



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA

Relatório do Estágio profissional

TITULO:

Projecto de uma Linha de Média e de Baixa Tensão para expansão da Rede de distribuição de Energia Eléctrica do bairro Muhalaze, Município de Matola

AUTOR:

Elias Ernesto Tembe

SUPERVISORES:

Da UEM: Eng^o. Ortígio Nhanombe

Da EDM: Eng^o. Francisco Fanheiro

Maputo, Julho de 2022

Elias Ernesto Tembe

Projecto de uma Linha de Média e de Baixa Tensão para expansão da Rede de distribuição de Energia Eléctrica do bairro Muhalaze, Município de Matola

Relatório de estágio, apresentado como requisito final para obtenção do grau de licenciatura em engenharia eléctrica, pela Universidade Eduardo Mondlane.

Supervisores: Eng^o. Ortígio Nhanombe e
Eng^o. Francisco Fanheiro

Maputo, Julho de 2022

DECLARAÇÃO DE HONRA

Elias Ernesto Tembe, estudante do 5º nível do curso de Engenharia Eléctrica na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, declara, que este trabalho é da sua autoria, sendo fruto dos conhecimentos adquiridos ao longo da sua formação, investigação pessoal e da orientação do supervisor. O conteúdo deste trabalho é original e todos os documentos consultados estão devidamente identificados nas referências bibliográficas.

Maputo, Julho de 2022

(Tembe, Elias Ernesto)

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado em particular aos meus Pais, e a toda minha família, especialmente a minha esposa por sempre ter me dado apoio e por nunca deixarem de confiar em mim.

RESUMO

O presente trabalho desenvolve um projecto expansão de uma rede de energia eléctrica no bairro de Muhalaze, no Município da Matola. Esta irá suprir com as necessidades dos moradores do local não abrangido pela corrente eléctrica actualmemnte e eventuais futuros moradores de Muhalaze. O trabalho está dividido em capítulos, sendo que, compõem o projecto um total de cinco capítulos, nomeadamente: Capítulo 1. Introdução, onde apresenta-se de forma breve no que concerne o trabalho, descrevendo-o e delimitando os objectivos que com este se pretende alcançar, Capítulo 2. Fundamentos teóricos, onde fundamenta-se aspectos referentes as linhas de transmissão de energia de MT e rede de distribuição de BT, Capítulos 3 e 4, faz-se o Dimensionamento de linha de média tensão e de rede de baixa tensão, respectivamente para Muhalaze, e estimativa do custo de implantação e por último no capítulo 5, são apresentadas as conclusões do trabalho.

Índice

DECLARAÇÃO DE HONRA.....	i
DEDICATÓRIA.....	ii
RESUMO.....	iii
CAPÍTULO 1: APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	1
1.1. Introdução	1
1.2. Formulação do problema	2
1.3. Justificativa.....	2
1.4. Objectivos	3
1.4.1. Objectivo geral.....	3
1.4.2. Objectivos específicos	3
1.5. Metodologia.....	3
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
2.1. Electrificação Rural	4
2.1.1. Impacto da Electrificação Rural.....	4
2.2. Transmissão de energia eléctrica	5
2.2.1. Transmissão em CC.....	6
2.2.2. Transmissão em AC.....	6
2.3. Linha de transmissão de energia.....	6
2.3.1. Componentes de uma linha de transmissão aérea	7
2.4. Posto de Transformação.....	12
2.4.1. Componentes de um Posto de Transformação	12
2.5. Rede de distribuição em BT.....	17
2.5.1. Tipos de redes de distribuição	17
2.5.2. Componentes de uma Rede Aérea	18
CAPÍTULO 3: DIMENSIONAMENTO DE LINHA DE MÉDIA TENSÃO PARA MUHALAZE	19
3.1. Aspectos gerais	19
3.2. Determinação da Demanda	19
3.2.1. Previsão da carga	20
3.3. Cálculo eléctrico da linha	22
3.3.1. Determinação de secção de condutores	22
3.3.2. Resistência eléctrica	25

3.3.3. Reactância indutiva	26
3.3.4. Perdas eléctricas e queda de tensão.....	27
3.4. Cálculo mecânico	28
3.4.1. Tensão máxima de tração.....	29
3.4.2. Especificação de apoios.....	30
3.4.3. Determinação da flecha	30
3.4.4. Dimensionamento de isoladores	32
3.4.5. Distâncias entre condutores e de condutores aos objectos	33
CAPÍTULO 4: DIMENSIONAMENTO DA REDE DE BAIXA.....	35
4.2. Posto de transformação.....	35
4.3. Raio de cobertura de cada PT	35
4.4. Cabos eléctricos	35
4.5. Capacidade de condução da corrente	36
4.6. Corrente de curto-circuito	36
4.8. Protecção do PT	37
4.8.1. Protecção no lado de AT	37
4.9. Medição de energia	39
4.10. Sistemas de aterramento.....	39
4.11. Cabos de distribuição	39
5. Conclusão	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
Anexo 1	1
Anexo 2	2
Anexo 3	3
Anexo 4	4

Lista de Símbolos

Sn – Potência aparente nominal

cos ϕ - Factor de potência

Icc - Corrente de curto circuito

F - Frequência

R – Resistência eléctrica

ΔP – Perdas de energia

ΔV – Queda de tensão

dAn/m – Decanewton por metro

MZN – Metical

Scc -Potência aparente de curto circuito

A – Ampere

V – Volts

UI – Tensão de linha

PA – Potência actual

Kg – kilo-grama

D – Distância entre condutores

H – Altura do poste

h – Altura útil do poste

Km – kilo-metro

Pn – Potência nominal

Pc – Potência activa de carga

kW – kilo-Watts

kVA – kilo-volts-amperes

CAPÍTULO 1: APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

1.1. Introdução

A Energia Eléctrica é um meio primordial para o desenvolvimento de um país ou uma certa região, visto que, actualmente, quase todos o processo de desenvolvimento depende do acesso a energia eléctrica, visto que esta, interfere em todos os sectores chave do desenvolvimento, como por exemplo, o sector da água, da saúde, da iluminação, da refrigeração de alimentos, do aquecimento, dos transportes, da agricultura, da produção industrial ou ainda dos meios de comunicação modernos. O desenvolvimento dos sistemas de ensino e de saúde dependem das novas tecnologias que por sua vez, estas também dependem da energia eléctrica.

A distribuição e consumo da electricidade no País encontra-se ainda crescimento, porem, muito lento, sendo assim, actualmente, a cobertura de energia em 35% do Território Nacional, existindo uma maior parte da população nacional sem o acesso a energia eléctrica para a satisfação de suas necessidades básicas, sendo mais prejudicados, locais que se encontram distante das cidades, nas periferias das Vilas, e Zonas de expansão, tendo sua população a viver sobre condições precárias, uma maior parte analfabeta devido ao pobre sistema de ensino, elevado índice de mortalidade por doenças devido a falta de apetrechamento dos hospitais locais, e diversos problemas, que poderiam ser minimizados com o acesso de electricidade. Neste Relatório de estágio cujo tema é **Projecto de uma Linha de Média e de Baixa Tensão para expansão da Rede de distribuição de Energia Eléctrica do bairro Muhalaze, Município de Matola**, irá se apresentar uma possível solução que permite sanar os problemas supracitados. Para tal, será projectado uma linha de expansão de energia eléctrica no bairro de Muhalaze, como forma de agregar electricidade a pessoas que não tem acesso naquele bairro.

1.2. Formulação do problema

O acesso a Energia Eléctrica no território nacional, em particular no município da Matola, caracteriza-se como o principal meio para o desenvolvimento, sendo assim, ainda existem localidades ou regiões que sofrem por completa ou parcial falta de Energia Eléctrica, como é o caso do bairro Muhalaze, em que parte do bairro encontra-se electrificada e a outra parte não, ainda devido a incapacidade de moradores locais aderirem a outras formas de energia, como de Fontes Renováveis Solares e Eólicas, visto que estes exigem investimentos iniciais muito elevados, e para o caso dos geradores a diesel, para além do investimento inicial ser elevado, o investimento operacional também é elevado e estes poluem o ambiente, sendo assim, o desenvolvimento nesse bairro tem sido lento. Com esta falta de energia, problemas vem surgindo e crescendo, sendo principais problemas a falta de iluminação pública, sistemas de conservação de alimentos frescos, sentimento de inferioridade, sistema de ensino restrito ao período nocturno, os Centros de Saúde restritos a atendimentos básicos, uso de meios de iluminação precários, e a desinformação.

1.3. Justificativa

Por a energia eléctrica ser a base de desenvolvimento, expandir a rede de energia do bairro Muhalaze, garante o acesso de energia a toda a população daquele bairro, e como consequência, a maior parte dos problemas que tem se verificado devido a falta de energia serão reduzidos e ou eliminados, permitindo um conforto e sentimento de igualdade a toda a população daquele bairro, visto que, esses problemas na maior parte das vezes, estão relacionados com a satisfação das necessidades básicas dos moradores de Muhalaze em particular.

1.4. Objectivos

1.4.1. Objectivo geral

Projectar uma Linha de Média e de Baixa Tensão para expansão da Rede de distribuição de Energia Eléctrica do bairro Muhalaze, Município de Matola.

1.4.2. Objectivos específicos

- Apresentar o fundamento teórico de projectos de linhas de media e de baixa tensão de energia eléctrica;
- Efectuar o dimensionamento os componentes da linha de Media tensão;
- Efectuar o dimensionamento os componentes da linha de Baixa Tensão;

Estimar o custo total necessário para a implementação do Projecto.

1.5. Metodologia

A elaboração desse trabalho será desenvolvida com base na aplicação das seguintes metodologias:

- **Revisão bibliográfica:** a revisão consistirá na pesquisa e leituras de livros, catálogos electrónicos e físicos, conteúdos da internet.
- **Pesquisa de campo:** com base em visitas da rede eléctrica do bairro de Muhalaze.
- **Modelação computacional:** será por meio do Programa Electrónico *AutoCad*, nele serão elaborados esquemas e especificações gráficas constituinte do projecto.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Electrificação Rural

A electrificação rural é um instrumento da política energética usada em países em vias desenvolvimento como uma das formas encontradas para minimizar a falta do fornecimento de energias em zonas rurais. Um dos objectivos da electrificação passa pela erradicação da pobreza, pelo alívio dos problemas sociais e pelo impulso das prioridades da população.

A electrificação das zonas rurais é complexa e requer uma grande quantidade de competências e equipamentos específicos. Os objectivos, o planeamento, a realização e a operação de projectos de electrificação rural não podem ser separados de problemas como a pobreza, as preocupações de degradação ambiental, o desenvolvimento rural e as necessidades de energia em geral.

2.1.1. Impacto da Electrificação Rural

Um dos principais objectivos da electrificação rural é busca do desenvolvimento económico com vista ao crescimento da produção agrícola, devendo ser avaliada de forma diferente e por razões de natureza puramente social.

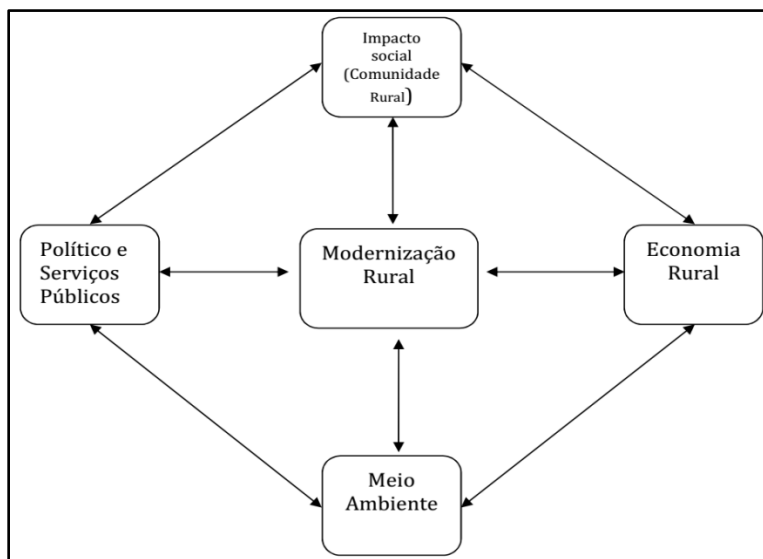


Figura 1: Impactos da Electrificação nas Zonas Rurais *(Fonte: IBER, 2016 [X])*

O impacto da electrificação nas zonas rurais ultrapassa as fronteiras físicas locais, proporcionando benefícios de carácter social e ambiental, altera hábitos locais, melhora a condição de vida das populações, impulsiona a indústria e dinamiza o comércio local. A Figura 2 na página anterior ilustra a interacção entre os impactos ambientais, económicos, políticos e sociais que resulta a modernização rural que é principal objectivo da electrificação rural, e que é o principal instrumento para o desenvolvimento socioeconómico local, regional e nacional.

2.2. Transmissão de energia eléctrica

A transmissão de energia é o processo na qual se desencadeia a interligação das centrais de geração de energia eléctrica com os centros de demanda, podendo ser exclusivamente em sistemas de corrente alternada ou em sistemas de corrente contínua.

2.2.1. Transmissão em CC

A transmissão CC é um sistema de elevado performance que é normalmente utilizado para transporte de grandes potências em grandes distâncias, devido ao seu custo global elevado, em comparação com os sistemas AC, compondo o sistema CC menor perdas em comparação com o sistema AC numa situação de mesma potência a transmitir.

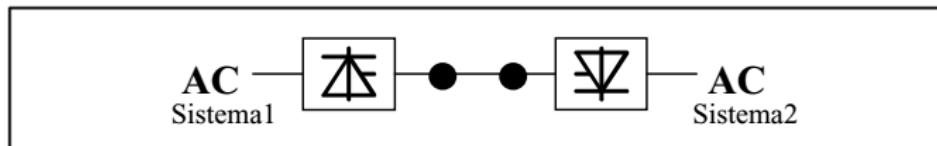


Figura 2: Estrutura básica de transmissão CC

(Fonte: Chan-Ki, 2009 [A])

2.2.2. Transmissão em AC

A transmissão AC é a mais prática, com custo de implantação reduzido, caracteriza-se como sendo a transmissão que mais se adequa nos sistemas eléctricos, porque têm-se a geração desencadeada por meio de alternadores trifásicos e têm-se nos pontos de demanda, cargas de consumidores na sua maioria trifásicas ou monofásicas, tornando a aplicação de transmissão AC mais aplicável, diferentemente da transmissão CC que necessita de conversores e inversores.

2.3. Linha de transmissão de energia

Assim como existem a transmissão AC e transmissão CC, sendo que no acto de abordagem da linha de transmissão de energia eléctrica neste trabalho, será mantido o foco nas linhas de corrente alternada, que é o propósito de projecto em estudo.

2.3.1. Componentes de uma linha de transmissão aérea

As LT's áreas compõem um conjunto de elementos que geralmente se resumem em estruturas de suporte e condutores ou cabos, sendo estes: Fundação, Apoios (que podem ser Postes ou Torres), Isoladores, Cruzetas e os próprios Condutores.



Figura 3: Linha de transmissão em estrutura de madeira

(Fonte: O Autor)

A seguir estão descritos componentes da LT aérea, apresentando suas composições e características.

2.3.1.1. Condutores Eléctricos

Condutor de energia é o meio pelo qual se transporta potência desde um determinado ponto, denominado fonte ou alimentação, até um terminal consumidor. O metal de maior utilização em condutores eléctricos para sistemas de potência é o alumínio, devido ao seu menor peso específico linear e o seu baixo custo de mercado, quando comparado com o cobre, intensamente empregado nas instalações prediais, comerciais e industriais.

Em linhas aéreas é actualmente empregado o uso de condutores de alumínio com alma de aço, sendo que a sua constituição contempla uma alma de fio(s) de aço envolvidos por camadas consecutivas de fios de alumínio. Sendo o(s) fio(s) de aço apenas para garantir resistência mecânica do cabo, e o alumínio envolvente responsável pela condução da corrente eléctrica.

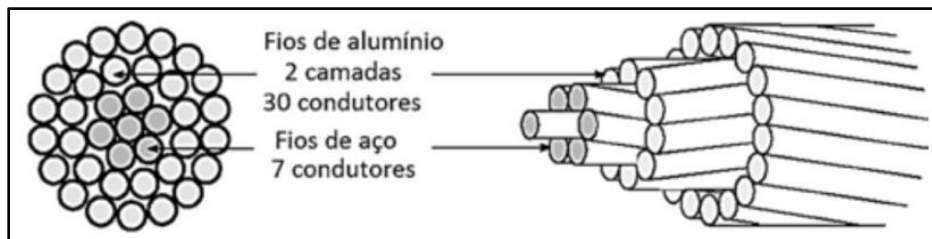


Figura 4: Cabo de alumínio com alma de aço - ACSR 30/7

(Fonte: MOURA, 2019 [X])

2.3.1.2. Apoios

O apoio representa o elemento de uma linha aérea que tem como função, o suporte dos restantes elementos da linha, nomeadamente: condutores, isoladores, pinças e outros. Existem apoios de madeira, metal e betão que podem ser aplicados na linha, sendo que a escolha de cada um deles para dada aplicação depende de factores como o local de implantação, os esforços a que vai estar sujeito, ainda não menos importante, a disponibilidade na empresa.



Figura 5: Apoio de metal sustentado por um apoio de betão

(Fonte: GONÇALVES, 2011[X])

Os apoios na linha podem ser aplicados para desempenhar diversas funções, sendo estas: alinhamento, ângulo, derivação, fim de linha e reforço. Na figura abaixo estão apresentadas diversas classificações de apoios em relação das funções por estes desempenhadas apoios, sendo: (a) apoio em alinhamento, (b) apoio de ângulo, (c) apoio de reforço em alinhamento, (d) apoio de fim de linha, (e) apoio de derivação em alinhamento, (f) apoio de derivação em ângulo.

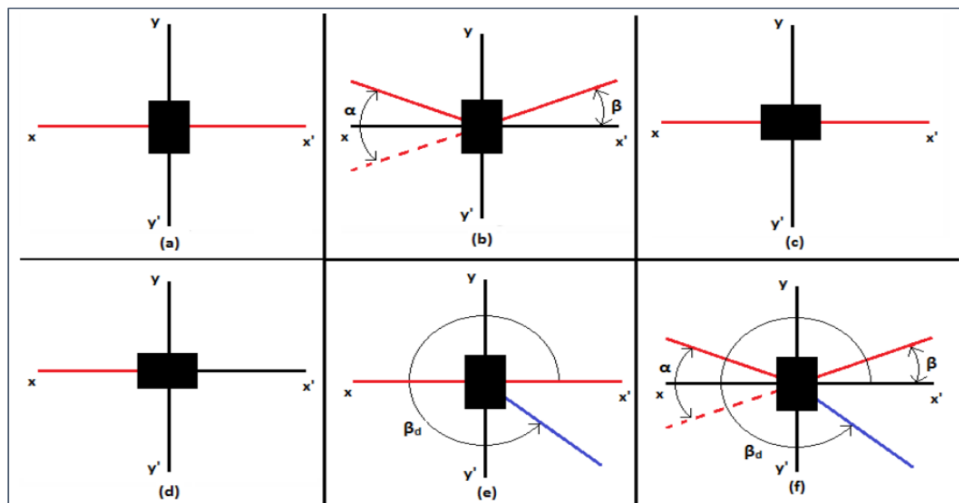


Figura 6: Tipos de apoios e esforços atuante

(Fonte: LEITE, 2008 [X])

2.3.1.3. Armações

As armações são os elementos metálicos que se colocam no topo de um apoio e que permitem a fixação dos condutores a este. A seguir estão apresentadas diferentes formas de armações.

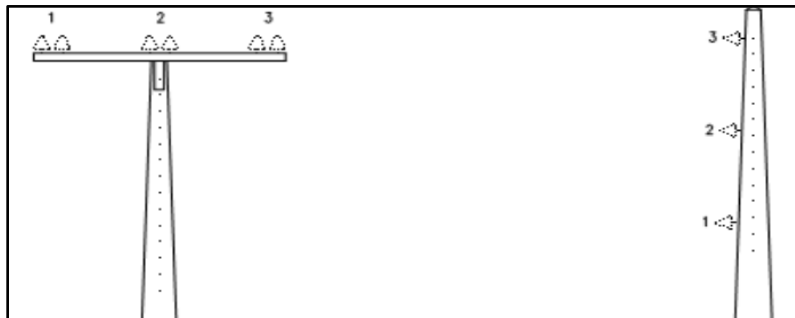


Figura 7: Armação em esteira horizontal e vertical

(Fonte: EDP, 2007 [X])

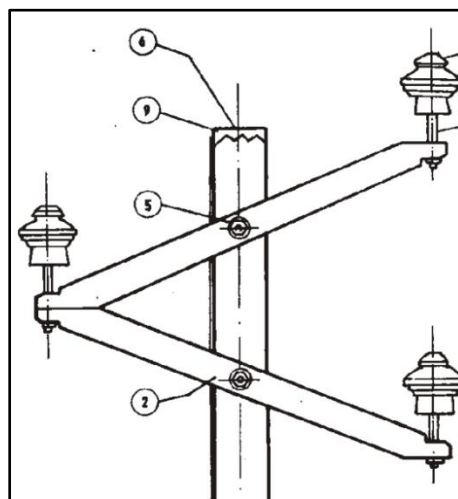


Figura 8: Armação em triângulo

(Fonte: EDM, 2006 [X])

2.3.1.4. Isoladores

Os isoladores são elementos sólidos dotados de propriedades mecânicas capazes de suportar os esforços produzidos pelos condutores. Electricamente, exercem a função de isolar os condutores, submetidos a uma diferença de

potencial em relação à terra (estrutura suporte) ou em relação a um outro condutor de fase.

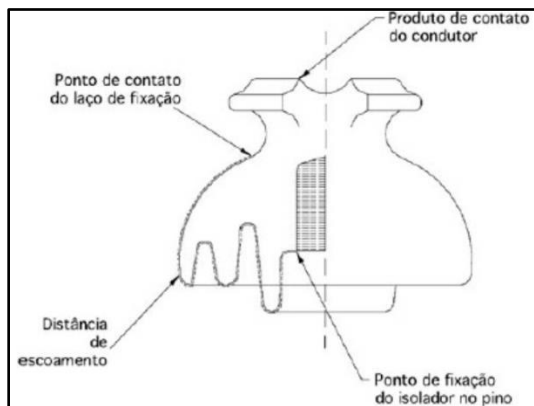


Figura 9: Principais características eléctricas dos isoladores

(Fonte: MAMEDE FILHO, 2013 [X])

Os isoladores podem ser classificados em duas categorias:

2.3.1.4.1. Isoladores de apoio

São aqueles nos quais se apoiam os condutores, podendo ser fixados de maneira rígida ou não. No caso de barramentos de subestação ou painéis metálicos, os condutores (barras) são fixados rigidamente aos isoladores. Porém, no caso de redes de distribuição, os condutores são fixados aos isoladores através de laços pré-formados, ou, por outro meio qualquer, de forma a permitir um pequeno deslocamento devido ao trabalho durante o ciclo de carga.

2.3.1.4.2. Isoladores de suspensão

São aqueles que, quando fixados à estrutura de sustentação, permitem o livre deslocamento em relação à vertical, através da rotação do seu dispositivo de fixação. Estão nessa categoria os isoladores de disco.

2.4. Posto de Transformação

O posto de transformação é local onde destinado a alteração de um nível de tensão para outro, tendo o transformador de potência e a aparelhagens para assegurarem a devida transformação.

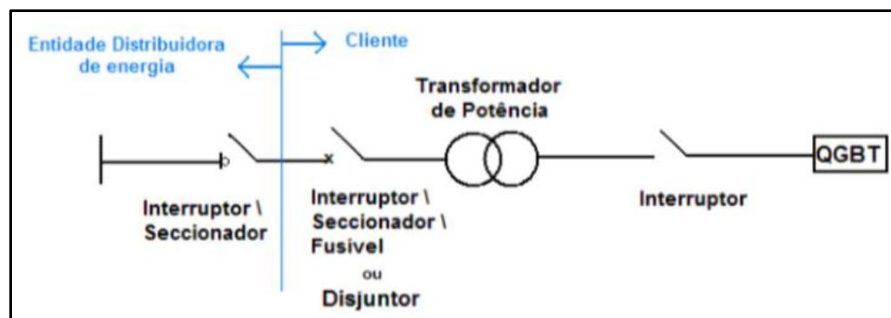


Figura 10: Posto de Transformação e seus elementos

(Fonte: MOURA, 2019 [X])

2.4.1. Componentes de um Posto de Transformação

2.4.1.1. Pára-raios

As linhas de transmissão e redes aéreas de distribuição urbanas e rurais são extremamente vulneráveis às descargas atmosféricas que, em determinadas condições, podem provocar sobretensões elevadas no sistema (sobretensões de origem externa), ocasionando a queima de equipamentos, tanto os da companhia concessionária como os aparelhos do consumidor de energia eléctrica.

Para que se protejam os sistemas eléctricos dos surtos de tensão, que também podem ter origem durante manobras de chaves seccionadoras e disjuntores (sobretensões de origem interna) são instalados equipamentos apropriados que reduzem o nível de sobretensão a valores compatíveis com a suportabilidade desses sistemas. Esses equipamentos protectores contra sobretensões são denominados *pára-raios*. Como alternativa, também, são utilizados os descarregadores de chifre, cujo desempenho é inferior ao dos pára-raios, mas

satisfazem plenamente os sistemas rurais, em que se buscam custos de construção e manutenção cada vez menores.

Os pára-raios são utilizados para proteger os diversos equipamentos que compõem uma subestação de potência ou simplesmente um único transformador de distribuição instalado em poste. Os pára-raios limitam as sobretensões a um valor máximo. Esse valor é tomado como o nível de protecção que o pára-raios oferece ao sistema.

A protecção dos equipamentos eléctricos contra as descargas atmosféricas é obtida por pára-raios que utilizam as propriedades de não linearidade dos elementos de que são fabricados para conduzir as correntes de descarga associadas às tensões induzidas nas redes e em seguida interromper as correntes subsequentes, isto é, aquelas que sucedem às correntes de descarga após a sua condução à terra. Actualmente existem dois elementos de características não lineares capazes de desempenhar as funções anteriormente mencionadas a partir dos quais são construídos os pára-raios: carbonato de silício e óxido de zinco.

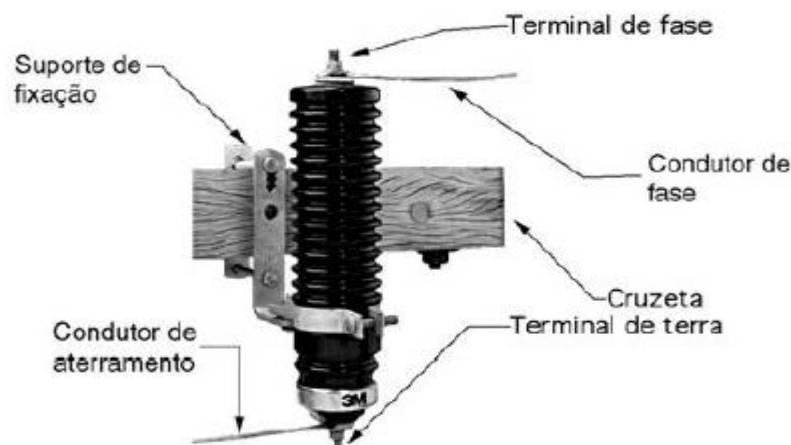


Figura 11: Montagem de um para-raios de distribuição em cruzeta de madeira

(Fonte: MAMEDE FILHO, 2013)



Figura 12: Instalação de um pára-raios de distribuição em estrutura de transformador

(Fonte: O Autor)

2.4.1.2. Chave fusível unipolar (Drop-Out)

Chave fusível é um equipamento destinado à protecção de sobre correntes de circuitos primários, utilizado em redes aéreas de distribuição urbana e rural e em pequenas subestações de consumidor e de concessionária. É dotada de um elemento fusível que responde pelas características básicas de sua operação.

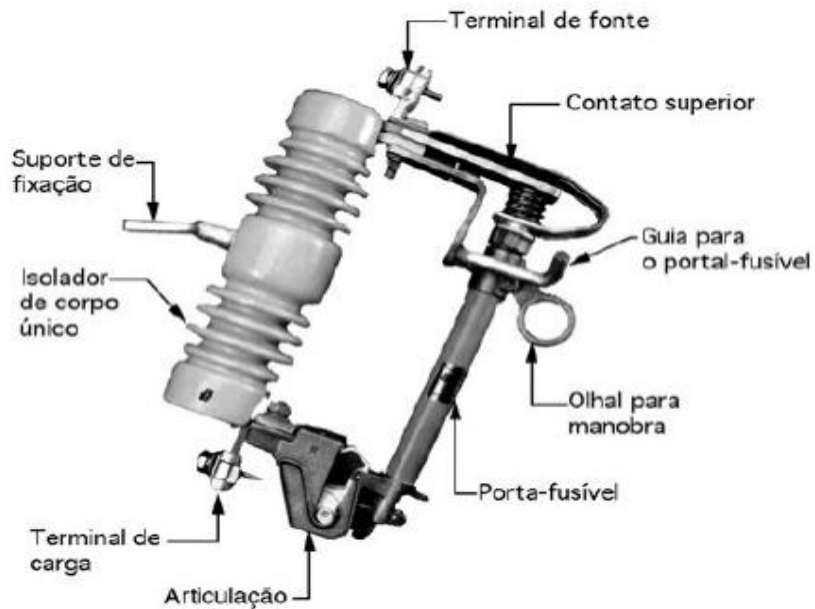


Figura 13: Drop-Out

(Fonte: MAMEDE FILHO, 2013)

2.4.1.3. Transformador

O transformador é um equipamento de operação estática que por meio de indução electromagnética transfere energia de um circuito, chamado primário, para um ou mais circuitos denominados, respectivamente, secundário e terciário, sendo mantida a mesma frequência, porém com tensões e correntes diferentes.

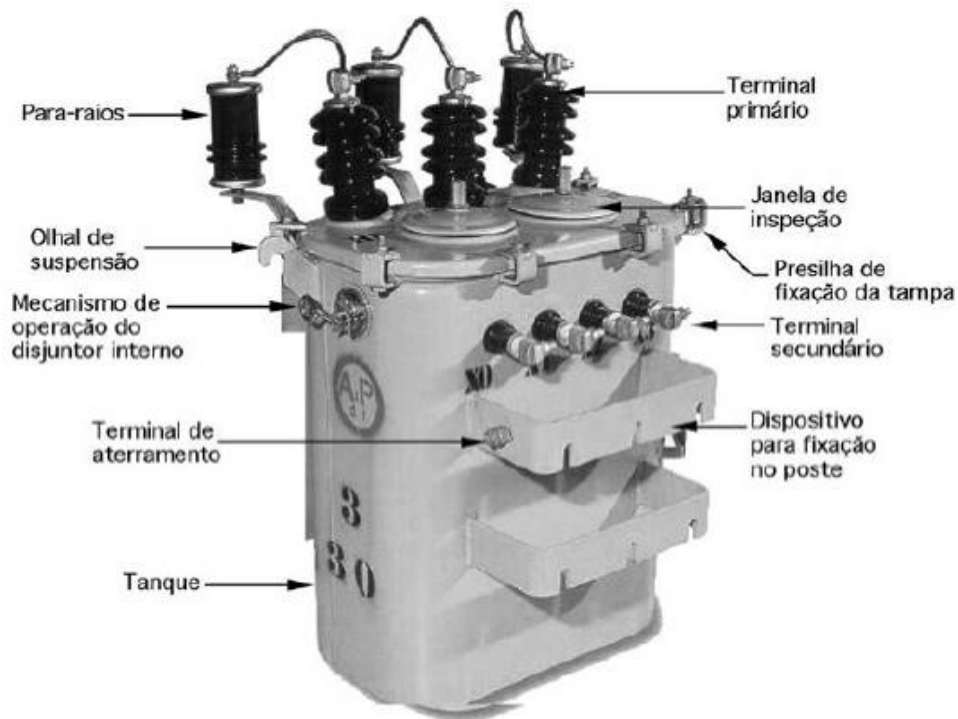


Figura 14: Transformador trifásico de distribuição

(Fonte: MAMEDE FILHO, 2013)

2.4.1.4. Chave de corte geral (Disjuntor)

Os disjuntores são equipamentos de manobra e protecção, destinados à interrupção e ao restabelecimento das correntes eléctricas num determinado ponto do circuito. Ou seja, a sua principal função do Disjuntor é interromper as correntes de defeito e sobrecarga durante o menor espaço de tempo possível. Entretanto, estes também são solicitados a interromper corrente de circuitos operando a plena carga e a vazio, e a energizar os mesmos circuitos em condições de operação normal ou em falta.

2.4.1.5. Quadro geral de baixa tensão

O QGBT é um painel com um ou mais disjuntores (ou fusíveis) por coluna, fixos. Possui disparadores microprocessados, que além das funções de protecção,

realizam medição, monitoração e comunicação remota. A função do QGBT é proporcionar controlo e protecção aos circuitos do sistema de distribuição. O QGBT é o quadro responsável pelas saídas de cargas, equipado por fusíveis de alto poder de corte em todas as suas saídas, dependendo da configuração de PT, a sua localização varia.

2.5. Rede de distribuição em BT

As redes de energia de BT são responsáveis pela entrega ao destino final da energia no acto de distribuição, ela interliga o consumidor particular com o sistema eléctrico, em Moçambique a distribuição em BT em feita sobre domínio de duas tensões, respectivamente, 380V/220V, sendo a primeira a tensão composta (tensão medida entre fase-fase) e a segunda a tensão simples, medida entre fase-neutro, a uma frequência de 50Hz. O sistema de distribuição em BT tem seu início no PT, concretamente no seu secundário, por isso neste estudo o PT será considerado como parte de elemento da rede de BT.

2.5.1. Tipos de redes de distribuição

Existem quatro tipos de redes de distribuição de energia eléctrica que são, rede de distribuição aérea convencional, rede de distribuição aérea compacta, rede de distribuição aérea isolada e rede de distribuição subterrânea, onde:

- **Rede de Distribuição Aérea Convencional:** é o tipo de rede eléctrica onde os condutores eléctricos não possuem isolamento e por isso essas redes estão mais vulneráveis à ocorrência de curto-circuito.
- **Rede de Distribuição Aérea Compacta:** as redes compactas são muito mais protegidas que as redes convencionais, não somente porque o condutor tem uma camada de isolação, mas porque a rede em si ocupa um espaço menor, reduzindo o número de perturbações.
- **Rede de Distribuição Aérea Isolada:** esse tipo de rede é bem protegida, pois os condutores são encapados com isolação suficiente para

serem trançados, ela é geralmente mais cara e utilizada em condições especiais.

- **Rede de Distribuição Subterrânea:** A rede subterrânea é aquela que proporciona o maior nível de confiabilidade e oferece melhor resultado estético, pois as redes ficam enterradas. Apesar das vantagens citadas, as redes subterrâneas em comparação com os demais tipos de rede, elas são bem mais caras, sendo comuns apenas em regiões mais densas ou onde há restrições para a instalação das redes aéreas.

2.5.2. Componentes de uma Rede Aérea

Os principais elementos constituintes de uma rede de BT são os apoios, cabos eléctricos, acessórios para fixação de cabos e ligadores para ramais individuais dos consumidores. Para a distribuição de baixa tensão são normalmente utilizados apoios de madeira tratada ou de betão, dispondo previamente ou não de acessórios (Pinças, Rotula, Argola e outros) para fixação e suspensão de cabos, sendo que nas redes Nacionais de baixa tensão e em quase todo mundo são aplicados cabos torçados de tipo torçados (ABC) de $3 \times 70+55+25\text{mm}^2$, sendo três para as fases, um para neutro e um para iluminação pública.

CAPÍTULO 3: DIMENSIONAMENTO DE LINHA DE MÉDIA TENSÃO PARA MUHALAZE

3.1. Aspectos gerais

Para o dimensionamento de uma linha de transmissão de energia eléctrica deve-se obedecer critérios que para além de possibilitarem um bom desempenho do sistema, devem minimizar os riscos de acidente.

Portanto, deverá ser observada a necessidade de uma maior segurança na utilização de materiais, equipamentos e protecção do pessoal envolvido nos trabalhos, bem como da população que está sendo servida. Desta forma recomenda-se que na elaboração de projectos sejam observados os critérios e as especificações referentes a:

- Previsão de carga e dimensionamento da rede primaria e secundaria;
- Traçados de alimentadores e circuitos secundários;
- Afastamentos ou distâncias mínimas entre os elementos da linha;
- Protecção e manobra;

Para tal, deve ser feito o cálculo eléctrico e mecânico. O cálculo eléctrico está relacionado com os parâmetros de transmissão de potência, Tensão, Correntes, Perdas eléctricas, Queda de Tensão, e outros, diferentemente com o cálculo mecânico que está relacionado com os aspectos físicos, capacidade de suportar a linha, distâncias de segurança entre outros. Sendo assim, o cálculo da linha a ser realizado neste capítulo atenderá a dois procedimentos: Cálculo Mecânico e Cálculo Eléctrico da Linha.

3.2. Determinação da Demanda

A determinação da Demanda representa o passo inicial no processo de elaboração de uma linha de transmissão, sendo caracterizado pela previsão da carga, e previsões de crescimento anual. Tal crescimento depende de nível de ocupação e o desenvolvimento de construção de habitações.

3.2.1. Previsão da carga

Tabela 1: Previsão da carga para a linha de expansão

Consumidores		Carga (kW)	
Tipo	Qtde.	Unidade	Total
Residência 1	150	1,2	180
Residência 2	100	2,8	280
Comercial	10	1,9	19
Iluminação Pública	100	0,25	25
Escolar	1	3,1	3,1
Hospitalar	1	5	5
Carga prevista (kW)		512,1	

(Fonte: O Autor)

A carga prevista de 512,1kW, foi determinada pela soma de todas as potências necessárias para cada tipo de consumidor. Porém, para a determinação da demanda a transmitir é necessário que se adicione a esta carga o factor de crescimento anual, onde dentre vários factores, foi determinado pela EDM uma taxa de crescimento de carga anual na rede de 7%, entretanto, este factor pode variar consoante as características particulares do projecto.

Para a determinação da demanda total, foi utilizada a equação 3.1, acrescida de um factor de segurança de 25% da potência de carga estabelecida pela equação (3.2):

$$P_C = P_A \times (1 + \alpha)^n \quad (3.1)$$

Onde:

P_C : Potência de carga (kW);

P_A : Potência actual (kW);

α : Factor de crescimento de carga anual;

n : Período de avaliação de crescimento de carga (em anos).

$$P_C = P_A \times (1 + \alpha)^n = P_n = 512,1 \times (1 + 0.07)^5 = 718,25kW$$

$$P_n = 1,25 \times P_C \quad (3.2)$$

Onde:

P_n : Potência ou Demanda de transmissão (kW).

Portanto:

$$P_n = 1,25 \times P_C = 1,25 \times 718,25 = 897,81kW$$

Portanto, a potência nominal de transmissão em kVA é calculada pela equação 3.4.

$$S_n = \frac{P_n}{\cos(\varphi)} \quad (3.3)$$

Onde:

S_n : Potência de transmissão (kVA);

$\cos(\varphi)$: Factor de potência (0,8).

Portanto:

$$S_n = \frac{P_n}{\cos(\varphi)} = \frac{897,81}{0,8} = 1122,26kVA \cong 1125kVA$$

Sendo assim, estimou-se uma potência necessária a transmitir de **1125kVA**, sendo assim, serão seleccionados transformadores com potência cuja soma não seja inferior a esta potência de transmissão.

3.3. Cálculo eléctrico da linha

O cálculo eléctrico foi realizado levando em consideração o seguinte:

- Admitância da linha nula;
- A queda de tensão na linha resulta apenas da soma da queda de tensão provocada na resistência da linha, pela componente activa da corrente, com a queda de tensão provocada na reactância da linha pela componente reactiva da corrente;
- A tensão no início da linha é considerada igual à sua tensão nominal.

3.3.1. Determinação de secção de condutores

Para a determinação da secção do condutor eléctrico, é necessário que se encontre primeiramente a corrente que passa por este condutor, de modo que o condutor a escolher seja capaz de suportar os efeitos térmicos causados por esta corrente em condições de funcionamento normal (Método de capacidade de condução da corrente - MCCC). E também esta deve ter secção suficiente para não causar quedas de tensões que possam extrapolar os limites estabelecidos pelas normas nacionais e internacionais (Método de queda de tensão). E não obstante, também deve atender a questão de custo, ou seja, deve ser de menor custo possível dentre os disponíveis no mercado, desde que atenda os métodos anteriormente mencionados. Portanto, para a determinação da corrente de serviço, deve-se utilizar a equação 3.4.

$$I_S = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_{linha}} \quad (3.4)$$

Onde:

I_S : é a corrente de serviço (A);

S_n : é a potência nominal da linha (kVA);

U_{linha} : é a tensão composta (kV).

$$I_s = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_{linha}} = \frac{1125}{\sqrt{3} \times 33} = 19,68A$$

Portanto, os condutores a utilizar devem ter uma corrente admissível maior que 19,68A.

3.3.1.1. Método de capacidade de condução da corrente

O cabo ou condutor deve possuir uma corrente admissível (capacidade de condução da corrente) não inferior a corrente de serviço que este devera conduzir. A equação 3.5 ilustra a expressão matemática deste enunciado.

$$I_z \geq I_s \quad 3.5$$

Onde:

I_z – Corrente admissível do condutor;

I_s – Corrente de serviço.

Sendo que a corrente de serviço resultou em 19,08A, portanto, o cabo escolhido deve ter uma corrente admissível não inferior a 19,08A.

Segundo a EDM, os cabos condutores a usar na construção de linhas aéreas de média tensão serão condutores de liga de Alumínio designados por “AAAC”,

As secções dos cabos utilizados na EDM são:

- Cabo AAAC com secção nominal de 32.55mm²;
- Cabo ABC, com a secção nominal de (3x55+50+25)mm²;
- Cabo ABC, com secção nominal de (3x70+50+25)mm²
- Cabo ABC, com secção nominal de (3x95+55+25)mm²

Sendo assim, optou-se por utilizar o cabo AAAC.

Obs.: A EDM exige que a queda de tensão ao longo da linha ate o destino final, não deve ser superior a 5% (1,65kV) da tensão nominal (33kV). A linha de média

tensão terá um comprimento de 2.5km, porem para o cálculo da queda de tensão da linha deve-se primeiro determinar os parâmetros da linha, que será feito no item a seguir.

3.3.1.2. Capacidade de curto-circuito

O curto-circuito no sistema eléctrico é analisado em dois casos, sendo o primeiro ocorridos próximo do gerador e o segundo refere-se a ocorrência longe do gerador. O caso mais comum em rede de distribuição é quando o curto ocorre longe do gerador. Em linhas aéreas com condutores de secções não muito elevadas, o cálculo da corrente de curto-circuito admissível é dado admitindo situação de curto-circuito longe do gerador e uma pequena duração.

Portanto, para o cálculo da corrente de curto-circuito foi utilizada a equação 3.6

$$I_{CC}^{m\acute{a}x} = \frac{1}{K1 \times K2} \times \frac{S_n}{\sqrt{t}} \quad (3.6)$$

Onde:

$I_{CC}^{m\acute{a}x}$: Corrente eficaz máxima de curto-circuito (kA);

$K1$: Constante do material condutor ($\text{mm}^2/\text{kA} \cdot \text{s}^{1/2}$) = (6,902 para ACSR);

$K2$: Constante de temperatura (adimensional) = (1,732 para ACSR);

t : Duração do curto-circuito (s).

Aplicada a equação acima, encontrou-se uma corrente de curto-circuito correspondente a:

$$I_{CC}^{m\acute{a}x} = \frac{1}{6,902 \times 1,732} \times \frac{1125}{\sqrt{0,5}}$$

$$I_{CC}^{m\acute{a}x} = 133,09 \text{ kA}$$

3.3.1.3. Cálculo dos parâmetros da linha de transmissão

Segundo o livro de *Power System*, para linhas de transmissão curtas, isto é, linhas com comprimento ate 80km, apenas considera-se a resistência e a

reactância serie, sendo a admitância serie desprezada. A figura 16, ilustra o diagrama de uma linha de transmissão curta.

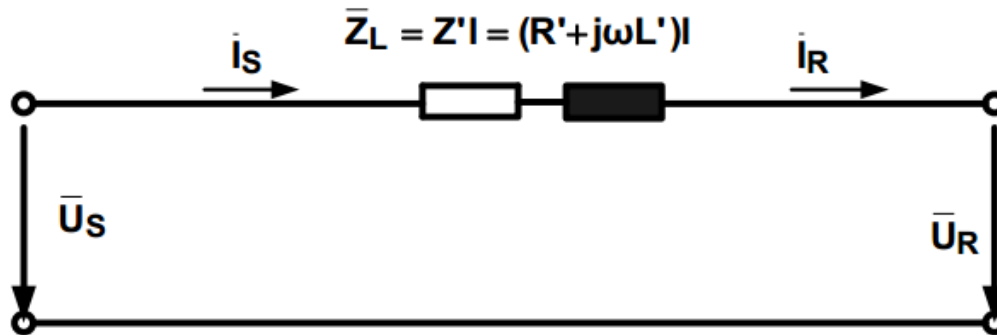


Figura 16: Representação de uma linha de transmissão curta

Por ser uma linha curta, então nesta secção foi determinada apenas a impedância série (Resistência e Reactância indutiva) de uma linha de transmissão aérea, com ou sem cabos de guarda, pois, esses possuem grande importância para que a análise de uma LT (análise das quedas de tensões e as perdas da potência eléctrica) possa ser realizada.

3.3.2. Resistência eléctrica

A determinação da resistência da linha é com base na expressão (3.7) abaixo

$$R = \rho \times \frac{L}{S} \quad (3.7)$$

$$\rho_{\theta} = \rho \times [1 + \beta \times (\theta - 20)] \quad (3.8)$$

Onde:

ρ : Resistividade do condutor ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$);

R : Resistência do condutor (Ω);

β : Coeficiente de Termo resistividade do material condutor a 20°C ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Segundo “DSEE”, o Coeficiente de Termo resistividade e a Resistividade do condutor para o alumínio são respectivamente: $0,00380 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, $0,0287 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$.

Porém, esses dados correspondem a uma temperatura de 20°C, porem, no local da instalação a temperatura é acima deste valor, sendo assim, esses dados devem ser convertidos para a temperatura do local. Neste caso, considerou-se uma temperatura do local de $\theta = 40^\circ C$, temos:

$$\rho_\theta = \rho \times [1 + \beta \times (\theta - 20)] = 0,0287 \times [1 + 0,00380 \times (40 - 20)]$$

$$\rho_\theta = 0,0309 \Omega \cdot mm^2/km$$

Sendo assim, a resistência eléctrica será:

$$R = \rho \times \frac{L}{S} = R = 0,0309 \frac{5}{49,41} = 3,125 \times 10^{-3} \Omega$$

3.3.3. Reactância indutiva

Para o cálculo da reactância indutiva, foi utilizada a equação (3.9):

$$X = 2 \times \pi \times f \times L \tag{3.9}$$

Onde:

X : é a reactância (Ω);

f : a frequência da rede (Hz).

L : coeficiente de auto-indução;

Sendo assim primeiro determinou-se o coeficiente de auto-indução através da expressão (3.10).

$$L' = \left[0,5 + 2 \times \ln \left(\frac{d_{mg}}{r'} \right) \right] \times 10^{-4} \tag{3.10}$$

Onde:

L' : É o coeficiente de auto-indução (H/km);

r' : É o raio fictício do condutor (m);

d_{mg} : É a distância média geométrica entre os condutores, em metros (m);

$d_{13}; d_{23}; d_{12}$: São as distâncias entre os condutores em metros (m).

r : É o raio do condutor (m).

R : Raio da circunferência que passa pelo centro de subcondutores que formam a fase. (m);

A distância média geométrica entre os condutores, foi determinada pela equação 3.11 e o raio fictício pode ser determinado pela expressão (3.12), mas, em simplificações de cálculo o mesmo pode tomar valor de raio do condutor, sendo assim, $r' = r = 5,443mm$ e as distâncias $d_{12} = d_{23} = 0,6m$; $d_{13} = 1,2m$, sendo assim:

$$d_{mg} = \sqrt[3]{d_{12} \times d_{23} \times d_{13}} \quad (3.11)$$

$$r' = \sqrt[n]{nrR^{n-1}} \quad (3.12)$$

Portanto:

$$d_{mg} = \sqrt[3]{0,6 \times 0,6 \times 1,2} = 0,756m$$

O valor da Auto indutância torna-se:

$$L' = \left[0,5 + 2 \times \ln \left(\frac{0,756}{0,0049,48} \right) \right] \times 10^{-4} = 1,056 \times 10^{-3} H/km$$

Por fim, tem-se o valor da indutância da linha:

$$X = 2 \times \pi \times f \times L = 2 \times \pi \times 50 \times 1,056 \times 10^{-3} \times 5 = 1,659\Omega$$

3.3.4. Perdas eléctricas e queda de tensão na linha

Queda de tensão máxima da linha e as perdas de transmissão são determinadas com base nas expressões (3.13) e (3.14) abaixo.

$$\Delta P = 3 \times R \times I_S^2 \quad (3.13)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I_S \times (R \times \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (3.14)$$

Onde:

ΔP : é a perda de energia ao longo da linha;

ΔU : é a queda de tensão;

$$\Delta P = 3 \times R \times I_s^2 = 3 \times 3,125 \times 10^{-3} \times 19,68^2 = 3,631W$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 19,68 \times (3,125 \times 10^{-3} \times 0,8 + 1,659 \times 0,6) = 34,196V$$

Como mencionado anteriormente, as normas exigem que a queda de tensão não deve superar 5% da tensão nominal (33Kv).

Portanto, a queda de tensão determinada pela equação 3.14 pode ser convertida em valores percentuais através da equação 3.15.

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U} \times 100 \quad (3.15)$$

Onde:

ΔU -Queda de tensão determinada pela equação 14, ou seja, em valores não percentuais.

$\Delta U_{\%}$ -Queda de tensão percentual;

U- Tensão nominal da linha, 33kV.

Portanto,

$$\Delta U_{\%} = \frac{34,196}{33000} \times 100 = 0,1\%$$

Portanto, pode-se concluir que o cabo escolhido atende a todos os critérios propostos.

3.4. Cálculo mecânico

No cálculo mecânico foram determinados os parâmetros que garantem a estabilidade das linhas e as distâncias mínimas de segurança. E nesta fase foram determinados os apoios a utilizar, vãos, flexas e a verificação da suportabilidade dos cabos quando submetidos a esforços.

3.4.1. Tensão máxima de tracção

Devidos as mudanças das condições atmosféricas, acção do vento, o peso dos próprios cabos e outros factores, as linhas são sujeitas a esforços de tracção, que tendem a puxar no sentido de tentar romper o cabo, sendo assim, a linha deve ser estabelecida para suportar esses esforços. O valor da tal tracção representa o quociente entre a força máxima de tracção e a secção efectiva do condutor numa situação de condições atmosféricas mais desfavoráveis e a máxima pressão do vento, portanto, esta tensão pode ser determinada com base nas equações (3.16) e (3.17).

$$\sigma_m = \frac{\sigma_R}{2,5} \quad (3.16)$$

Onde:

σ_m : Tensão máxima de tracção (daN);

σ_R : Tensão de rotura do condutor (daN).

O Cabo escolhido é FERRET cuja secção é de 49,41mm² e tensão de ruptura de 1470daN, portanto:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_R}{2,5} = \frac{1470}{2,5} = 588daN$$

Portanto, a

$$\sigma_m^* = \frac{\sigma_R}{2,5S} \quad (3.17)$$

Onde:

σ_m^* : Tensão máxima de tracção (daN/mm²);

S : Secção efectiva dos condutores (mm²).

Aplicada a equação 3.17, obteve-se:

$$\sigma_m^* = \frac{1470}{2,5 \times 49,41} = 11,9 \text{ daN/mm}^2$$

3.4.2. Especificação de apoios

Uma linha aérea, precisa de um conjunto de apoios para suspender e assegurar os cabos e acessórios durante o percurso da linha, para tal, e para manter uma distância segura entre os condutores e o solo, serão aplicados no projecto apoios de madeira tratada de 12,25m, diâmetro de topo entre 0,12 a 0,15m e de base de 0,25m.

Para esse tipo de apoio na EDM é utilizada uma altura de encastramento de 1.8 metros. Ou seja:

$$h_e = \frac{H}{10} + 0,5 \quad (3.18)$$

Onde:

h_e → Altura de encastramento de apoio;

H → Altura do apoio.

Aplicada a equação 3.18, constatou-se que:

$$h_e = \frac{H}{10} + 0,5 = \frac{12,25}{10} + 0,5 = 1,725 \approx 1,8 \text{ m}$$

3.4.3. Determinação da flecha

A flecha deve permitir que se garanta as distâncias mínimas entre o solo e a linha.

Segundo o manual de montagem de linhas eléctricas da EDM, o cabo escolhido (AAAC) comungado com o apoio escolhido, o vão máximo deve ser de 130 metros, como mostra na tabela abaixo.

		VÃOS MÁXIMOS		
		TIPO DE APOIO (altura; m)		
VÃO (m)		12,25	15	18
CABOS	SQUIRREL	120	160	210
	FERRET	130	180	220
	MINK	150	210	240

Portanto, nesse projecto será utilizado um vão de 80 metros.

A equação 3.19 permite a determinação da flecha de uma linha eléctrica.

Portanto:

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{l^2 \times \omega \times m_k}{8 \times \sigma \times t_{\theta k}} \quad (3.19)$$

Onde:

$f_{m\acute{a}x}$: é a flecha máxima (m);

l : é o comprimento do vão (80m);

ω : é o peso específico do condutor (0,247daN/m);

$t_{\theta k}$: é a temperatura associada ao estado de Verão (50°C);

m_k : é o coeficiente de sobrecarga, para o estado de Verão.

Sendo assim, aplicou-se a equação 3.19 e chegou-se a seguinte resultado:

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{80^2 \times 0,247 \times 5,4}{8 \times 73,71 \times 50}$$

$$f_{m\acute{a}x} = 0,290m$$

3.4.4. Dimensionamento de isoladores

Os isoladores escolhidos nesse projecto deverão suportar tanto os esforços eléctricos como mecânicos da linha. Os isoladores serão do tipo cerâmico ou de vidro, portanto, foi necessário determinar-se alguns parâmetros importantes destes, nomeadamente:

- **Comprimento mínimo da linha de fuga:**

$$L_f = L_{fe} \times U_n$$

(3.20)

Onde:

L_f : Linha de fuga mínima (mm);

L_{fe} : Linha de fuga específica (mm/kV);

U_m : Tensão estipulada (kV).

Aplicada a equação 3.20, constata-se que:

$$L_f = 16 \times 36 = 576mm$$

- **Tensão mínima de contornamento sob chuva:**

$$U_{CH} = 2,45 \times U_m \tag{3.21}$$

Onde:

U_{CH} : Tensão contornamento sob chuva (kV);

U_m : Tensão estipulada (kV).

Sendo assim,

$$U_{CH} = 2,45 \times 36 = 88,2 kV$$

3.4.5. Distâncias entre condutores e de condutores aos objectos

3.4.5.1. Distância entre condutores

Os condutores serão estabelecidos de forma que, com a acção de vento, estes não periguem a continuidade de funcionamento devido à aproximação perigosa, ou seja, não devendo observar-se entre eles uma distância inferior a 0,45m. Abaixo está calculado a distância mínima entre condutores da linha:

$$D = 0,75 \times k \times \sqrt{f_{m\acute{a}x} + d_c} + \frac{U_n}{200} \quad (3.22)$$

Onde:

k : Coeficiente dependente da natureza dos condutores, (=0,6 para alumínio-aço);

d_c : Comprimento das cadeias de isoladores (m);

U_n : Tensão nominal da linha em (kV).

Portanto, a equação 3.22 resultou em:

$$D = 0,75 \times 0,6 \times \sqrt{0,290 + 0,576} + \frac{33}{200},$$

$$D = 0,584\text{m}$$

A distância entre condutores consecutivos será de 0,6 metros.

3.4.5.2. Distância dos condutores ao solo

Conforme normalizado, a distância entre os condutores e o solo, nas condições de flecha máxima, desviados ou não pelo vento, não deve ser inferior a 6m.

3.5.5.3. Distância dos condutores às estradas

As distâncias mínimas dos condutores as estradas não devem ser inferiores a 7m, conforme calculado na expressão 3.23.

$$D' = 6,3 + 0,01 \times U_n \quad (3.23)$$

Onde:

U_n é a tensão nominal da linha de média tensão, que é 33 kV.

Portanto:

$$D' = 6,3 + 0,01 \times 33 = 6,63m$$

3.5.5.4. Distância dos condutores aos cursos de água navegáveis

As distâncias mínimas dos condutores aos cursos de água navegáveis não devem ser inferiores a 12,28m, conforme calculado abaixo pela expressão 3.24.

$$D' = 1,5 + 0,01 \times U_n + H \quad (3.24)$$

Onde:

H é a altura útil dos apoios.

Portanto:

$$D' = 1,5 + 0,01 \times 33 + 10,45 = 12,28m$$

CAPÍTULO 4: DIMENSIONAMENTO DA REDE DE BAIXA

As redes eléctricas de baixa tensão, são redes que frequentemente estão sujeitas a alterações e expansões, que se devem essencialmente à constante necessidade de alimentação de novos consumidores e à necessidade de garantir um bom funcionamento. Estas necessidades originam a necessidade de um dimensionamento preciso, para uma satisfação actual e futura de carga.

4.2. Posto de transformação

De acordo com as práticas na EDM, existem três tipos de Postos de transformação aéreos mais usados, nomeadamente:

- Postos de transformação em poste de betão (tipo B);
- Posto de transformação em pórtico de madeira (tipo M1);
- Posto de transformação assentes em base de alvenaria (tipo M2).

Por ser um local caracterizado por muita casas próximas uma da outra, optou-se por utilizar-se um PT do tipo M2 com transformador de 250kVA.

Sendo assim para perfazer a potência necessária no local, deverão ser utilizados 5 transformadores, que fornecerão uma potência de ate 1250Kva.

4.3. Raio de cobertura de cada PT

A EDM, recomenda um raio de cobertura de um PT de 400m, para evitar que a queda de tensão seja bastante acentuada.

4.4. Cabos eléctricos

Para os cabos suportarem os esforços eléctricos e térmicos durante o seu funcionamento, devem ser dimensionados com base na verificação da capacidade de condução da corrente em regime permanente, queda de tensão e curto circuito.

4.5. Capacidade de condução da corrente

Corrente de serviço no regime permanente:

$$I_s = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_l} \quad (4.1)$$

Onde:

I_s : corrente serviço (A);

S_n : potência nominal de transformador (kVA);

U_l : tensão composta de saída (kV).

$$I_s = \frac{250 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380} = 379,84A$$

Portanto, será utilizado:

Cabo: VAV 3 × 240mm² + N120mm² + T120mm²

4.6. Corrente de curto-circuito

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \times U_l} \quad (4.2)$$

$$S_{cc} = \frac{100 \times S_n}{X_d} \quad (4.3)$$

Onde:

I_{cc} : corrente de curto-circuito (kA).

S_{cc} : potência de curto-circuito (kVA)

X_d : reactância subtransitória (%).

$$S_{cc} = \frac{100 \times 250}{4} = 6250kVA$$

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \times U_l} = \frac{6250}{\sqrt{3} \times 380} = 9,5kA$$

4.7. Verificação da queda de tensão

Segundo a EDM, queda de tensão máxima numa urbanização é de 5% da tensão nominal. Portanto, em valores reais, 5 % de 380V, corresponde a 19V:

Portanto:

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I_S \times (R \times \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (4.4)$$

Os valores médios das reactâncias e resistências de condutores de cobre são resistência 0,0957mΩ/m e uma reactância de 0, 1070mΩ/m para a secção de 240mm².

Portanto:

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 360,84 \times (0,0957 \times 10^{-3} \times 20 \times 0,8 + 0,1070 \times 10^{-3} \times 20 \times 0,6)$$

$$\Delta U = 1,760V$$

Neste caso, a queda de tensão esta satisfaz a condição imposta.

4.8. Protecção do PT

O PT será protegido tanto na entrada de linha assim como na saída ou saídas, como apresentado nos fundamentos teóricos.

4.8.1. Protecção no lado de AT

4.8.1.1. Pára-raios

Segundo a EDM são utilizados pára-raios de modelo XBE, de tensão de operação de 36kV e capacidade de 10kA.

4.8.1.2. Rupto-fusível tripolar (Drop-Out)

$$I_{AT} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_{AT}} \quad (4.5)$$

$$I_{AT} = \frac{250000}{\sqrt{3} \times 33000} = 4,374A$$

Serão utilizados três Drop-outs da marca AB-CHANCE tensão nominal 35kV, corrente nominal 100A, poder de corte 8kA, tensão de choque de 95kV e uma distância de fuga de 216mm. Porém, estes deverão ser calibrados para corrente nominal e de LINK de 4,4A/6A.

4.8.1.3. Protecção no secundário do PT

A protecção no secundário do PT, é estabelecido no interior de um painel, designado QGBT, no qual devera ter-se um dispositivo de corte geral, que oferecerá protecção contra sobreintensidades no lado de baixa tensão.

Condições para escola de disjuntor:

$$I_S \leq I_n \leq I_Z \quad (4.6)$$

$$I_f \leq 1,45 \times I_Z \quad (4.7)$$

Onde:

I_S : corrente de serviço da canalização (A);

I_Z : corrente máxima admitida no circuito em regime permanente (A);

I_f : corrente de fusão do circuito (A);

I_n : Corrente nominal do dispositivo de protecção(A)

$I_n = 400A$ com $I_f = 640A$.

$$379,84A < 400A < 410A$$

$$I_f \leq 1,45 \times I_z = 1,45 \times 410 = 594,5A$$

Condições satisfeitas.

Na EDM, normalmente são utilizados disjuntores da marca SACE, do tipo SN ou N, sendo assim, será usado um disjuntor de corte geral da SACE, SN-400 A com poder de corte de 30kA.

4.9. Medição de energia

A contagem de energia nos PT's será feita por através de um contador trifásico e um contador monofásico, onde, o contador trifásico para a contagem de energia de carga geral e o monofásico para a contagem de carga de IP.

4.10. Sistemas de aterramento

Serão instalados dois tipos de terras, nomeadamente, terra de serviço (**TS**) e terra de protecção (**TP**), distanciadas em 20m. Os eléctrodos de terra 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 0,80m. Deve-se medir o valor da resistência de terra, ajustando o número de eléctrodos necessários, de modo que se obtenha a resistência inferior a 20Ω. Os eléctrodos deverão ser de aço galvanizado, cobre ou aço cobreado de Ø20 mm cobreados e com um comprimento não inferior a 2m.

4.11. Cabos de distribuição

Em cada PT deverá haver 4 saídas. Portanto, a distribuição de energia será aérea desenvolvida sobre postes de madeira tratada de 9m, por meio de cabo torçado de tipo ABC indicado abaixo, suspenso por pinças que garantam a sua resistência contra acções electrodinâmicas.

$$ABC \ 3 \times 70 + 55 + 25mm^2$$

ESTIMATIVA DE CUSTOS					
Obra:	Expansão da Rede Eléctrica				
Local:	Bairro Muhalaze				
I. RMT (2,5 Km)					
ORD	Designação de Materiais	Unid	QTD	Custo unit. (MTs)	Custo Total (MTs)
1	Transformador (250 KVA)	un	5	555,985.62	2,779,928.12
2	Quadro geral de Baixa Tensão de 315A	un	5	391,959.31	1,959,796.53
3	Cabo VAV (3x240+120+120) mm ²	m	75	2,926.11	219,458.36
4	Poste de madeira de 12,25Mx0,16/0,18	un	31	13,376.31	414,665.48
5	Cadeias de Isoladores c/ Acessórios	un	72	2,190.13	157,689.70
6	Pinça de amarração	un	72	1,221.78	87,968.46
7	Isoladores horizontais c/ pernos	un	51	3,511.77	179,100.10
8	Perfil "U" de 100x50x8mm (3m)	un	5	9,659.78	48,298.89
9	Perfil "L" de 80x80x8mm (2.8m) c/ cruzetas e Acessórios	un	17	12,317.75	209,401.72
10	Bases de drop-outs	un	15	8,873.56	133,103.41
11	Para-raios 36kv	un	15	8,397.16	125,957.40
12	Espia completa MT	un	16	12,961.87	207,389.89
13	Eléctrodos de terra	un	50	861.14	43,057.00
14	Condutor de cobre nu 35mm ²	m	50	457.27	22,863.50
15	Condutor de liga de Al Pine AAAC 150 mm ²	m	7,500	83.50	626,250.00
16	Terminais de cobre de 95mm ²	un	20	89.91	1,798.20
17	Ligadores paralelos de alumínio	un	30	506.17	15,185.10
18	Aço para Aterramento do Poste	m	130	162.36	21,106.80
19	Parafusos M20x400x100	un	100	743.48	74,348.00
20	Maciço	m	5	50,312.50	251,562.50
21	Vedação	un	5	31,080.03	155,400.15
SUBTOTAL – I					7,734,329.32
III. REDE DE BAIXA TENSÃO (10.4 Km)					
	Designação de Materiais	Un	QTD	Custo unit. (MTs)	Custo Total (MTs)
22	Poste de madeira de 9m x 0,14/0,16	un	260	7,230.90	1,880,035.09

23	Cabo torçado ABC 3x50+55+25mm ²	m	10,500.00	456.33	4,791,465.00
24	Cabo VAV (3x95+55+55)mm ²	m	225	2,926.11	658,375.09
25	LGS- Luminária Fluorescente 2x40w	un	130	12,338.24	1,603,970.55
26	Braço 1.5m	un	130	1,638.00	212,940.00
27	Fotocélula	un	5	994.97	4,974.84
28	Fio PCN	m	260	100.00	26,000.00
29	Pinças de amarração PAB/1500 4X50mm ²	un	70	729.17	51,041.72
30	Pinças de suspensão P/B PS 3035 - 4x50mm ²	un	190	589.28	111,963.62
31	Ferro de argola	un	260	838.46	217,998.85
32	Ligadores de Garra PC2/WP2F	un	260	85.00	22,100.00
33	Ligadores de garra PC3/WP3F	un	160	276.27	44,203.54
34	<u>Escorra</u>	un	10	7,230.90	72,309.04
35	Espia complete	un	80	5,972.59	477,807.41
SUBTOTAL – II					10,175,184.74
SUBTOTAL A - CUSTO TOTAL DE MATERIAIS (I+II)					17,909,514.06
B - MAO DE OBRA					
	Descrição	Qtd		Valor	Valor Total (MTs)
	Mão de Obra 10%	1		1,790,951.41	1,790,951.41
SUBTOTAL – B					1,790,951.41
C - TRANSPORTE					
	Descrição	Qtd		Valor	Valor Total (MTs)
	Transporte 5%	1	1	895,475.70	895,475.70
SUBTOTAL – C					895,475.70
RESUMO					
Soma (A + B + C)					20,595,941.17
IVA 17%					3,501,310.00
TOTAL GERAL					24,097,251.17

5. Conclusão

Após a elaboração deste Relatório constatou-se que os objectivos determinados foram alcançados. Onde no capítulo 2, foram estabelecidas as bases teóricas, tendo como foco, apresentar conceitos dos elementos mais importantes e principalmente aqueles que foram utilizados neste trabalho, esses conceitos foram dos elementos de linhas de MT e de BT.

No capítulo 3 e 4 realizou-se, respectivamente, o dimensionamento da linha de MT a rede de BT. Especificamente, efectuou-se os cálculos eléctricos e mecânicos da linha de MT. Onde nos cálculos eléctricos, foram determinados os parâmetros eléctricos da linha, e nos cálculos mecânicos foram dimensionados os elementos da linha de modo a suportarem os esforços que estes serão expostos. Também, foram dimensionados os cabos, transformadores, protecções na BT.

E por último a estimativa do custo para a implantação deste projecto foi de 24,097,251.17Mt, dos quais, 7,734,329.32Mt de aquisição dos materiais de MT, 10,175,184.74Mt de aquisição dos materiais de BT, 1,790,951.41Mt de mão-de - obra, 895,475.70Mt de transporte e 3,501,310.00Mt IVA.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Chan-Ki Kim, Vijay K. Sood, Gil-Soo Jang, Seong-Joo Lim and Seok-Jin ee. 2009 - HVDC Transmission: Power Conversion Applications in Power Systems, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd., Singapore

[2] FADIGAS, E. 2011 - Instalações Consumidoras de Energia Elétrica, Aula -38, São Paulo [5] GLOVER, J., SARMA, M., OBERBYE, T. 2010 - Power System Analysis e Design, 5th Ed., USA

[3] LEITE, H. 2008 - Elaboração de Projectos de Linhas Aéreas de distribuição de Energia. Porto [4] GALVÃO, CLÁUDIO D. 2010 - Redes eléctricas de média e baixa tensão: Aspectos de projecto, licenciamento e exploração em contexto operacional;

[5] KINDERMANN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. 1992 - Aterramento Elétrico, 2 edição, Editora SAGRA-DC LUZZATTO, Porto Alegre;

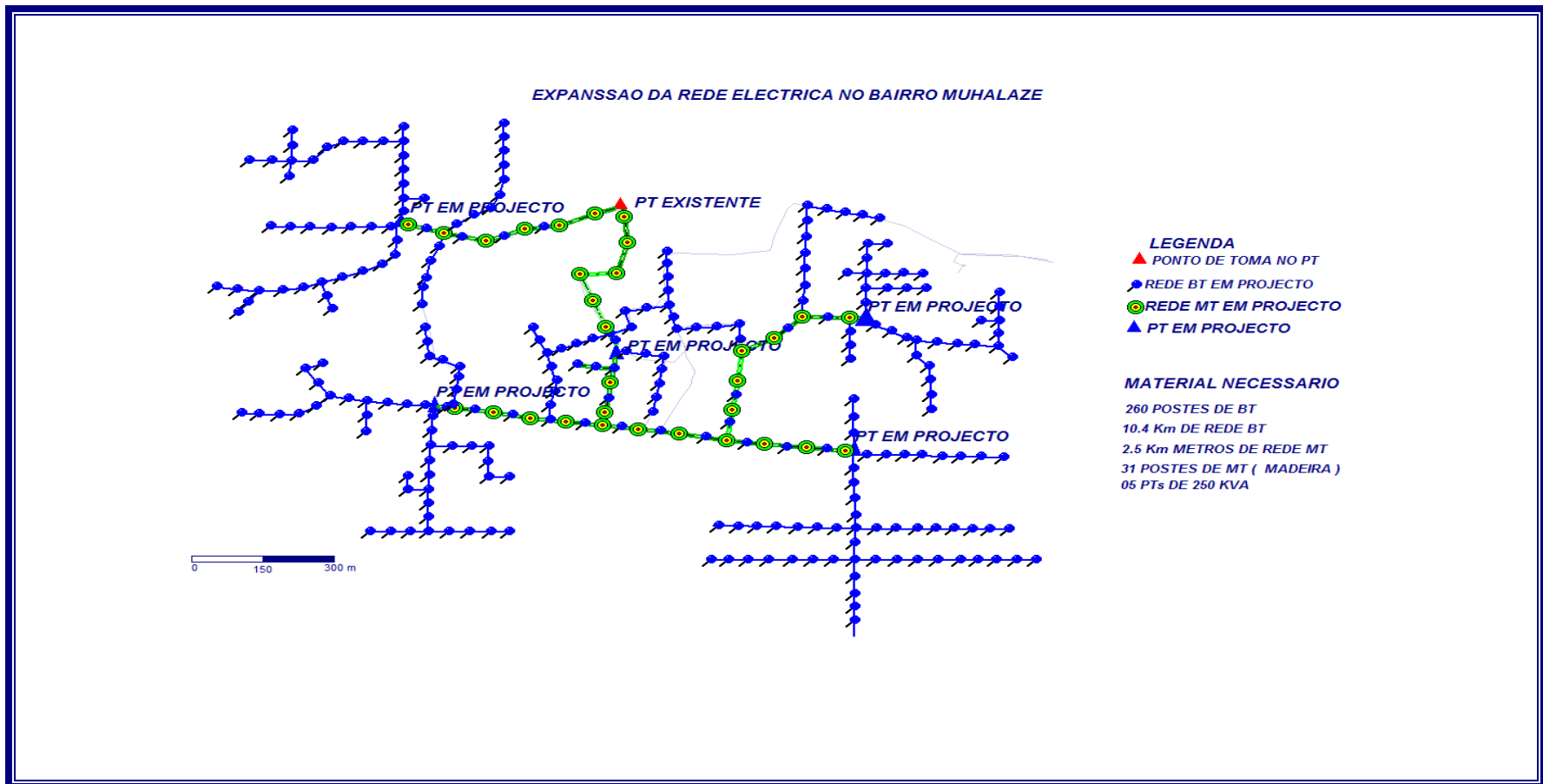
[6] EDM - Manual de montagem de linhas de distribuição;

[7] EDM – Manual de montagem de Postos de Transformação Rural.

ANEXOS

Anexo 1

Figura A1-1: Expansão da Rede eléctrica no bairro Muhalaze



Anexo 2

Tabela A2-2: Cabos de distribuição

Tipo de rede	Tipo de cabos e de condutores (nº cond. x mm ²)	I _z (A)	I _{n fus.} (A)	Potências alimentáveis (kVA)
Aérea	LXS 2x16	85	63	M: P ≤ 14
	LXS 4x16	75	63	T: P ≤ 43
	LXS 4x25	100	80	T: P ≤ 55
Subterrânea	LSVAV 2x16	95	80	M: P ≤ 18
	LSVAV 4x16	90	80	T: P ≤ 55
	LSVAV 4x35	130	100	T: P ≤ 69
	LSVAV 4x95	235	200	T: P ≤ 138
	LVAV 3x185+95	355	315	T: P ≤ 217

M - Ligação monofásica T - Ligação trifásica

Anexo 3

Tabela A3-3: Correntes admissíveis dos cabos eléctricos

TIPO Secção (mm ²)	VV / VAV / H05VV-F						LVV / LSVV / LVAV / LSVAV					
	COBRE						ALUMÍNIO					
	1 cond.*		2 cond.		3-4 cond.		1 cond.*		2 cond.		3-4 cond.	
	enterr.	ao ar	enterr.	ao ar	enterr.	ao ar	enterr.	ao ar	enterr.	ao ar	enterr.	ao ar
0.75				14		12						
1				17		15						
1.5	34	27	30	22	25	20						
2.5	45	36	40	30	35	28						
4	60	48	50	40	45	36	48	38	40	32	36	29
6	75	60	65	50	60	48	60	48	50	40	48	38
10	105	85	90	70	80	65	85	70	70	55	65	50
16	135	110	120	95	110	90	110	90	95	75	90	70
25	180	145	155	125	135	110	145	115	125	100	110	90
35	225	180	185	150	165	130	185	145	150	120	130	105
50	260	210	220	180	190	150	210	170	175	145	150	120
70	345	275	280	225	245	195	275	220	225	180	195	155
95	410	330	335	270	295	235	330	265	270	215	235	190
120	485	390	380	305	340	270	390	310	305	245	270	215
150	550	440	435	350	390	310	440	350	350	280	310	250
185	630	505	490	390	445	355	505	405	390	310	355	285
240	740	595	570	455	515	410	590	475	455	365	410	330
300	855	685	640	510	590	420	685	550	510	410	470	375
400	1015	820	760	610	700	560	810	655	610	490	560	450
500	1170	935	-	-	-	-	935	750	-	-	-	-

*Caso de um condutor: admite-se que o cabo está fora da influência térmica dos restantes.

Anexo 4

Tabela A4-4: Características dos disjuntores de BT

Características dos disjuntores
(artº 134 – comentários 3)

Intensidade nominal (I_N) (A)	Intensidade convencional de não funcionamento (A)	Intensidade convencional de funcionamento (A)
6	7	8
10	11	13
15	16,5	19,5
20	22	26
25	27,5	32,5
30	33	39
40	44	52
50	55	65
60	66	78
80	88	104
100	110	130
125	137	162
150	165	195
200	220	260

Anexo 5

Tabela A5-5: Acta de encontros

Tabela A5-6: Acta de encontros-continuação

Tabela A5-7: Acta de encontros-continuação

Tabela A5-8: Acta de encontros - continuação

Tabela A5-9: Acta de encontros-continuacao

Anexo 6

Tabela A6-10: Relatório De Progresso

Tabela A6-11: : Relatório De Progresso-continuação

Tabela A6-12: Ficha de Avaliação Global

Anexo 7

Tabela A7-12: Guia de Avaliação do Relatório Escrito

Tabela A7-13: Ficha de Avaliação Global