutores, isoladores, ferragens para amarrações, apoios e outros elementos das linhas, que seguem a lei disposto no Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão.

3.1 Condutor nu

Os elementos condutores são os principais responsáveis pelo trânsito de energia eléctrica, sendo construídos com materiais de elevada condutividade eléctrica, como o cobre ou o alumínio. Actualmente, a solução adoptada em redes aéreas MT, AT e MAT passa pelo uso de condutores de alumínio com alma de aço ou ligas de alumínio, em detrimento do cobre, sendo que a sua constituição contempla uma alma de fios de aço envolvidos por camadas consecutivas de fios de alumínio. O número de camadas, tanto dos fios de aço como dos de alumínio, é ainda determinado pela secção do condutor, sendo que, se o primeiro tem apenas função de garantir resistência mecânica ao cabo, o segundo é mesmo o elemento responsável pela condução da corrente eléctrica.[13]

A utilização de condutores de alumínio ou suas ligas relativamente aos de cobre, tendo em conta uma comparação entre condutores com a mesma resistência eléctrica, apresenta as seguintes vantagens:

- ❖ Maior diâmetro, que permite reduzir efeito de coroa;
- ❖ Maior resistência mecânica, que possibilita utilização de tensões máximas de tracção maiores e, conseqüentemente, uma redução nas flechas;
- ❖ Tem um custo mais reduzido.

O condutor de alumínio apresentar uma condutividade equivalente à do cobre é necessário que a sua secção seja 1,6 vezes superior, e como resultado, o peso do condutor de alumínio terá 48% do peso do condutor de cobre. [1]

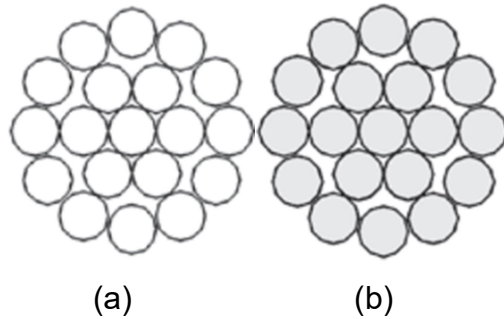


Figura 10 - condutor nu: (a) alumínio (b) Ligas de alumínio. [15]

Como se trata de um cabo constituído por condutores multifilares, garante-se uma maior flexibilidade, facilitando assim o seu manuseamento.

3.2 Apoio

O apoio de uma linha aérea de MT é constituído por um poste de betão, metálico ou madeira e tem como função suportar os condutores, os isoladores e os acessórios.

Os apoios devem ser dimensionados em função das alturas mínimas definidas regularmente, dos esforços mecânicos a que estão sujeitos, quer por acção do peso dos condutores e quer devido às condições atmosféricas, e do acesso ao local de implantação.

Os apoios em uma linha aérea desempenham papéis diferentes que definem as suas classificações da seguinte forma: [4]

- ❖ **Apoio de Alinhamento** – destinado a garantir a continuidade da linha.
- ❖ **Apoio de Ângulo** – colocado quando pretende-se criar um ângulo da linha;
- ❖ **Apoios de Derivação** – encontrado em pontos que deve-se derivar uma linha, no mínimo possui três vãos.
- ❖ **Apoio Fim de Linha** – pode ser o primeiro ou o último apoio na linha, deve ser capaz de suportar a totalidade dos esforços que os condutores lhe transmitem de um só lado da linha;
- ❖ **Apoio de Reforço** – serve de ponto de alívio ou redução dos esforços da linha, o apoio. Suporta os esforços exercidos ao longo da linha.

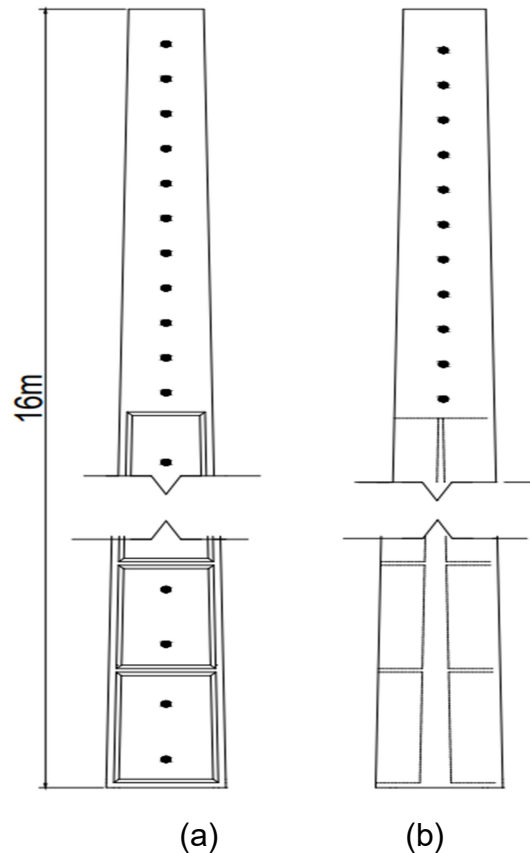


Figura 11 - Poste de betão (a) vista frontal (b) vista lateral

3.3 Isoladores

Os isoladores das linhas aéreas são constituídos por material dielétrico (vidro, porcelana e outros materiais, não susceptíveis de deterioração) que desempenham funções eléctricas e mecânicas. Do ponto de vista mecânico, os isoladores devem fixar os condutores às estruturas do apoio, enquanto, do ponto de vista eléctrico, têm a funcionalidade de evitar a passagem de corrente do condutor para os apoios e armações.[7]

A principal função dos isoladores é evitar a passagem de corrente eléctrica do condutor para as ferragens, para o apoio e para o solo. Os isoladores são escolhidos de acordo com a tensão eléctrica a que vão ser expostos e às tensões mecânicas que terão de suportar, por isso, devem apresentar dimensões e formas apropriadas ao ambiente em que serão utilizados.

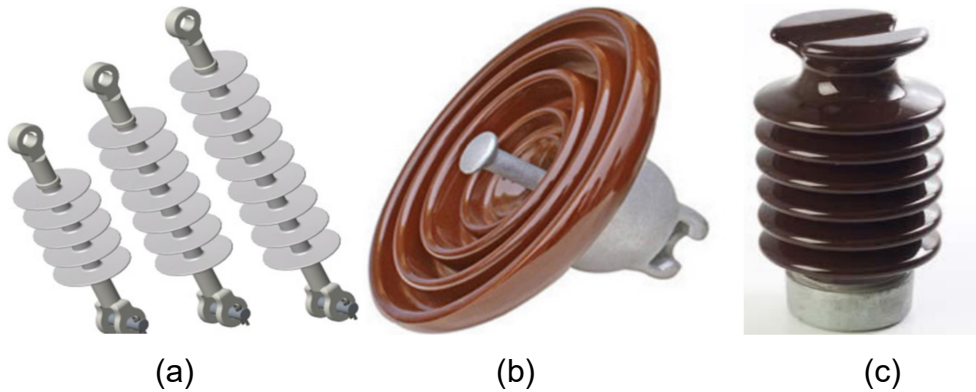


Figura 12 - Tipos de isoladores: (a) em cadeia, (b) para acoplamento, (c) rígido.

3.4 Armações

As armações são ferragens colocadas a um distancia abaixo do topo do apoio de modo a assegurarem os esforços exercidos pelos isoladores provenientes da linha. As amarrações desempenham um papel importante na linha pois é nas amarrações onde garante-se o distanciamento entre os condutores. Dependendo da função do apoio, escolhe-se a armação mais conveniente, capaz de suportar os esforços mecânicos. [1]

Abaixo estão apresentadas os maiores grupos de amarrações existentes:

- ❖ Esteira horizontal;
- ❖ Esteira Vertical;
- ❖ Triângulo;
- ❖ Galhardete;
- ❖ Pórtico.

Nos últimos anos para linhas de Média tensão a EDM vem usando as amarrações do tipo esteira horizontal, visto que esse garante mais a altura útil, controle de flecha máxima e melhor definição na separação de condutores.

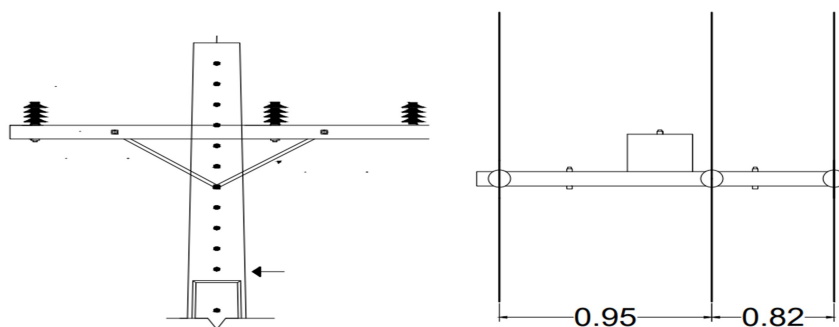


Figura 13. - Amarração tipo esteira horizontal

A forma como o apoio de betão armado é implantado indica a função que cada apoio desempenha no circuito.

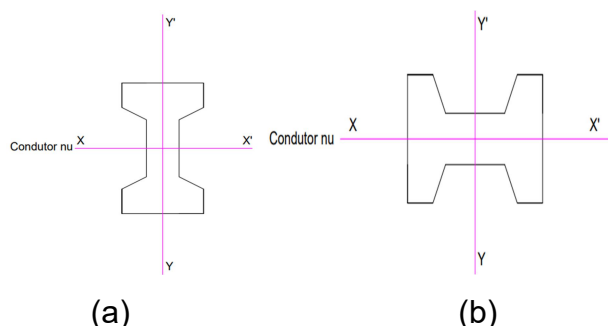


Figura 14 - Implantação de apoio (a) normal (b) para reforço

3.5 Vantagens e desvantagens de uso de linhas aéreas em relação aos cabos subterrâneos

De modo geral, a distribuição de energia eléctrica em rede aérea ganhou muito espaço no fornecimento de energia aos consumidores, devido ao seu baixo custo de implementação. Contudo esse tipo de rede apresenta um baixo nível de confiabilidade devido a sua vulnerabilidade e exposição as condições climáticas.

Tabela 2 - comparação de cabos subterrâneos e linhas aéreas de MT.

Descrição	Cabos subterrâneos	Linhas aéreas
 Protecção contra intempéries 	Não sofrem pois suas implementação esta directamente enterrada	São mais afectados por ficam permanentemente expostos as condições climáticas
Riscos de queda de energia	Menos riscos	Por conta de certas condições climáticas, podem cair e causar a queda de energia
Menor manutenção	Não necessitam de reparos constantes, mas um pessoal qualificado para a reparação de avarias.	Estão sujeitos ao acúmulo de poluição e exposição às intempéries

Elementos da linha	Poucas matérias para construção de um circuito: cabo isolado, mangas termorretrácteis, caixas de junção e caixa de terminais.	As linhas aéreas são compostas por vários elementos tais como: apoios, condutores nus, isoladores, ferragens galvanizadas, pára-raios e espias.
Custo de implementação	Altíssimo	Baixo
Confiabilidade e eficiência no fornecimento de energia eléctrica	Uma vez que não são afectados por condições atmosféricas o seu fornecimento é quase perfeito	Baixos e vulneráveis a condições climáticas. Sujeitos a danos e rompimentos causados por acções naturais como ventos fortes, chuvas, desgastes por exposição e quedas de árvores.
Eficiência na distribuição de energia	Devido a admissão de cabos com secções maiores	Reduzido pois o condutores estão suspensões em apoios que apresentam um limite de estabilidade.
Poluição visual	Inexistente	Pouco confortável

4 CÁLCULO ELÉCTRICO

A fase do cálculo eléctrico é essencial e uma das partes mais importante para a realização de um projecto de uma linha aérea, uma vez que a sua finalidade é garantir que as limitações técnicas impostas pelos condutores não são excedidas.

É nessa etapa onde irá determinar-se a secção dos condutores da linha a projectar. Para o projecto em curso a tensão nominal da linha já é conhecida, sendo esse um projecto de substituição. Conhecidos os parâmetros anteriormente citados, irá calcular-se as características eléctricas da linha respectivamente: resistência eléctrica, coeficiente de auto-indução, intensidade de corrente máxima admissível, perdas de energia e quedas de tensão.

4.1 Intensidade de corrente nominal

A intensidade de corrente nominal de uma linha aérea de MT pode ser calculada pela expressão:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}xU} \quad (4.1)$$

Onde:

S_n – Potência aparente transmitida pela linha [VA];

U – Tensão nominal da linha [V];

Através do valor da corrente é possível determinar-se a densidade de corrente, por fase, usando a lei de Kelvin o cálculo da secção económica para as linhas de distribuição tem-se a equação (4.2):

$$S_{económica} = \frac{I_n}{\varepsilon} \quad (4.2)$$

Onde:

I_n – Intensidade de corrente nominal [A];

$S_{económica}$ – Secção económica dos condutores [mm²].

ε – Densidade de corrente [A/mm²]

Tabela 3 - Densidade da corrente económica.

Condutores	Valor da ε para linha de segunda classe
Nus de cobre	1,9
Nus de Ligas de alumínio	1,3
Nus de alumínio-aço	0,9

4.2 Parâmetros eléctricos

4.2.1 Resistência eléctrica

A resistência eléctrica de uma linha é o parâmetro que determina as perdas por efeito de Joule, e o seu valor é dado pela equação:

$$R_s = \frac{\rho x L}{S} [\Omega] \quad (4.3)$$

Onde:

ρ – Resistividade do condutor [Ω/km];

L – Comprimento do condutor [km];

S – Secção do condutor [mm^2].

O condutor terá variações de temperatura, o que significa que, para temperaturas diferentes de 20°C , a resistividade do condutor se obtém pela seguinte equação:

$$R_\theta = R_{20}x[1 + \beta x(\theta - 20)] [\Omega/\text{km}] \quad (4.4)$$

Onde:

ρ_θ – É a resistividade à temperatura θ [Ω/km];

ρ_{20} - Resistividade a 20°C [Ω/km];

β - Coeficiente de temperatura do condutor [$^\circ\text{C}^{-1}$].

O valor Coeficientes de termoresistividade depende do tipo de material do condutor utilizado, como se verifica na tabela abaixo:

Tabela 4 – Valores de coeficientes de termoresistividade e de resistividade.

Material condutor	Coeficiente de termoresistividade β - [$^\circ\text{C}^{-1}$]	Resistividade do Condutor $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
-------------------	---	--

Cobre	$3,95 \times 10^{-3}$	0.0175
Alumínio	$3,80 \times 10^{-3}$	0,0287
Liga de Alumínio	$3,80 \times 10^{-3}$	0,0328

Depois de determinar os valores da intensidade de serviço e da resistência linear do condutor é possível determinar a potência de perdas.

$$P = 3xRxI_s^2 [W] \quad (4.5)$$

Onde:

P - Potência de perdas [W];

R - Resistência linear [Ω/Km];

I_s - Intensidade de serviço [A].

4.2.2 Coeficiente de indução

O valor da indutância é calculado tendo em conta o tipo de amarração a usar, porque o tipo de amarração define as distâncias dos condutores.

A expressão que permite determinar a indutância é dada pela seguinte expressão:

$$L = \left[\frac{\mu}{2n} + 4,6 \ln\left(\frac{D}{r'}\right) \right] \times 10^{-4} [H/km] \quad (4.6)$$

Onde:

μ - Permeabilidade do condutor

- ❖ Condutor de cobre, alumínio, ligas de alumínio e cabos de alumínio-aço é igual a 1;
- ❖ Condutor de aço galvanizado é igual a 200.

n - Número de condutores por fase;

D - Distância equivalente entre condutores;

r' - Raio fictício definido por:

$$r' = \sqrt[m]{nrR^{m-1}} \quad (4.7)$$

Sendo:

r - O raio do condutor;

R - O raio da circunferência que passa pelos condutores que formam a fase.

Assim, no caso de fase simples vem: $m = 1$ e $r' = r$, logo o coeficiente de auto-indução é:

$$L = [0,5 + 4,6 \ln(\frac{D}{r})] \times 10^{-4} [H/km] \quad (4.8)$$

4.2.3 Reactância

Considerando como forma de simplificação dos cálculos, em que as linhas são percorridas por correntes trifásicas equilibradas e de sequência directa, alimentadas por um sistema de tensões trifásicas equilibradas e de sequência directa, poder-se-á então determinar o valor da reactância indutiva dada pela equação.

$$X = 2\pi \times f \times L [H] \quad (4.9)$$

Onde:

X = Reactância da Condutor [H];

f = Frequência da rede [Hz];

L = Indutância do condutor em [H/Km];

4.3 Perdas de energia

As perdas de energia ou efeito joule são as perdas de calor, causadas pela passagem da corrente eléctrica no condutor. É dada pela expressão (4.9):

$$P = 3 \times R \times I_s^2 \quad (4.9)$$

4.4 Quedas de tensão

$$\Delta U = U_0 - UI = \sqrt{3} \times I \times [R \times \cos(\theta) + X \times \sin(\theta)] [V] \quad (4.10)$$

Onde:

R = Resistência do condutor (Ω);

X = Reactância do conduto (Ω);

ΔU = Queda de tensão (V);

U_0 = Tensão inicial (V);

UI = Tensão final (V);

$\cos(\theta) = 0,85$;

$\sin(\theta) = \sin(\arcsin(0.85))$

θ é positivo para situações indutivas.

4.5 Intensidade máxima da corrente de curto-circuito admissível

No cálculo da intensidade máxima da corrente de curto-circuito admite-se que os efeitos ocorrem em pontos da rede afastados das centrais geradoras e que a duração do curto-circuito é baixa. [12]

A consideração destas hipóteses permite tomar o valor eficaz da corrente permanente de curto-circuito em vez do valor eficaz médio da corrente total de curto-circuito no cálculo da intensidade máxima admissível. Esta simplificação é inteiramente admissível tratando-se de curto-circuitos em linhas de distribuição de 30 kV equipadas com condutores de secções não muito elevadas.

$$I_{ccm\acute{a}x} = \frac{S_c}{K_1 \times K_2 \times \sqrt{t}} \quad (4.11)$$

Onde:

$I_{ccm\acute{a}x}$ - Valor eficaz máximo admissível da corrente de curto-circuito [KA]

S_c - Secção do condutor [mm^2]

K_1 - Constante que depende do material condutor

K_2 - Constante que depende da variação de temperatura do condutor

t - Tempo de duração de curto-circuito [s]

Tabela 5 - Constantes para cada tipo de material condutor k1 e k2.

Material do condutor	K_1 [$\frac{mm^2}{KA}$]	K_2 [$\frac{mm^2}{KAS^2}$]	Temperatura final
Cobre	4,419	1,685	170
Alumínio – aço	6,902	1,732	160
Ligas de alumínio	6,902	1,809	160

5 CÁLCULO MECÂNICO

O cálculo mecânico de uma linha de transmissão de energia tem como objectivos. [6]

- ❖ Determinar a tensão mecânica de montagem a aplicar na linha, conforme as condições climatéricas que se verifiquem nesse momento. De modo a garantir que quaisquer que sejam as condições atmosféricas que se venham a verificar, os condutores nunca sejam solicitados por tensões mecânicas superiores à sua tensão de segurança;
- ❖ Determinar a altura dos apoios de modo a garantir que os condutores não ultrapassem as distâncias regulamentares, quaisquer que sejam as condições atmosféricas que se venham a verificar;
- ❖ Dimensionamento dos apoios, verificação da estabilidade dos tipos de apoios escolhidos.

5.1 Tensões mecânicas máximas

A definição dos valores de tracção máxima a aplicar nos vãos da linha é algo importante, uma vez que vai condicionar todo o restante projecto.

O valor da tensão máxima dos condutores representa a tensão máxima de tracção específica resultante da força que o vento e a chuva exercem sobre os condutores quando estes estão sujeitos as condições atmosféricas adversas. [15]

Segundo o R.S.L.E.A.T. a tensão máxima de tracção é obtida pela seguinte expressão:

$$T_{seg} = \frac{T_r}{2,5} \left[\frac{daN}{mm^2} \right] \quad (5.1)$$

$$t_{max} = \frac{T_r}{5x2,5} \left[\frac{daN}{mm^2} \right] \quad (5.2)$$

Onde:

T_{seg} - Tensão máxima de serviço $\left[\frac{daN}{mm^2} \right]$

T_r - Tensão de ruptura dos condutores $\left[\frac{daN}{mm^2} \right]$

A tensão a fixar como máxima para os condutores será geralmente inferior à de segurança, geralmente a etapa da escolha de tracção máxima sofrida pelos cabos deve ser minuciosa por influência directamente na dimensionamento, estabilidade dos apoios, tamanho das flechas e distância entre os condutores da linha e esse valor é de 7 ou 9 daN/mm².

- ❖ Quanto menor for a tensão mecânica T_m , maior será a flecha;
- ❖ Quanto maior a tensão mecânica T_{max} , maiores os esforços mecânicos solicitados aos apoios.

5.2 Acções que afectam as linhas

De acordo com a sua variação no tempo as acções são classificadas da seguinte forma:

- ❖ Acções permanentes – Acções horizontais devidas às componentes horizontais das tracções máximas a que os condutores estão sujeitos, e às acções verticais devidas ao seu peso próprio
- ❖ Acções variáveis - Acções do vento e das variações de temperatura que ocorrem ao longo do dia e de estação para estação

5.3 Acções variáveis

Na concepção de uma linha aérea deve ter-se em conta a acção dos agentes atmosféricos. São definidos três estados atmosféricos:

- ❖ **Inverno** - caracteriza-se pela temperatura mais baixa previsível, vento reduzido.
- ❖ **Verão** - caracteriza-se pela ausência de vento e temperatura máxima, provocando a dilatação elástica nos condutores e com consequência a flecha máxima.

5.4 Forças que actuam nos condutores

As principais forças actuantes em um condutor são o seu próprio peso, força do vento e o peso do gelo, caso seja uma zona propensa a acumulação de gelo nos condutores.

Tabela 6 - Valores da pressão em função do vento. [4]

Altura acima do solo (m)	Pressão dinâmica do vento (Pa)	
	Vento máximo habitual	Vento reduzido
Até 30	750	300
De 30 a 50	900	360
Acima de 50	1050	420

O vento ao colidir com os condutores encontra uma resistência que se manifesta sob a forma de pressão, sendo esta proporcional à velocidade do vento. A sua força é perpendicular ao eixo longitudinal dos cabos sendo transferida para a estrutura.

A força resultante da pressão do vento é dada por:

$$F = q \times d \times c \times \alpha \tag{5.3}$$

Onde:

F - Força proveniente da acção do vento [N];

q - Pressão dinâmica do vento [Kgf/m];

d - Diâmetro dos cabos [m];

α - Coeficiente de redução

❖ Condutores e nos cabos de guarda são iguais a 0,6;

❖ Apoio, nas travessas e nos isoladores é igual a 1.

c - Coeficiente de forma.

Os valores do coeficiente de forma são definidos conforme a tabela abaixo:

Tabela 7 - Coeficiente de forma. [4]

Elemento de linha	Diâmetro [mm]	Coeficiente de forma
Condutores nus e cabos de guarda	Até 12,5	1,2
	Acima de 12,5 a 15,8	1,1
	Acima de 15,8	1,0
Cabos isolados e feixe (torçada)	1,3
Cabos auto-suportados e cabos tipo 8	1,8
Isoladores	1,0

5.5 Estado atmosférico mais desfavorável

A determinação do estado mais desfavorável faz com que sejam levantada todas as hipóteses prejudiciais a linha dependendo da estação do ano que decorre, essas estações fazem referência a valores de temperatura e actuação do vento máximo e mínimo habitual que varia de região a região. Na figura 15 encontram-se $m1$ corresponde ao coeficiente de sobrecarga do estado de inverno e $m2$ corresponde ao estado de verão, L_{eq} corresponde ao comprimento do vão equivalente e L_{cr} ao vão crítico.

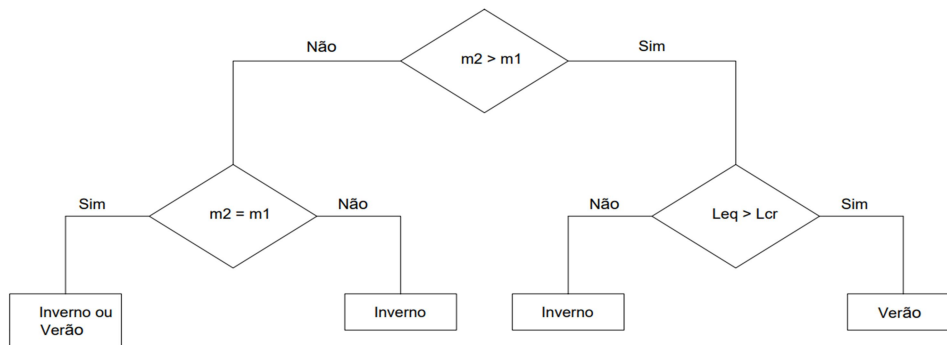


Figura 15 - Fluxograma do estado mais desfavorável.

5.6 Coeficientes de sobrecarga

O coeficiente de sobrecarga representa o peso dos condutores adicionando uma parcela que representa o vento e o gelo, ou seja representa as acções que os agentes atmosféricos exercem nos condutores. [11]

$$m = \frac{\sqrt{(W_v + W_g \times \frac{\pi}{4} \times [dt^2 - d^2])^2 + F^2}}{W_v} \quad (5.4)$$

Onde:

m - Coeficiente de sobrecarga

W_g - Peso específico do gelo

W_v - Peso específica volumétrico do condutor (kg/m);

dt - Diâmetro Total

$$dt = dc + 2 \times e \quad [mm^2] \quad (5.5)$$

e - Espessura da Manga de Gelo;

dc - Diâmetro do condutor (mm2);

F - Força proveniente da acção do vento (N);

5.7 Vão crítico

Chama-se vão crítico L_{cr} , relativo a uma dada tensão t , ao vão para qual os condutores, supostos esticados e fixados sob essa tensão, num dos dois estados atmosféricos Inverno ou verão, adquirem a mesma tensão t quando ficam sujeitos às condições do outro desses dois estados.[14]

$$L_{cr} = \frac{S \times t_{max}}{\omega} \times \sqrt{\frac{24 \times \alpha \times (\theta_2 - \theta_1)}{m_2^2 - m_1^2}} [m] \quad (5.6)$$

Onde:

S - Secção do condutor [mm^2];

t_{max} - Tensão máxima de serviço [daN/mm^2],

p - Peso condutor [kgf/m];

α - Coeficiente de dilatação do condutor em $^{\circ}C^{-1}$;

θ_2 e θ_1 - São as temperaturas do estado de inverno e de verão respectivamente;

m_1 e m_2 - São os coeficientes de sobrecarga no estado de inverno e primavera, respectivamente.

Tabela 8 - Temperaturas para os estados de inverno e primavera. [4]

	Inverno	Primavera
Com gelo	- 10 $^{\circ}C$	----
Sem gelo	- 5 $^{\circ}C$	- 15 $^{\circ}C$

5.8 Equação dos estados atmosféricos

O objectivo da equação de estados é a determinação da tensão de montagem a aplicar aos condutores de um dado vão. A tensão de montagem é a tensão mecânica que assegura que, qualquer que seja a condição meteorológica como o vento, o gelo e a temperatura, no momento da montagem da linha, a tensão máxima dos condutores não é ultrapassada. [5]

Para o cálculo da tensão de tracção são consideradas $\theta_1 = 50^{\circ}C$ e $m_1 = 1$ que representam o estado do verão. As condições atmosféricas da zona em estudo apresentam duas épocas sendo época do verão e inverno.

$$\theta_1 + \frac{t_1}{\alpha \times E} - \frac{m_1^2 \times \omega^2 \times L_{eq}^2}{24 \times \alpha \times S^2 \times t_1^2} = \theta_i + \frac{T_{max}}{\alpha \times E} - \frac{m_i^2 \times \omega^2 \times L_{eq}^2}{24 \times \alpha \times S^2 \times T_{max}^2} \quad (5.7)$$

$$T_m = t_1 \times S_c \quad (5.8)$$

Tabela 9 - Condições para obtenção da flecha máxima na linha. [4]

Classe da linha	Nível de tensão	θ_1	m_1
2 ^a	$1 < U_n < 40 \text{ Kv}$	+50°C	1
3 ^a	$40 \leq U_n \leq 100 \text{ KV}$	+65°C	1
3 ^a	$U_n \geq 100 \text{ KV}$	+75°C	1

5.9 Flecha máxima

A flecha máxima de um condutor em cada vão, depende crucialmente dos seguintes factores como a velocidade do vento, tensão máxima de serviço e da temperatura. A equação (5.09) é usada para cálculo da flecha máxima em patamar, isto é, considerando que a superfície entre os apoios é igual.

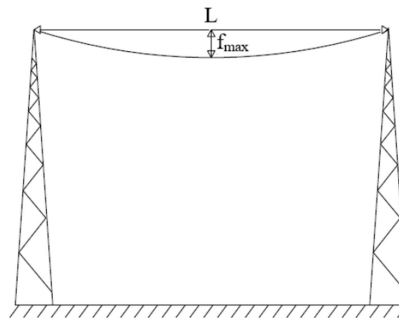


Figura 16 - Representação do vão e flecha. [15]

A definição da flecha máxima esta directamente ligada a variação de temperaturas, pois esse decorre essencialmente devido a dilatação dos condutores na época de verão onde há registo de temperaturas altas.

$$f_{max} = \frac{L_{eq}^2 \times W_v}{8 \times T_m} [m] \quad (5.9)$$

Para caso em que a superfície entre os apoios não seja igual, temos a seguinte equação para o cálculo.

$$f_{max} = \frac{L_{eq} \times L_1 \times W_v}{8 \times T_m} [m] \quad (5.10)$$

5.10 Selecção dos isoladores

Como tenhamos mencionado em 3.3 principal função dos isoladores é evitar a passagem de corrente eléctrica do condutor para as ferragens, para o apoio e para o solo, para que esse seja acontece é necessário apontar factores que contribuem para a selecção dos isoladores, entre eles encontra-se a tensão de serviço, função do apoio e a poluição do ambiente (ANEXO 6).

A linha de fuga mínima de uma cadeia de isoladores é dada pela tensão de serviço e linha de fuga nominal específica mínima seguindo a equação (5.11):

$$L_{fT} = U_n \times L_{fe} \quad (5.11)$$

Onde:

L_{fe} - Linha de fuga nominal específica mínima [mm/kv]

L_{fT} - Linha de fuga mínima de uma cadeia de isoladores [mm]

Os isoladores em cadeia podem ser para tensão de 11KV, são associadas em uma série de 2 isoladores por cadeia. Esse dado também pode ser calculado seguindo a equação (5.12):

$$N_{isoladores} = \frac{L_{fT}}{L_{fisol}} \quad (5.12)$$

Onde:

$N_{isoladores}$ – Número de isoladores em série

L_{fisol} - Linha de fuga nominal mínima do isolador [mm]

Os isoladores de cadeia e os isoladores rígidos devem ter uma força de rotura mínima à flexão de 2,5 vezes superior à solicitação mecânica máxima a que estarão sujeitos pelos condutores. [15]

5.11 Distâncias de segurança Estabelecidas

Segundo RSLEAT propõe distâncias mínimas seguras de modo a reduzir os riscos de acidentes do tipo contacto entre os elementos em volta da linha. Abaixo estão definidas as distâncias mínimas entre os diferentes elementos e objecto de modo que não haja

acidentes. Entendem-se esses elementos e objectos como sendo as seguintes: árvores, edifícios, linhas aéreas já existentes, entre outros. [4]

U – Tensão nominal da linha de maior tensão [kV];

Distância entre Condutores

Essa é uma das distâncias mais importante na concepção de uma linha, pois ela influencia no funcionamento permanente e pode causar sérios danos na rede, em situações em que existam oscilações na linha causadas pelo vento, podendo em caso de contacto originar um curto-circuito fase-fase, afectando o fornecimento contínuo de energia eléctrica aos consumidores.

$$D = 0.75 \times K \times \sqrt{f + d} + U/200 \text{ [m]} \quad (5.13)$$

Onde:

f – Flecha máxima do condutor [m];

k – Coeficiente dependente da natureza dos condutores:

- ❖ Condutores de cobre, bronze, aço e alumínio-aço – $k = 0,6$;
- ❖ Condutores de alumínio e de ligas de alumínio – $k = 0,7$.

d – Comprimento da cadeia de isoladores susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha:

- ❖ Cadeias de Amarração – $d = 0$ m;
- ❖ Cadeias de Suspensão – $d = 1,2$ m.

U – Tensão nominal da linha [kV];

Distância dos Condutores ao Solo

A distância entre os condutores das linhas aéreas e o solo são consideradas a partir da flecha máxima que as linhas podem formar e devido a actuação do vento, são factores que influenciam directamente as linhas, a distância admitida é mostrada na equação (5.14):

$$D = 6,0 + 0,005 \times U \text{ [m]} \quad (5.14)$$

- ❖ D não deve ser inferior a 7 m.

Distancia dos condutores aos carris, nas travessias de caminhos-de-ferro não electrificados

Os condutores nus, nas condições de flecha máxima, deverão manter em relação aos carris uma distância D :

$$D = 6,3 + 0,01 \times U \text{ [m]} \quad (5.15)$$

❖ D não deve ser inferior a 7 m.

Distância entre Linhas Aéreas

No cruzamento com linhas de MT ou AT a distância não deve ser inferior à obtida abaixo:

$$D = 1,5 + 0,01 \times U + 0,005 \times L \text{ [m]} \quad (5.16)$$

U – Tensão da linha com maior tensão [KV].

L - Distancia entre o ponto do cruzamento e o ponto mais próximo da linha superior.

❖ D não deve ser inferior a 2 m.

Distância dos Condutores a Obstáculos Diversos

Entende-se por obstáculos diversos os terrenos de declives muito acentuados, falésias, construções não acessíveis a pessoas, bem como partes salientes dos edifícios não susceptíveis de serem normalmente escaladas por pessoas, como por exemplo, pára-raios, aparelhos de iluminação exterior.

$$D = 2,0 + 0,0075 \times U \text{ [m]} \quad (5.17)$$

❖ D não deve ser inferior a 3 m.

Distância dos Condutores a edifício

A distância recomendada é da linha com edifício dever ser segundo a equação em (5.18):

$$D = 2,0 + 0,0075 \times U \text{ [m]} \quad (5.18)$$

❖ D não deve ser inferior a 4 m.

5.12 Fundações dos apoios

Os postes serão implantados directamente no solo ou consolidados por fundações adequadas de modo a ficar assegurada a estabilidade correspondente as solicitações actuantes e à natureza do solo.

Para determinar a profundidade dos apoios é prevista pelo R.S.L.E.A.T o uso da equação abaixo:

$$H_p = 0,1 \times H + 0,5 \quad (5.19)$$

H_p – Profundidade das fundações dos apoios [m]

H – Altura total do apoio [m]

Para apoios iguais ou superiores a 15 metros a profundidade mínima não deve ser inferior a 2 metros.

5.13 Ligação à terra dos apoios de betão armado

Segundo os R.S.I.E.A.T os apoios de betão armado deverão ser individualmente ligados à terra por intermédio de um eléctrodo de terra, a ligação dos eléctrodos de terra ao condutor deve ser ligados usando soldaduras adequadas ou fixados por meio de rebiteagem ou ainda por meio de aperto mecânico de construção robusta, é importante garantir que os a ligação dos eléctrodos deve garantir que não seja afectados pela corrosão.

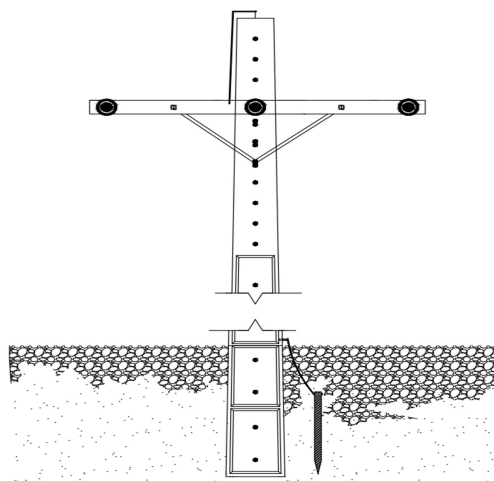


Figura 17 - Perfil do sistema de aterramento.

A ligação a terra será realizada por meio de um condutor de cobre de 35mm^2 que vai ser conectado na parte inferior do apoio e ligado a um eléctrodo enterrado no solo através de um ligador de eléctrodo de terra. Os postes de betão armado são construídos com um condutor embutido internamente previsto para receberem o aterramento, o mesmo começa do topo do poste até a parte inferior do mesmo. A ferragem que constitui a amarração deve ser ligada a terra por meio de fio de cobre de 16mm^2 nos pontos de ligação à terra, existentes em todas as ferragens. Depois de interligar todas as ferragens, o fio de cobre de 16mm^2 deve ligar ao terminal de terra no topo do poste.

Os tubos e os perfilados deverão ficar enterrados verticalmente no solo a uma profundidade tal que entre a superfície do solo e a parte superior do eléctrodo haja uma distância mínima de 0.80 m.

5.14 Escolha dos pára-raios

A tensão nominal dos pára-raios a instalar num posto de transformação ou na transição de linhas de aéreo para subterrâneo deve ser em função do nível de tensão da rede. A capacidade dos pára-raios a instalar é no geral de 10KA.

A EDM disponibiliza os pára-raios da marca ASE, tipo XBE, este será o tipo de pára-raios usado no circuito em projectado, no após de fim de linha com a tensão nominal de rede de 11 KV.

A ligação dos pára-raios à linha de média tensão, deve ser feita com o mesmo tipo e tamanho de secção do condutor da linha. A ligação a terra deve ser feita com condutor de cobre de 16mm^2 ligado ao topo do ponto do aterramento do poste de betão e ligado ao eléctrodo de terra.

6 PROJECTO ELÉCTRICO

Na elaboração de um projecto eléctrico de linha de MT deve analisar-se a linha em duas fases nomeadamente: cálculo eléctrico – com objectivo de achar aos parâmetros eléctricos da rede e cálculo mecânico que faz um levantamento dos esforços que a linha exerce sobre os apoios e a escolha dos mesmos.

No cálculo eléctrico deve achar os seguintes parâmetros:

- ❖ Intensidade da corrente de serviço;
- ❖ Perdas de energia;
- ❖ Corrente máxima admissível;
- ❖ Queda de tensão.

Para a fase do cálculo mecânico é focada em achar os seguintes dados

- ❖ Tensão de montagem dos condutores;
- ❖ Cálculo das flechas de regulação;
- ❖ Distância que asseguram segurança da linha, pessoas e bens;
- ❖ Esforços exercido pelos condutores;
- ❖ Selecção dos apoios.

A EDM na cidade de Maputo apresenta uma rede em anel de 11 KV composta por 7 subestações que estão localizadas em vários pontos ao longo da cidade, que são diferenciadas segundo suas numerações SE1, SE2, SE3, SE4, SE5, SE6 SE7, do modo a assegurar o funcionamento contínuo de energia eléctrica. Essa conexão for feita através de redes aéreas e subterrâneas.

Nas saídas das linhas das subestações por meio de cabos subterrâneos ou linhas aéreas que alimentam pontos de seccionamentos (PS) esses por sua vez são responsáveis pela distribuição da energia para alimentação de postes de transformação.

O circuito da interliga a SE4 e PS12 através de cabos subterrâneos monoplares de alumínio, que por sua vez vem causando muito defeitos e como consequência a falta de fornecimento de energia aos clientes, pois essa torna-se uma linha com pouca fiabilidade devido aos problemas que vem apresentado. Deste modo o presente projecto propõe a substituição dos cabos subterrâneos por uma linha aérea com vista a reduzir os problemas acima apresentado.

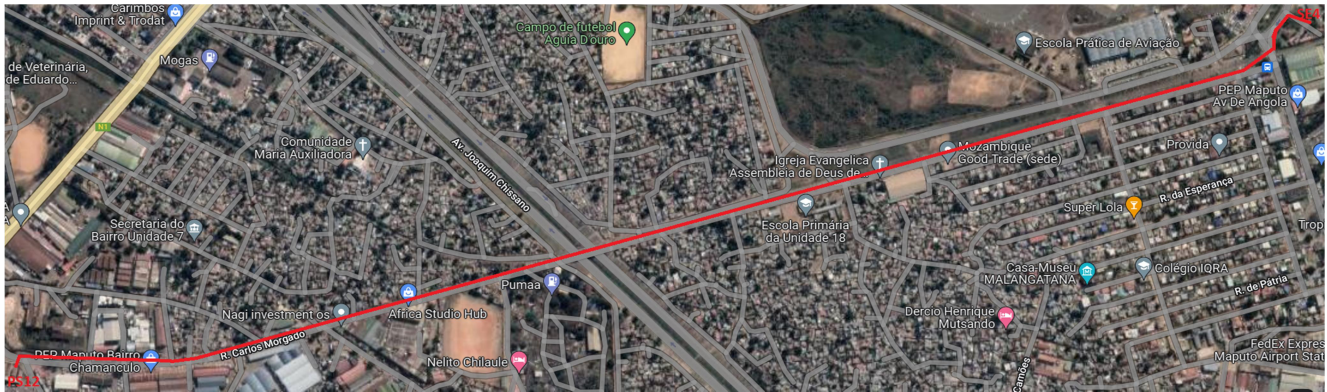


Figura 18 - linha de MT que interliga a SE4 ao PS12.

6.1 Avaliação da extensão da linha

O circuito do da subestação do aeroporto até posto de seccionamento 12 apresenta alguns factos bastante interessante no que diz respeito a projecção de uma linha eléctrica. A linha transporta uma potência de 4023197 VA a uma distância de 2,5 Km de extensão até chegar ao ponto de alimentação de cargas.

Ao longo do traçado vem se como maior problema a localização do aeroporto internacional de Maputo que esta próximo a linha, desde modo, devem ser tomadas medida de modo a evitar a possível acidente aeronáutico. Há existência de uma linha feira que cruza a linha também é um dos problemas que merece bastante atenção para a projecção do mesmo.

Para aspecto de composição da linha, encontra-se dos tipos de cabos, nomeadamente cabos subterrâneos e aéreas em casos excepcional como saída da linha da subestação de Aeroporto (SE4) com comprimento de 70 metros e entrada do circuito ao ponto de seccionamento (PS12) com 20 metros. Para o efeito está previsto 1 cabo tripolar de alumínio com isolamento em XLPE com secção equivalente a secção dos condutores aéreas, enterrados no solo colocado dentro de tubos.

Uma das maiores transições de que deve haver é devido a divisão da ponte na Av. Joaquim Chissano, de modo a garantir mais segurança e maior estabilidade entre os cabos, serão implementados apoios do tipo reforço em alinhamento, para assegurar maior estabilidade e menor flecha no vão.

O restante do circuito é composto por uma linha aérea, com apoio em betão, visto que esses oferecem maiores esforços de suporte de linhas e mais tempo de vida.

6.2 Apresentação dos cálculos para o projecto

6.2.1 Cálculo eléctrico

❖ Corrente de serviço

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}xU} \rightarrow I_n = \frac{4023197}{\sqrt{3}x11000} = 211.016A$$

$$\varepsilon = 1,3 A/mm^2 \quad (\text{Ver Tabela 3})$$

$$S_{económica} = \frac{I_n}{\varepsilon} \rightarrow S = \frac{211,016}{1,3} = 162,32mm^2$$

❖ Resistência eléctrica

$$\rho = 0,028264\Omega mm^2/m$$

$$L_{linha} = 2,5 km \rightarrow 2500 m$$

$$R = \frac{\rho}{S} = \frac{32,8 \times 10^{-3}}{227,80} \times 2500 = 0,3599\Omega$$

$$R_{40} = 0,3599 \times [1 + 3,80 \times 10^{-3} \times (40 - 20)] = 0,386\Omega$$

$$P = 3 \times 0,386 \times 211,016^2 = 51563,3 W$$

As perdas por efeito joule equivalem a 1,282% da potência transmitida pela linha, o que torna as mesmas desconsideráveis.

❖ Intensidade máxima admissível

A intensidade máxima admissível de curto-circuito em 2 segundos, por sua vez é usado para o dimensionamento da protecção do circuito.

$$I_{ccmáx} = \frac{S_c}{K_1 \times K_2 \times \sqrt{t}} \rightarrow I_{ccmáx} = \frac{227.80}{6,902 \times 1,809 \times \sqrt{2}} = 12,901 KA$$

❖ Indutância

$$D_{12} = 0.95m ; D_{23} = 0,82; D_{13} = 1.113m$$

$$D = \sqrt[3]{D_{12} \times D_{23} \times D_{13}} = 1,113 m$$

$$r' = 0,0098 m \rightarrow 0,0000098 Km$$

$$D = 1,887m \rightarrow 0,001887 Km$$

$$L = [0,5 + 4,6 \ln(\frac{1,113 \times 10^{-3}}{0,0098 \times 10^{-3}})] \times 10^{-4} = 0,502 H/km \rightarrow L = 1,255 H$$

❖ Reactância

$$X = 2\pi \times 50 \times 1,255 = 15,771 \frac{\Omega}{km} \rightarrow 39,428 \Omega$$

❖ Queda de tensão

$$\Delta U = U_0 - UI = \sqrt{3} \times 211,016 \times [0,386 \times \cos(0,9) + 39,428 \times \sin(0,9)] = 367,413 V$$

$$(\%) = \frac{\Delta U}{U} \times 100 \rightarrow (\%) = \frac{367,413}{11000} \times 100 = 3,340\%$$

Tabela 10 - Características do condutor AAAC – ASTER 228.

Descrição	Valor	Unidade
Secção do condutor	227,80	mm ²
Diâmetro do condutor	0.0196	m
Peso específico do condutor	0.6276	Kg/m
Carga de rotura	7404	daN
Modelo de elasticidade	5700	daN/mm ²
Coefficiente de dilatação	2,3x10 ⁻⁵	°K ⁻¹
Tensão de segurança	11.71	daN/mm ²

6.2.2 Cálculo mecânico

Em Moçambique há duas principais épocas que decorrem nomeadamente: verão e inverno.

❖ Estado de verão

A ocorrência de vento máximo habitual de 750Pa é registada na época de verão com uma temperatura critica considerada de 60°C.

$$F_2 = 75 \times 0.0196 \times 1.0 \times 0.6 = 0,882 \text{ daN/m}$$

$$m_2 = \frac{\sqrt{0,616^2 + 0,882^2}}{0,616} = 1,747 \text{ m}$$

❖ Estado de inverno

Durante o inverno há ocorrência de vento mínimo habitual de 300Pa e uma temperatura crítica de 5°C.

$$F_1 = 30 \times 0.0196 \times 1.0 \times 0.6 = 0,353 \text{ daN/m}$$

$$m_1 = \frac{\sqrt{0,616^2 + 0,353^2}}{0,616} = 1,153 \text{ m}$$

❖ Vão crítico

$$L_{cr} = \frac{227,80 \times 9}{0,616} \times \sqrt{\frac{24 \times 1,9 \times 10^{-5} \times (60-5)}{1,747^2 - 1,153^2}} = 441,849 \text{ m}$$

❖ Vão equivalente

$$L_{eq} = \sqrt{\frac{108,32^3 + 105,98^3 + 107,32^3 + 109,5^3 + 91,82^3}{108,32 + 105,98 + 107,32 + 109,5 + 91,82}} = 105,333 \text{ m}$$

Baseando no diagrama dos estados atmosférico mais desfavorável é possível verificar que o estado mais desfavorável é o Inverno.

❖ Tensão de montagem

O valor da tensão mecânica de montagem é o valor em que os condutores ficam sujeitos na situação de flecha máxima.

$$50 + \frac{t_1}{1,9 \times 10^{-5} \times 5700} - \frac{1^2 \times 0,616^2 \times 105,333^2}{24 \times 2,3 \times 10^{-5} \times 235,10^2 \times t_1^2} =$$

$$5 + \frac{9}{1,9 \times 10^{-5} \times 5700} - \frac{1,153^2 \times 0,616^2 \times 105,333^2}{24 \times 2,3 \times 10^{-5} \times 235,10^2 \times 9^2}$$

$$t_1 = 3,992 \text{ daN/mm}^2$$

$$T_m = 3,992 \times 227,8 = 909,378 \text{ daN}$$

❖ Flecha máxima

$$f_{max} = \frac{105,333^2 \times 0,616}{8 \times 909,378} = 0,939 \text{ m}$$

❖ Distâncias de segurança estabelecidas

a) Distância entre Condutores

$$D = 0,75 \times 0,7 \times \sqrt{1,212 + 0} + \frac{11}{200} = 0,633 \text{ m}$$

b) Distância dos Condutores ao Solo

$$D = 6,0 + 0,005 \times 11 = 6,055 \text{ m}$$

c) Distância dos condutores aos carris, nas travessias de caminhos-de-ferro não electrificados

$$D = 6,3 + 0,01 \times 11 = 6,41 \text{ m} \rightarrow D = 7 \text{ m}$$

d) Distância entre Linhas Aéreas

$$D = 1,5 + 0,01 \times 66 + 0,005 \times 4 = 2,18 \text{ m}$$

e) Distância dos Condutores a Obstáculos Diversos

$$D = 2,0 + 0,0075 \times 11 = 2,0825 \text{ m} \rightarrow D = 3 \text{ m}$$

f) Distância dos Condutores a edifício

$$D = 2,0 + 0,0075 \times 11 = 4 \text{ m}$$

❖ **Seleção dos isoladores**

Considera-se nível de poluição baixo (ANEXO 6 : A6-1)

$$L_{fT} = U_n \times L_{fe} \rightarrow L_{fT} = 11 \times 16 = 176 \text{ mm}$$

$$N_{isoladores} = \frac{176}{295} = 0,597 \rightarrow \text{Dois isoladores por cadeia.}$$

O isolador escolhido é o U 70 BS que apresenta uma tensão de ruptura de 7000 daN e a tensão máxima de tracção do condutor seleccionado é de 2050,10 daN.

❖ **Estabilidade dos apoios**

Os esforços a que os apoios estão sujeitos dividem-se em três principais componentes:

F_y - Solicitação transversal – devido aos esforços causados pelo vento perpendicularmente aos cabos.

F_x - Solicitação longitudinal – afectados pelo tamanho do vão;

F_z - Solicitação vertical – são basicamente afectados pelo peso dos isoladores, pesos das amarrações e pelo peso dos cabos.

$$\text{Peso unitário do condutor} - W' = \frac{W_c}{2}$$

$$\text{Tensão de montagem} - T_{max} = 9 \text{ daN/mm}^2$$

$$\text{Tracção máxima da linha} - T_1 = S_c \times T_{max} [\text{daN}]$$

$$\text{Força do vento} - F_v = \frac{q \times \alpha \times c \times d}{2} \times 0,981 \left[\frac{daN}{m} \right]$$

Comprimento do vão - S_i [m]

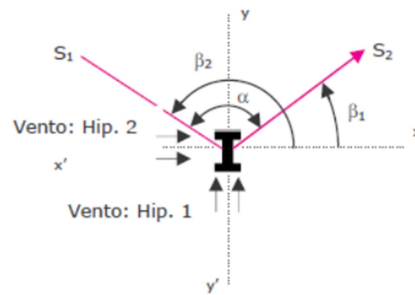


Figura 19 - Representação dos esforços exercidos em apoios em ângulo. [7]

$$\beta_1 = \frac{200 - \alpha}{2} [\text{grados}]$$

$$\beta_2 = \alpha + \beta_1 [\text{grados}]$$

Cálculos essenciais

$$F_v = \frac{1 \times 0,6 \times 75 \times 0,0196}{2} \times 0,981 = 0,433 \text{ daN}$$

$$W' = \frac{W_c}{2} = \frac{0,6276}{2} = 0,314 \text{ daN/m}$$

$$T_1 = T_2 = 9 \times 227,80 = 2050,2 [\text{daN}]$$

Cálculos dos esforços sobre os apoios

a) Apoio de fim de linha

Apoio 22

$$\text{Comprimento do vão} - S_1 = 85,88 \text{ m}$$

Hipótese 1 (considerando a presença do vento)

$$F_y = 3 \times F_v \times S_1 = 3 \times 0,433 \times 85,88 = 111,558 \text{ daN}$$

$$F_x = 3 \times T_1 = 3 \times 2050,2 = 6150,6 \text{ daN}$$

$$F_z = 3 \times W' \times S_1 = 3 \times 0,314 \times 85,88 = 80,899 \text{ daN}$$

b) Apoio de alinhamento

Apoio 20

Comprimento do vão anterior – $S_1 = 119,48$ m

Comprimento do vão seguinte – $S_2 = 103,76$ m

Hipótese 1 (considerando a presença do vento)

$$\begin{aligned} F_y &= 3 \times F_v \times (S_1 + S_2) \\ &= 3 \times 0,433 \times (119,48 + 103,76) = 210,292 \text{ daN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_z &= 3 \times W' \times (S_1 + S_2) \\ &= 3 \times 0,314 \times (119,48 + 103,76) = 169,492 \text{ daN} \end{aligned}$$

Hipótese 2 (sem influencia do vento)

$$F_x = \frac{1}{5} \times F_y = \frac{289,989}{5} = 173,993 \text{ daN}$$

c) Reforço de alinhamento

Apoio 10

Hipótese 1 (considerando a presença do vento)

$$\begin{aligned} F_y &= 3 \times F_v \times (S_1 + S_2) \\ &= 3 \times 0,433 \times (105,05 + 127,3) = 301,823 \text{ daN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_z &= 3 \times W' \times (S_1 + S_2) \\ &= 3 \times 0,314 \times (105,05 + 127,3) = 218,874 \text{ daN} \end{aligned}$$

Hipótese 2 (sem influencia do vento)

$$\begin{aligned} F_x &= \frac{1}{3} \times T_1 \\ &= \frac{1}{3} \times 2050,2 = 4100,4 \text{ daN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_z &= 3 \times W' \times (S_1 + S_2) \\ &= 3 \times 0,314 \times (105,05 + 127,3) = 218,874 \text{ daN} \end{aligned}$$

d) Apoio em ângulo

Apoio 2

$$\alpha = 168,83 \text{ grados} \rightarrow \beta_1 = \frac{200 - \alpha}{2} = \frac{200 - 141}{2} = 15,583 \text{ grados} \rightarrow 14,028^\circ$$
$$\beta_2 = \alpha + \beta_1 = 141 + 29,5 = 184,415 \text{ grados} \rightarrow 165,990^\circ$$

Comprimento do vão anterior – $S_1 = 103,47 \text{ m}$

Comprimento do vão seguinte – $S_2 = 1105,5 \text{ m}$

Hipótese 1 (considerando a presença do vento)

$$F_y = 3 \times [(F_v \times \cos^2 \beta_1 \times S_1 + F_v \times \cos^2 \beta_2 \times S_2) + |T_1 \times \sin \beta_1 + T_2 \times \sin \beta_2|]$$
$$= 3 \times [0,433 \times \cos^2 (14,028) \times 103,47 + 0,433 \times \cos^2 (165,99) \times 110,5) +$$
$$|2050,1 \times (\sin(14,02) + \sin (165,99))|]$$
$$= 3241,431 \text{ daN}$$

$$F_x = 3 \times (T_1 \times \cos \beta_1 + T_2 \times \cos \beta_2)$$
$$= 3 \times 2050,2 \times [\cos(14,028) + \cos(165,99)] = 0,460 \text{ daN}$$

$$F_z = 3 \times W' \times (S_1 + S_2)$$
$$= 3 \times 0,314 \times (103,47 + 110,5) = 201,560 \text{ daN}$$

Hipótese 2 (sem influencia do vento)

$$F_x = \frac{1}{5} \times 3 \times [F_v \times \cos^2 \beta_1 \times S_1 + F_v \times \cos^2 \beta_2 \times S_2]$$
$$= \frac{3}{5} \times 0,433 \times [\cos^2 (14,028) \times 103,47 + \cos^2 (165,99) \times 110,5)] = 52,327 \text{ daN}$$

$$F_z = 3 \times W' \times (S_1 + S_2)$$
$$= 3 \times 0,314 \times (103,47 + 110,5) = 201,560 \text{ daN}$$

❖ Escolha dos apoios

A escolha dos apoios é feita conforme a obedecer as equações em (6.1) e (6.2), tendo os valores dos esforços calculados anteriormente e os denominadores são consultados

nas tabelas em ANEXOS 3, o apoio escolhido deve ser capaz de aguentar os esforços solicitados conforme os do vento principal e vento secundário.

Hipótese 1 (vento principal)

$$\frac{F_x}{S_{750}} + \frac{F_y}{F_{750}} < 1 \quad (6.1)$$

Hipótese 2 (vento secundário)

$$\frac{F_x}{S'_{750}} + \frac{F_y}{F'_{750}} < 1 \quad (6.2)$$

Escolha do apoio 2

Hipótese 1

$$\frac{6150,6}{1800} + \frac{111,558}{4000} < 1 \text{ (Condição não satisfeita)}$$

Assim vamos escolher um apoio mais robusto para equilibrar os esforços solicitados.

- Escolha do apoio: 18M9000

Escolha do apoio 10

Hipótese 1

$$\frac{0}{1600} + \frac{301,823}{3500} < 1 \text{ (Condição satisfeita)}$$

Hipótese 2

$$\frac{1230,121}{1282} + \frac{0}{2804} < 1 \text{ (Condição satisfeita)}$$

- Escolha do apoio: 16M3500

Escolha do apoio 20

Hipótese 1

$$\frac{0,46}{1600} + \frac{210,2921}{2750} < 1 \text{ (Condição satisfeita)}$$

Hipótese 2

$$\frac{173,993}{1017} + \frac{0}{2152} < 1 \text{ (Condição satisfeita)}$$

- Escolha do apoio: 16M2750

Escolha do apoio 22

Hipótese 1

$$\frac{0}{1300} + \frac{3241,431}{2750} < 1 \text{ (Condição satisfeita)}$$

Hipótese 2

$$\frac{0,46}{1017} + \frac{173,993}{2152} < 1 \text{ (Condição satisfeita)}$$

➤ Escolha do apoio: 16M3500

❖ Fundações dos apoios

As fundações do circuito apresentam as seguintes profundidades para os dois tipos de apoios, para o apoio de 18 metros e os de 16 metros respectivamente:

$$H_p = 0,1 \times H + 0,5 \rightarrow H_p = 0,1 \times 18 + 0,5 = 2,3 \text{ m}$$

$$H_p = 0,1 \times H + 0,5 \rightarrow H_p = 0,1 \times 16 + 0,5 = 2,1 \text{ m}$$

7 ESTIMATIVA DE CUSTO

Descrição do material	Unidad e	Quantidad e	Preço por Unidade	Preço Total [MZN]
Poste de Betão de 18 metros	un	2	25655	51309.8
Poste de Betão de 16 metros	un	20	21578	431563
Condutor	m	7500	313.25	2349375
Prato de espia de MT	un	6	2840.5	17043
Âncora M16x240cm	un	6	3556.8	21340.8
Regulador de espia	un	6	1568.2	9409.2
Parafuso galvanizado M20x80mm com uma porca, uma anilha de chapa e uma anilha de mola	un	100	228.3	22830
Filaça para espia da MT	un	50	1003.2	50160
Cabo de aço 5/16" (m)	m	80	246.24	19699.2
Isolador de espia de MT	un	6	277.55	1665.3
Ferro gancho M16x300mm com duas anilhas de chapa circulares e duas porcas	un	100	471.2	47120
Pinça de amarração 4*50+25mm	un	100	601.92	60192
Porca olhal M16	un	50	419.52	20976
Perfil galvanizado L 75x75x8x2400mm (T1)	un	22	8365	184030
Filaça do condutor AAAC	m	50	1453.1	72656
Cruzetas de 840 mm	un	44	7632.2	335816.8
Perno longo M16	un	50	2413.8	120688
Anilha de chapa circular 15x28x2.5mm	un	80	212.8	17024
Para-raios	un	2	9202.1	18404.16
Ligadores paralelos Al/Al 16- 235mm ²	un	30	638.4	19152

Eléctrodos de terra M16x 2400mm	un	22	1702.4	37452.8
Ligadores de eléctrodo de terra	un	22	282.72	6219.84
Condutor nu de cobre de 35mm (m)	m	50	539.68	26984
Condutor nu de cobre de 16mm (m)	m	50	160.68	8034
Pinça de amarração	un	24	1900	45600
Tubo VD 16mm (m)	m	50	76	3800
Isolador rígido de MT	un	42	5468.2	229666.08
Isolador de cadeia de MT	un	24	3486	83663.52
Caixa de terminal de MT	un	2	3564.62	7129.24
TOTAL [MZN]				4,327,332.7

8 CONCLUSÃO

Os trabalhos que foram realizados durante o estágio permitiram desenvolver novas habilidades práticas e confrontar com os conhecimentos que adquiri durante o curso, com mais ideias e pequena experiência no ambiente do trabalho. Assim, ao decorrer do trabalho foi abordado e desenvolvido um projecto eléctrico de média tensão como solução para reduzir os problemas que os cabos subterrâneos apresentam no circuito em questão.

A realização do trabalho foi muito importante sob medida de melhor perceber como são caracterizados e constituídos os cabos subterrâneos de média tensão e quais problemas apresentam. Este trabalho permitiu entender que a eficiência de distribuição de energia eléctrica usando cabos subterrâneos não é totalmente perfeita, uma vez que os cabos podem apresentar problemas relacionados ao fabrico e problemas relacionados ao contacto com o homem, entre eles no momento de montagem dos cabos no solo e devidos a movimentação de terras realizadas em diferentes tipos de actividades.

Devido problemas apresentados no circuito que interliga a subestação do aeroporto e ao posto de seccionamento da junta foi projectado uma linha aérea com apoios de betão armado e condutores de ligas de alumínio como solução viável e com menos custos.

Primeiramente foi realizado o levantamento topográfico, e utilizado a ferramenta *online Google earth* para apresentar o percurso da linha e também dar uma visão mais clara dos pontos de implementação dos postos e facilitando assim a função em que cada apoio desempenha ao longo do traçado cumprindo com todas exigências impostas pelo regulamento de segurança de linhas eléctrica de alta tensão.

As linhas aéreas interagem e dependem das características atmosféricas da região em estudo, o que faz com que o cálculo mecânico assumam um papel extremamente importante no dimensionamento de uma linha por ser a que lida com a estabilidade de todos os elementos da linha e está directamente ligado ao parâmetro técnico-económico.

Considerando os resultados obtidos na elaboração do projecto, entende-se que para correntes acima de 200A em linhas de distribuição em média tensão o uso de linhas aéreas não é a melhor escolha pois com uma corrente muito elevada a secção dos condutores fica muito grande o que influencia a estabilidade e por sua vez exige apoios muito robustos e por sua vez mais caros, reduzindo o factor principal de escolha desse tipo de rede.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANTUNES, Jorge; *Conceção de Redes de Média e Baixa Tensão*; Coimbra; 2012.
- [2] CARDOSO, Rafael; *Cálculo automático para projecto linha aérea até 30 KV*; Lisboa;
- [3] CRUZ, Pedro; *Linha MT- Aspectos construtivos, Projecto e Manutenção*; FEUP, 2010
- [4] DGE, *Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão*, 1993.
Dezembro de 2016.
- [5] E. Distribuição, *Evolução QS da rede de distribuição MT em Portugal continental e próximos desafios*; in Ordem dos Engenheiros - Região Centro Ciclo Sessões técnicas, Coimbra, 2012.
- [6] FERREIRA, Hugo; *Estudos da rede*; Tomar; 2017.
- [7] GALVÃO, Cláudio; *Redes eléctricas de média e baixa tensão – Aspecto de projecto, licenciamento e exploração no contexto operacional*; FEUP; Junho de 2010
- [8] General Cable, *Ligações à terra em circuitos de Alta Tensão*; ICAT 2005 CO/VAR/PRO/ICA/080/022, 2005.
- [9] General Cable.; *Cabos de Média Tensão*; Brasil, Maio de 2016
- [10] *Guia Técnico*, Solidal Condutores Eléctricos S.A., 2007
- [11] MATEUS, Luis.; *Projecto de Linha Subterrânea de Alta Tensão Subestação Maia - Subestação Gueifães* , FEUP, Junho de 2016.
- [12] MOREIRA, Ricardo - *Operações em Redes de Distribuição*; FEUP; 2009.
- [13] TAVARES, George. *Proposta de substituição da rede de distribuição eléctrica aérea, por subterrânea no campus marco zero do equador da UNIFAP*; Macapá, 2019.
- [14] VALE, Almeida e MACHADO, António, *Cabos Subterrâneos*, FEUP, 1975.
- [15] VIEIRA, João; *Ferramenta computacional para projecto de linhas aéreas de média tensão*; Lisboa, Dezembro de 2017
- [16] <https://goldenergy.pt/glossario/rede-distribuicao-energia-eletrica/>, 22 de Julho de 2022

ANEXOS

ANEXO 1

A1-1 - Tabela de Características técnicas dos Cabos de Liga de Alumínio.

Designação	Área (mm ²)	Nº de fios	Diâmetro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Ruptura Nominal (kN)	Resistência Elétrica máxima a 20°C (Ω/km)	Módulo de Elasticidade Final N/mm ²	Coeficiente linear de expansão 1/K	Capacidade Nominal ⁽¹⁾	Peso de massa protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) ⁽²⁾			
			fios	Cond.							Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Nova	Antiga									A				
22-AL4	ASTER 22	22,0	7	2,00	6,00	60,0	7,15	1,4989	62.000	23,0E-6	125		4,4	0,7
34-AL4	ASTER 34,4	34,4	7	2,50	7,50	93,8	11,17	0,9593	62.000	23,0E-6	166		6,8	1,1
55-AL4	ASTER 54,6	54,6	7	3,15	9,45	148,9	17,73	0,6042	62.000	23,0E-6	225		10,8	1,7
76-AL4	ASTER 75,5	75,5	19	2,25	11,25	207,4	24,55	0,4388	60.000	23,0E-6	275	5,5	16,6	9,1
117-AL4	ASTER 117	117,0	19	2,80	14,00	321,2	38,02	0,2833	60.000	23,0E-6	366	8,5	25,7	14,0
148-AL4	ASTER 148	148,1	19	3,15	15,8	406,5	48,12	0,2239	60.000	23,0E-6	426	10,8	32,5	17,8
182-AL4	ASTER 181,6	181,6	37	2,50	17,5	500,3	59,03	0,1831	57.000	23,0E-6	486	20,5	41,0	28,3
228-AL4	ASTER 228	227,8	37	2,80	19,6	627,6	74,04	0,1460	57.000	23,0E-6	580	25,7	51,4	35,4
288-AL4	ASTER 288	288,3	37	3,15	22,1	794,3	93,71	0,1154	57.000	23,0E-6	655	32,5	65,1	44,8
366-AL4	ASTER 366	366,2	37	3,55	24,9	1008,9	115,36	0,0908	57.000	23,0E-6	765	41,3	82,7	57,0
570-AL4	ASTER 570	570,2	61	3,45	31,1	1576,0	185,33	0,0585	54.000	23,0E-6	1020	78,1	130,1	99,4
851-AL4	ASTER 851	850,7	91	3,45	38,0	2360,7	276,47	0,0394	52.500	23,0E-6	1320	130,1	195,2	157,9
1144-AL4	ASTER 1144	1143,5	91	4,00	44,0	3173,4	360,22	0,0293	52.500	23,0E-6	1600	174,9	262,4	212,3
1596-AL4	ASTER 1600	1595,9	127	4,00	52,0	4427,5	502,72	0,0210	50.500	23,0E-6	1990	262,4	367,4	308,5

ANEXO 3

A3-1 - Tabela de verificação dos esforços de utilização dos apoios.

H(m)	F₇₅₀ (daN)	S₇₅₀ (daN)	F'₇₅₀ (daN)	S'₇₅₀ (daN)	Tipo
14	400	220	195	107	14M400
16	400	220	146	80	16M400
18	400	220	90	49	18M400
16	600	320	334	178	16M600
18	600	320	275	147	18M600
20	600	320	211	112	20M600
22	600	320	160	85	22M600
14	800	420	554	291	14M800
16	800	420	499	262	16M800
18	800	420	434	228	18M800
20	800	420	365	191	20M800
22	800	420	309	162	22M800
16	1000	520	665	346	16M1000
18	1000	520	596	310	18M1000
20	1000	520	521	271	20M1000
22	1000	520	461	240	22M1000
14	1200	560	878	410	14M1200
16	1200	560	807	376	16M1200
18	1200	560	726	339	18M1200
20	1200	560	639	298	20M1200
22	1200	560	569	265	22M1200
24	1200	560	471	219	24M1200
26	1200	560	365	170	26M1200
28	1200	560	271	126	28M1200
16	1400	650	970	450	16M1400
22	1400	650	717	333	22M1400
24	1400	650	613	284	24M1400
26	1400	650	502	233	26M1400
28	1400	650	403	187	28M1400
30	1400	650	280	130	30M1400
14	1600	740	1214	561	14M1600
16	1600	740	1133	524	16M1600
18	1600	740	1041	481	18M1600
22	1600	740	865	400	22M1600
24	1600	740	755	349	24M1600
26	1600	740	639	295	26M1600
28	1600	740	536	247	28M1600
30	1600	740	407	188	30M1600
14	2250	1000	1770	786	14M2250
16	2250	1000	1673	743	16M2250
18	2250	1000	1564	695	18M2250
20	2250	1000	1449	644	20M2250
22	2250	1000	1358	603	22M2250
24	2250	1000	1230	546	24M2250
26	2250	1000	1096	487	26M2250

H(m)	F₇₅₀ (daN)	S₇₅₀ (daN)	F'₇₅₀ (daN)	S'₇₅₀ (daN)	Tipo
28	2250	1000	976	434	28M2250
30	2250	1000	829	368	30M2250
14	2750	1300	2250	1063	14M2750
16	2750	1300	2152	1017	16M2750
18	2750	1300	2043	965	18M2750
20	2750	1300	1927	911	20M2750
22	2750	1300	1836	868	22M2750
24	2750	1300	1710	808	24M2750
26	2750	1300	1577	745	26M2750
28	2750	1300	1459	689	28M2750
30	2750	1300	1314	621	30M2750
14	3500	1600	2922	1336	14M3500
16	3500	1600	2804	1282	16M3500
18	3500	1600	2680	1225	18M3500
20	3500	1600	2549	1165	20M3500
22	3500	1600	2411	1102	22M3500
24	3500	1600	2267	1036	24M3500
26	3500	1600	2116	968	26M3500
28	3500	1600	1959	896	28M3500
14	4000	1800	3403	1531	14M4000
16	4000	1800	3289	1480	16M4000
18	4000	1800	3162	1422	18M4000
22	4000	1800	2923	1315	22M4000
24	4000	1800	2777	1250	24M4000
26	4000	1800	2625	1181	26M4000
14	5000	2350	4379	2058	14M5000
16	5000	2350	4262	2003	16M5000
18	5000	2350	4133	1942	18M5000
20	5000	2350	3997	1878	20M5000
22	5000	2350	3891	1829	22M5000
24	5000	2350	3745	1760	24M5000
26	5000	2350	3592	1688	26M5000
16	7500	3400	6724	3048	16M7500
18	7500	3400	6589	2987	18M7500
20	7500	3400	6446	2922	20M7500
22	7500	3400	6335	2872	22M7500
24	7500	3400	6181	2802	24M7500
26	7500	3400	6020	2729	26M7500
16	9000	4000	8130	3613	16M9000
18	9000	4000	7980	3547	18M9000
20	9000	4000	7824	3477	20M9000
22	9000	4000	7702	3423	22M9000
24	9000	4000	7533	3348	24M9000
26	9000	4000	7358	3270	26M9000
12	1750	700	1360	544	12TP2

A3-2 - Tabela de verificação dos esforços de utilização dos apoios – Apoio de fim de linha

H(m)	F₇₅₀ (daN)	S₇₅₀ (daN)	F'₇₅₀ (daN)	S'₇₅₀ (daN)	Tipo
14	1750	700	1272	508	14TP2
12	2250	900	1798	719	12TP4
14	2250	900	1699	679	14TP4

ANEXO 4

A4-1 - Tabela de tensão máxima de montagem e flecha máxima

Vão entre apoios	Tensão de montagem [daN]	Comprimento do vão [m]	Flecha máxima [m]
1 e 2	904,822	103,47	0,911
2 e 3	927,602	110,5	1,014
3 e 4	899,81	101,33	0,879
4 e 5	885,686	97,05	0,819
5 e 6	919,4	109,5	1,004
6 e 7	952,86	123,5	1,233
7 e 8	901,86	102,2	0,892
8 e 9	915,528	107,9	0,979
9 e 10	907,555	105,05	0,936
10 e 11	960,86	127,3	1,299
11 e 12	919,4	109,5	1,004
12 e 13	826,458	71,13	0,471
13 e 14	904,822	103,45	0,911
14 e 15	914,845	108,35	0,988
15 e 16	910,972	105,98	0,949
16 e 17	914,161	107,32	0,97
17 e 18	915,756	108,00	0,981
18 e 19	875,663	91,50	0,736
19 e 20	942,864	119,48	1,166
20 e 21	919,856	109,76	1,008
21 e 22	908,239	104,88	0,933
22 e 23	900,267	101,54	0,882

ANEXO 5

A5-1 - Tabela de esforços dos condutores e referência dos apoios seleccionados.

Apoio	Função do apoio	Ângulo α [grados]	Vão anterior [m]	Vão seguinte [m]	Esforço principal Fy [daN]		Esforço secundário Fx [daN]		Esforço secundário Fz [daN]		Referência do apoio
					Hipótese		Hipótese		Hipótese		
					1	2	1	2	1	2	
1	Fim de Linha	0	-----	103,47	134,408	0	6150,6	0	67,469	0	18M4000
2	Ângulo	168.83	103,47	110,5	3241.43	0	0.468	52.33	201,56	201,56	18M3500
3	Alinhamento	0	110.5	101,13	274,907	0	0	164,94	199,36	0	16M2750
4	Alinhamento	0	101,13	97,05	257,436	0	0	154,46	186,69	0	16M2750
5	Alinhamento	0	97,05	109,5	268,31	0	0	160,99	194,57	0	16M2750
6	Reforço de Alinhamento	0	109,5	123,5	302,67	0	0	1230,1	219,49	219,49	16M3500
7	Alinhamento	0	123,5	102,2	293,184	0	0	175.09	212.61	0	16M2750
8	Alinhamento	0	102,2	107,9	272,92	0	0	163.75	197.9	0	16M2750
9	Alinhamento	0	107,9	105,05	276,62	0	0	165,97	200,6	0	16M2750
10	Reforço de Alinhamento	0	105,05	127,3	301,82	0	0	1230,1	218,87	218,87	16M3500

11	Alinhamento	0	127,3	109,5	307,60	0	0	184,56	223,07	0	16M2750
12	Alinhamento	0	109,5	71,13	234,64	0	0	140,78	170,15	0	16M2750
13	Reforço de Alinhamento	0	71,13	103,45	229,78	0	0	1230,1	164,45	0	16M3500
14	Reforço de Alinhamento	0	103,45	108,35	275,13	0	0	4110,4	199,52	0	16M3500
15	Alinhamento	0	108,35	105,98	278,41	0	0	167,05	201,9	0	16M2750
16	Alinhamento	0	105,98	107,32	277,08	0	0	166,25	200,93	0	16M2750
17	Alinhamento	0	107,32	109,5	234,64	0	0	140,78	170,15	0	16M2750
18	Reforço de Alinhamento	0	91,82	119,48	274,48	0	0	1230,1	216,16	216,16	16M3500
19	Alinhamento	0	108,00	91,50	259,15	0	0	155,49	187,93	0	16M2750
20	Alinhamento	0	119,48	104,88	289,99	0	0	173,99	210,29	0	16M2750
21	Ângulo	155,86	104,88	109,76	4425,62	0	202,83	0	49,49	202,83	16M3500
22	Alinhamento	0	109,76	101,54	246,34	0	0	147,8	178,64	0	16M2750
23	Fim de Linha	0	101,54	-----	111,56	0	6150,6	0	80,89	0	16M4000

ANEXO 6 – Isoladores

A6-1 - Tabela de relação entre o nível de poluição e a linha de fuga específica.

Nível de poluição	Linha de fuga nominal específica mínima [mm/ kV]
Baixa	16
Média	20
Forte	25
Muito forte	31

A6-2 - Tabela de características dos isoladores.

Referência do elemento da cadeia	Diâmetro da parte isolante [mm]	Passo nominal [mm]	Linha de fuga nominal mínima [mm]	Força de ruptura [daN]	Peso [kg]
U 40 B	175	110	190	4000	1,7
A 40	200	110	210	4000	2,6
U 70 BS	255	127	295	7000	3,5
U 100 BS	280	127	295	10000	3,9
U 160 BS	280	146	315	16000	6,2
U 40 BP	175	110	295	4000	2,4
U 100 BLP	280	146	445	10000	5,6

ANEXO 7

Peças desenhadas dos apoios consoante a função

ANEXO 7 - ACTA DE ENCONTROS REGULARES



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2022ELEPD32	DATA:	08.08.2022
---------------------	-------------	-------	------------

DATA	ACTIVIDADES	OBSERVAÇÕES
18.09.2022	Apresentação do tema e definição de objectivos	Rectificar a gramática dos artigos e redefinir os objectivos
05.10.2022	Seleção dos manuais e metodologia a usar	
05.10.2022	Desenvolvimento da revisão bibliográfica	
14.10.2022	Organização da referência bibliográfica e análise da topografia da região	Colocar em sequencia alfabética as referências bibliográficas
02.11.2022	Composição da conclusão e resumo.	
	Submissão dos de cálculos eléctricos e mecânicos	Analisar os parâmetros eléctricos e esforços da linha.
18.11.2022	Etapa de organização do trabalho e últimas correcções	Melhorar a contextualização do trabalho nas partes de introdução e resumo.
24.11.2022	Ultima submissão com trabalho completo	Anexar os anexos de classificação e declaração de honra
Supervisor: Eng ^a . José Chíssico		Assinatura:
Estudante: Edson Nhalugume		Assinatura:

ANEXO 8 - RELATÓRIO DE PROGRESSO



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

Relatório de Progresso

REFERÊNCIA DO TEMA: 2022ELEPD32

1. ACTIVIDADES PLANIFICADAS

ACTIVIDADE	PRAZO PREVISTO
Organização e selecção dos assuntos chaves.	05.10.2022
Levantamento de cargas por alimentar	12.10.2022
Escolha do trajecto da linha e tipos de protecções necessárias.	19.10.2022
Verificação e correcção de cálculos eléctricos e mecânicos.	02.11.2022
Revisão e melhoramento do trabalho.	16.11.2022

2. CONTROLE DE EXECUÇÃO

ACTV.	DATA	ESTÁGIO (%)	OBSERVAÇÕES	RÚBRICA
1	10.10.2022	75	Melhorar introdução e resumo, com contextualização clara	
2	14.10.2022	100	Dados de transportada pelos cabos subterrâneos fornecidos pela EDM	
3	23.10.2022	15	Uso de <i>Online Google Earth</i>	
	28.10.2022	100	Apresentação do melhor trajecto	
4	02.11.2022	75	Colocação dos dados numa tabela para facilitar a compreensão do leitor	
5	14.11.2022	50	Correcções autográficas e melhoramento dos textos	
	18.11.2022	60	Rectificação do resumo e apresentação de conclusões	
	24.11.2022	100	Ultima revisão e classificação do supervisor	

ANEXO PARA CLASSIFICAÇÃO

(Segundo o regulamento)

ANEXO 10

GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO ESCRITO



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

F1 - GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO ESCRITO

Nome do estudante: _____

Referência do tema: _____ Data: ___ / ___ / ___

Título do tema: _____

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					
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 11

GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA (PELO JÚRI)



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

F2 – GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA

Nome do estudante: _____

Referência do tema: _____ Data: ___ / ___ / ___

Título do tema: _____

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)										

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 12

FICHA DE AVALIAÇÃO DA ATITUDE DO ESTUDANTE (PELO SUPERVISOR)



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

FICHA DE AVALIAÇÃO DA ATITUDE DO ESTUDANTE

(Auxiliar para o supervisor)

Nome do estudante: _____

Referência do tema: _____ Data: ___ / ___ / ___

Título do tema: _____

Indicador	Classificação				
	1	2	3	4	5
Atitude geral (manteve uma disposição positiva e sentido de humor)					
Dedicação e comprometimento (Deu grande prioridade ao projecto e aceitou as responsabilidades prontamente)					
Independência (realizou as tarefas independentemente, como prometido e a tempo)					
Iniciativa (viu o que devia ter sido feito e fê-lo sem hesitar e sem pressões do supervisor)					
Flexibilidade (disponibilidade para se adaptar e estabelecer compromissos)					
Sensibilidade (ouviu e tentou compreender as opiniões dos outros)					
Criatividade (contribuiu com imaginação e novas ideias)					
Total de pontos (max: 35)					

Valor do classificador	Cotação obtida	Significado
	1	Não aceitável (0 a 9 valores)
	2	Suficiente (10 a 13 valores)
	3	Bom (14 a 16 valores)
	4	Muito Bom (17 a 18 valores)
	5	Excelente (19 a 20 valores)

Total de pontos (max: 35) _____

Nota (=Total*20/35) _____

ANEXO 13

FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

F3 - FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL

Nome do estudante: _____

Referência do tema: _____ Data: ___/___/___

Título _____ do _____ tema:

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

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

OS MEMBROS DO JURI:

O Presidente	
O Oponente	
Os Supervisores	