



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GEORGE WILLIAM PICAÑO TAVARES

**PROPOSTA DE SUBSTITUIÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA
AÉREA, POR SUBTERRÂNEA NO CAMPUS MARCO ZERO DO EQUADOR DA
UNIFAP**

MACAPÁ
2019

GEORGE WILLIAM PICANÇO TAVARES

**PROPOSTA DE SUBSTITUIÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA
AÉREA, POR SUBTERRÂNEA NO CAMPUS MARCO ZERO DO EQUADOR DA
UNIFAP**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Amapá como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Neves de Albuquerque Maranhão.

Coorientador: Prof. Me. Coracy da Silva Fonseca.

MACAPÁ
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá
Elaborada por Cristina Fernandes – CRB-2/1569

Tavares, George William Picanço.

Proposta de substituição da rede de distribuição elétrica aérea, por subterrânea no campus marco zero do equador da Unifap / George William Picanço Tavares ; orientador, Geraldo Neves de Albuquerque Maranhão; coorientador, Coracy da Silva Fonseca. – Macapá, 2019.
133 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica.

1. Redes subterrâneas. 2. Distribuição de energia elétrica. 3. Confiabilidade na energia elétrica. I. Maranhão, Geraldo Neves de Albuquerque, orientador. II. Fonseca, Coracy da Silva, coorientador. III. Fundação Universidade Federal do Amapá. IV. Título.

333.796 T231p
CDD: 22. ed.

GEORGE WILLIAM PICANÇO TAVARES

**PROPOSTA DE SUBSTITUIÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA
AÉREA, POR SUBTERRÂNEA NO CAMPUS MARCO ZERO DO EQUADOR DA
UNIFAP**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Amapá como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

APROVADO EM: 31/052019.

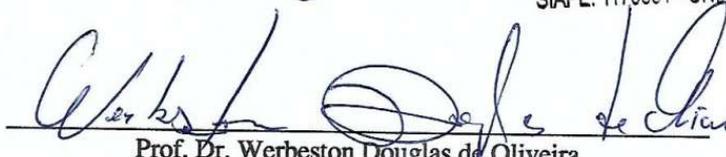
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Geraldo Neves de Albuquerque Maranhão.
(Presidente/Orientador - UNIFAP)



Prof. Dr. José Reynaldo Cardoso Nery
(Avaliador Interno - UNIFAP) Professor do Magistério Superior
SIAPE: 1170661 - UNIFAP



Prof. Dr. Werbeston Douglas de Oliveira
(Avaliador Interno - UNIFAP)

Werboston Douglas de Oliveira
Professor do Magistério Superior
SIAPE: 2389020 - UNIFAP

Dedico este trabalho ao meu Deus todo poderoso, que me guiou nos seus caminhos para que assim eu pudesse concluí-lo. Aos meus pais Jorge Malafaia Tavares e Raimunda de Nazaré de Souza Picanço que me ensinaram com o pouco a ser uma pessoa melhor na vida. A minha irmã Heloany Suelen Picanço Tavares que sempre me apoiou, em todos os momentos de minha vida. A minha avó Marionita de Souza Picanço que me direcionou aos caminhos de Deus, e com quem pude tirar ensinamentos. A minha excepcional esposa Lidiane Guedes Tavares com quem pude completar meu trabalho com suas ideias, incentivos e apoio. A todos os familiares, amigos, colegas e professores que me ajudaram de forma direta e indireta na realização deste trabalho.

Agradeço a Deus pela oportunidade de concluir essa etapa da minha vida.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Geraldo Neves de Albuquerque Maranhão pela grande contribuição ao trabalho.

Ao meu Coorientador Coracy da Silva Fonseca pela contribuição ao trabalho.

E a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste projeto.

“Na verdade, não são os avanços científicos e industriais que ameaçam o homem e a natureza, mas sim a maneira errada e inconsciente como a humanidade aplica as suas conquistas tecnológicas”.

(Jacques Yves Cousteau)

RESUMO

Com o passar do tempo é natural a modificação da rede de distribuição aérea convencional por uma rede que possa atender as necessidades do local, suprimindo principalmente questões relacionadas a confiabilidade e segurança. A rede de distribuição subterrânea se mostra como o último passo a ser tomado quando se deseja obter um grau de satisfação na rede de distribuição, em meio a uma crescente evolução das cidades brasileiras e conseqüentemente o aumento do uso da energia elétrica. Este trabalho descreve o planejamento para a realização de uma rede de distribuição subterrânea de energia elétrica, descrevendo os tipos de materiais utilizados, maneiras de implantação e operação, citando os benefícios que a rede agrega para o Campus Marco Zero do Equador da Universidade Federal do Amapá doravante denominada (UNIFAP). Foi utilizada topologia radial, abordando o uso de circuitos primários, transformadores equipados com protetores de rede e os secundários dos transformadores que alimentam em diversos pontos a UNIFAP, uma rede de cabos, formando o sistema radial. Também é apresentado o levantamento em campo da carga existente através da energia elétrica, finalizando com o processo de dimensionamento dos cabos condutores, ramais de entrada, transformadores, necessários para o atendimento da carga instalada no local com confiabilidade, uso de normas de concessionárias de outros estados especialistas em RDS e o projeto básico superficial da rede subterrânea no local de estudo dentro da UNIFAP. Os resultados obtidos mostraram como realizar o planejamento para a construção de uma RDS, passando por todas as etapas que uma rede de distribuição necessita, resultando com a confecção do projeto elétrico realizado em cad. Esta pesquisa abordou a importância que a rede de distribuição subterrânea possui frente as outras redes, já que sua instalação em um determinado local, acaba sendo uma consequência com o passar do tempo.

Palavras-chave: Redes subterrâneas. Distribuição de energia elétrica. Confiabilidade na energia elétrica. Universidade Federal do Amapá. Município de Macapá.

ABSTRACT

Over time, it is natural to modify the conventional air distribution network through a network that can meet the needs of the location, mainly supplying issues related to reliability and safety. The underground distribution network is shown as the last step to be taken when it is desired to obtain a degree of satisfaction in the distribution network, in the middle there is a growing evolution of the Brazilian cities and consequently the increase of the use of electric energy. This paper describes the planning for the realization of an underground electric distribution network, describing the types of materials used, ways of implementation and operation, citing the benefits that the network adds to the Marco Zero Campus of the Federal University of Amapá hereinafter referred to as (UNIFAP). Radial topology was used, addressing the use of primary circuits, transformers equipped with network protectors and the secondary transformers that fed UNIFAP, a network of cables, forming the radial system. It is also presented the field survey of the existing load through electric energy, ending with the process of dimensioning the conductor cables, input branches, transformers, necessary to meet the load installed in the place with reliability, use of standards of other concessionaires RDS specialists and the basic surface network design at the study site within UNIFAP. The results showed how to carry out the planning for the construction of an RDS, going through all the steps that a distribution network needs, resulting in the construction of the electric project carried out in cad. This research addressed the importance that the underground distribution network has in front of the other networks, since its installation in a certain place, ends up being a consequence with the passage of time.

Keywords: Underground networks. Distribution of electricity. Reliability in electric energy. Federal University of Amapá. Municipality of Macapá.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEA	Companhia de Eletricidade do Amapá
DERCA	Departamento de Registro e Controle Acadêmico
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FEC	Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrnicos
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentar
NA	Normalmente Aberta
QDP	Quadro de Distribuição e Proteção
RDS	Rede de Distribuição Subterrânea
UNIFAP	Universidade Federal do Amapá

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Rede Elétrica Aérea na Cidade de Nova Iorque nos finais de 1800	27
Figura 02 - Percentual da rede de distribuição subterrânea na Europa.....	30
Figura 03 - Mapa do sistema elétrico subterrâneo do Rio de Janeiro em 1907.....	31
Figura 04 - iluminação da área do entorno da Fortaleza de São José de Macapá.....	33
Figura 05 - Rede Aérea Isolada.....	35
Figura 06 - Rede Aérea Compacta.....	35
Figura 07 - Comparação entre Rede de Distribuição Aérea e Subterrânea.....	37
Figura 08 - Diferença entre DEC da rede aérea e subterrânea no Brasil de 1996 a 2011.....	40
Figura 09 - Diferença entre FEC da rede aérea e subterrânea no Brasil de 1996 a 2011.....	40
Figura 10 - Indicadores de continuidade coletivos nos EUA de 2004 a 2008.....	41
Figura 11- Correlação entre DEC e percentual de rede de distribuição subterrânea.....	42
Figura 12 - Porcentagem dos investimentos na estrutura civil e elétrica da RDS.....	43
Figura 13 - Sistema Radial Simples.....	45
Figura 14 - Sistema Radial em Anel Aberto.....	46
Figura 15 - Sistema Radial Primário Seletivo.....	47
Figura 16 - Sistema Radial Secundário Seletivo.....	48
Figura 17 - Sistema Reticulado Generalizado.....	49
Figura 18 - Sistema Spot Network.....	50
Figura 19 - Transformador Pedestal.....	52
Figura 20 - Transformador Submersível.....	52
Figura 21 - Protetores de Rede.....	53
Figura 22 - Chaves de Média Tensão.....	54
Figura 23 - Cabos Alimentadores de Média e Baixa Tensão.....	55
Figura 24 - Características construtivas de um cabo de média tensão.....	55
Figura 25 - Partes de um cabo de média tensão.....	55
Figura 26 - Acessórios para Terminais.....	56
Figura 27 - Acessórios para Emendas.....	57
Figura 28 - Barramento Múltiplo Isolado.....	58
Figura 29 - Barramento Múltiplo Isolado com 6 derivações.....	58
Figura 30 - Quadro de Distribuição de Baixa Tensão tipo Pedestal.....	59
Figura 31 - Infraestrutura Civil de uma Rede de Distribuição Subterrânea.....	60
Figura 32 - Componentes de uma rede subterrânea elétrica.....	60

Figura 33 - Câmara transformadora subterrânea.....	61
Figura 34 - Câmara transformadora subterrânea.....	62
Figura 35 - Caixa de inspeção de dimensões de 2 m x 2 m x 2 m.....	63
Figura 36 - Caixa de inspeção.....	64
Figura 37 - Caixa de passagem.....	65
Figura 38 - Caixa de passagem.....	65
Figura 39 - Banco de Dutos.....	66
Figura 40 - Banco de Dutos.....	66
Figura 41 - Centro de carga do estudo para rede subterrânea.....	78
Figura 42 - Subestação Equatorial que supre a UNIFAP.....	80
Figura 43 - Perímetro de 510 m, onde a RDS foi projetada.....	81
Figura 44 - Instalação de um transformador pedestal.....	86
Figura 45 - Concepção básica de uma RDS.....	92
Figura 46 - Estrutura de transição.....	97
Figura 47 - Estrutura de derivação.....	97
Figura 48 - Terminal desconectável ao transformador pedestal.....	100
Figura 49 - Indicador de defeito.....	101
Figura 50 – Desafio dos custos de uma “RDS”.....	102

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 01. Rede aérea convencional.....	34
Fotografia 02. Prédio de medição na entrada da Unifap.....	78
Fotografia 03. Poste no final do trecho de estudo do sistema elétrico.....	79
Fotografia 04. Chave fusível na entrada UNIFAP.....	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01. Densidade de carga entre março de 2016 e março de 2017.....	83
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Simbologia de posteamento.....	69
Quadro 2 – Simbologia para construção civil.....	70
Quadro 3 – Simbologia para condutores.....	70
Quadro 4 – Simbologia para rede primária da “RDS”.....	71
Quadro 5 – Simbologia para rede secundária da “RDS”.....	71
Quadro 6 – Simbologia para ramal de entrada da “RDS”.....	71
Quadro 7 – Simbologia para cruzamentos.....	71
Quadro 8 – Simbologia para seccionamentos.....	72
Quadro 9 – Simbologia para terminal de rede.....	72
Quadro 10 – Simbologia para conexões.....	72
Quadro 11 – Simbologia para transformador.....	73
Quadro 12 – Simbologia para equipamentos.....	73
Quadro 13 - Simbologia para para-raios.....	73
Quadro 14 – Materiais e equipamentos utilizados na parte elétrica.....	74
Quadro 15 – Fusíveis Padronizados para Transformadores em Pedestal.....	85
Quadro 16 – Condutores de cobre classe 15 kV padronizados.....	86
Quadro 17 – Correntes admissíveis de condutores de média tensão.....	86
Quadro 18 – Condutores de Baixa Tensão Padronizados, Cabos XLPE/EPR.....	90
Quadro 19 – Dimensionamento dos circuitos secundários da RDS.....	91
Quadro 20 – Corrente nominal do fusível do tipo NH.....	93
Quadro 21 – Fator de Ajuste das correntes das chaves.....	94
Quadro 22 – Dimensionamento dos fusíveis e chaves seccionadoras.....	94
Quadro 23 – Dimensões do quadro de distribuição e proteção.....	94
Quadro 24 – Saídas dos transformadores para ligação ao QDP.....	95
Quadro 25 – Dimensionamento da chave e elo fusível.....	98
Quadro 26 – Dimensionamento do pára-raio.....	97
Quadro 27 – Especificações técnicas do religador.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução da isolação nos condutores de rede subterrânea.....	28
Tabela 2 – Características gerais das redes subterrâneas dos EUA e Europa.....	29
Tabela 3 – Primeiras aplicações da “RDS” no mundo.....	32
Tabela 4 – Confronto dos tipos de redes aéreas e subterrâneas.....	38
Tabela 5 – Comparativo técnico entre os diversos tipos de arranjos.....	50
Tabela 6 – Comparativo entre redes enterradas.....	104
Tabela 7 – Comparativo entre redes parcialmente enterradas.....	104
Tabela 8 – Comparativo entre diferentes tipos de redes realizado pelo autor.....	105

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	22
1.1	Contextualização do problema	22
1.2	Justificativa	24
1.3	Objetivos.....	25
1.3.1	Objetivo geral	25
1.3.2	Objetivos específicos.....	25
1.4	Estrutura do Trabalho	26
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	Histórico da RDS, principais aspectos e características	27
2.1.1	Primeiras aplicações da RDS no Brasil e no mundo.	27
2.1.2	Redes de distribuição subterrâneas no Amapá	33
2.1.3	Redes de distribuição aérea no Brasil.....	33
2.1.4	Comparação entre redes de distribuição aéreas e subterrâneas.	35
2.1.5	Vantagens e desvantagens da RDS.....	39
2.2	Principais equipamentos, modos de operação e estruturas.	44
2.2.1	Tipos de arranjos de redes de distribuição subterrâneas.....	44
2.2.2	Arranjo radial simples	44
2.2.3	Arranjo radial em anel aberto	45
2.2.4	Arranjo radial primário seletivo	46
2.2.5	Arranjo radial secundário seletivo.....	47
2.2.6	Arranjo reticulado generalizado (com malha secundária).....	48

2.2.7	Arranjo reticulado dedicado (spot network).....	49
2.2.8	Equipamentos associados à rede de distribuição subterrânea	51
2.2.8.1	Transformadores de distribuição	51
2.2.8.2	Protetores de rede (Network Protector).....	53
2.2.8.3	Chaves primárias de média tensão	54
2.2.8.4	Cabos alimentadores de baixa e média tensão.....	54
2.2.8.5	Acessórios para cabos.....	56
2.2.8.6	Barramentos múltiplos isolados (Derivação de circuitos secundários).....	57
2.2.8.7	Quadros de distribuição de baixa tensão tipo pedestal	58
2.2.9	Estrutura civil que compõe a rede de distribuição subterrânea.	59
2.2.9.1	Câmaras transformadoras subterrâneas	61
2.2.9.2	Caixas de inspeção.....	62
2.2.9.3	Caixas de passagens.	64
2.2.3.4	Bancos de dutos	65
2.2.4	Aspectos regulatórios	67
2.3	SIMBOLOGIA DE RDS.....	69
2.3.1	Poste	69
2.3.2	Obra civil	70
2.3.3	Condutores.....	70
2.3.4	Rede primária	71
2.3.5	Rede secundária.....	71

2.3.6	Ramal de entrada	71
2.3.7	Cruzamentos	71
2.3.8	Seccionamentos	72
2.3.9	Terminal	72
2.3.10	Conexões	72
2.3.11	Transformador	73
2.3.12	Equipamentos	73
2.3.13	Aterramentos e pára-raios.....	73
3.	METODOLOGIA.....	74
3.1	Materiais	74
3.1.1	Equipamentos, modos de operação e estruturas utilizados no projeto elétrico	74
3.1.2	Normas utilizadas na pesquisa.....	74
3.2	Métodos	75
3.2.1	Classificação da pesquisa	75
3.2.1.1	Abordagem	75
3.2.1.2	Cenário e sujeito	76
3.2.1.3	Natureza.....	76
3.2.1.4	Objetivo	76
3.2.1.5	Procedimentos de pesquisa.....	76
3.2.1.5.1	Instrumento de Coleta de dados	77
3.3.1	Caracterização da área de estudo.....	77

3.3.2	Caracterização da região e do sistema em estudo.....	79
3.3.3	Caracterização da rede Elétrica atual.....	79
3.3.4	Dados Urbanísticos.....	81
3.3.5	Fatores internos	82
3.3.6	Levantamento de consumo	82
3.4	PLANEJAMENTO PARA A REALIZAÇÃO DE PROJETO ELÉTRICO DA REDE SUBTERRÂNEA NO LOCAL DE ESTUDO.....	83
3.4.1	Projeto da rede secundária subterrânea	83
3.4.2	Determinação da demanda.....	83
3.4.3	Localização e dimensionamento dos transformadores	84
3.4.4	Dimensionamento rede primaria subterrânea	86
3.4.5	Dimensionamento dos circuitos secundários e ramal de entrada	88
3.4.6	Iluminação	92
3.4.7	Localização e dimensionamento do quadro de distribuição e proteção.	93
3.4.8	Poste de transição Aéreo-Subterrâneo.....	95
3.4.9	Terminais desconectáveis e indicadores de defeito.....	99
3.4.10	Aterramento.....	101
3.5	Análise da viabilidade econômica de uma rede de distribuição subterrânea ..	102
4.	RESULTADOS OBTIDOS.....	107
5.	CONCLUSÃO.....	108
	BIBLIOGRAFIA	110

ANEXO A – PLANTA BAIXA DA UNIFAP.....	120
ANEXO B – PLANTA DE PLANEJAMENTO DA UNIFAP.....	121
.....	121
ANEXO C – TALÕES DE LUZ DA UNIFAP.....	122
ANEXO D – RAMAL DE ENTRADA SUBTERRANEO.....	123
ANEXO E- INSTALAÇÃO DO BMI COM 4 SAÍDAS NA CAIXA DE INSPEÇÃO.	124
ANEXO F – DEMANDAS DOS PRÉDIOS DA ÁREA DE ESTUDO.....	126
ANEXO G – FUSÍVEL DO TIPO NH.	127
ANEXO H – CHAVE SECCIONADORA TRIPOLAR PARA QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO E PROTEÇÃO.....	128
ANEXO I – QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO, TIPO DIN-00.....	129
ANEXO J – INSTALAÇÃO DE TRANSFORMADOR E QDP CORTE A-A .	130
.....	130
ANEXO L - MATERIAIS DA ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO.	131
APÊNDICE A – FOTOS RETIRADAS DO LOCAL DE ESTUDO, ATRAVÉS DA OBSERVAÇÃO REALIZADA NO LOCAL.....	132
APENDICE B- PROJETO ELETRICO DA RDS.....	133

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do problema

A ausência de energia elétrica apta para o uso pode prejudicar o andamento das atividades, mas também pode fazer com que as finanças de uma empresa acabem sendo afetadas, pois ocorrerá a queima de equipamentos e dessa forma mais despesas acrescentadas.

Segundo a ABRADDEE (2019), a rede de distribuição convencional aérea, “é o tipo de rede elétrica mais encontrado no Brasil, na qual os condutores são nus (sem isolamento)”. Apesar de sua grande utilização, é uma rede que está sendo questionada por diversos motivos, dentre eles podemos citar a baixa confiabilidade que essa rede de distribuição oferece, bem como os gastos com manutenção, e acidentes que surgem por não haver tanta segurança. É o que expõe Nakaguishi e Hermes (2011):

Como a rede fica totalmente desprotegida contra as influências do ambiente, isso incrementa a taxa de falhas e exige podas drásticas nas árvores próximas, uma das principais causas de desligamentos no sistema aéreo convencional.

Devido à exposição dos cabos, as intervenções para consertos são frequentes. Os principais danos são causados por acidentes com veículos que atingem os postes, raios, chuvas, poluição, salinidade, ventos e pássaros.

Apesar de serem mais baratas, as redes aéreas têm um custo de manutenção de operação bem elevado, devido à frequência e caracterização de ocorrências.

Essa disputa do espaço aéreo entre as redes elétricas e os elementos externos, como árvores, causam prejuízos a vários setores da sociedade, dentre eles:

- curto-circuito na média e na baixa tensão;
 - queima de transformadores, devido a constante de ocorrência de curtos;
 - afrouxamento de conexões que ligam condutores aos demais componentes da rede; desligamento da rede;
 - queima de aparelhos domésticos e equipamentos industriais;
 - prejuízos decorrentes da falta de energia;
 - transtorno em hospitais e estabelecimentos de utilidade pública;
 - perdas de faturamento;
 - gastos acentuados com manutenções e podas emergenciais e corretivas.
- (NAKAGUISI; HERMES, 2011, p. 24-25):

A sociedade e o poder público têm se manifestado de modo a debater sobre mudanças no setor elétrico, que abrangem principalmente as questões sobre estética e de segurança. Cunha e Vaz (2014) abordam da seguinte forma o assunto:

As manifestações da sociedade podem ser observadas em propostas apresentadas no poder legislativo, bem como também podem ser verificadas diversas manifestações de sites na internet, blogs e notícias de jornal.

Em 2005, a Câmara Municipal de São Paulo aprovou a Lei nº 14.023, que obrigaria concessionárias, empresas estatais e operadoras de serviço a enterrar todos os cabos aéreos (rede elétrica, telefonia, televisão e outros) instalados no município a uma taxa anual elevada.

A essa lei seguiram-se iniciativas similares em outras cidades do Brasil, por exemplo, o Decreto nº 34.442 de 20 de setembro de 2011, do Município do Rio de Janeiro.

O projeto de lei nº 37/2011 do Senado Federal visa tornar obrigatórias as redes subterrâneas em cidades com mais de 300.000 habitantes e locais com densidade de carga acima de 10 MVA/km².

Nenhuma dessas leis tem tido aplicação plena até o momento, devido a conflitos de competência jurídica com as atribuições do órgão regulador. (CUNHA; VAZ, 2014, p. 24)

A rede de distribuição subterrânea (RDS), é um tipo de rede que está sendo usada há muito tempo em todo planeta. Segundo Azevedo (2010, p. 30), “o primeiro fornecimento comercial de energia elétrica foi através de um sistema subterrâneo instalado na cidade de Nova Iorque em 1882, por Thomas Edison”. “Em Londres, a partir de 1890, as redes aéreas de distribuição de energia que haviam se expandido, seriam consideradas inaceitáveis e deveriam ser modificadas gradualmente para sistemas subterrâneos”. (AZEVEDO, 2010, p. 30-31). No Brasil a sua instalação se iniciou ao mesmo tempo em que se teve sua difusão pelo resto do planeta, mas com pouca adesão, já que em sua maioria a rede convencional aérea prevalece. Azevedo (2010, p. 31), explica que “no início do século XX, em 1908, a empresa concessionária de distribuição de energia elétrica do Estado do Rio de Janeiro, LIGHT, já transformava uma parte de sua rede aérea para subterrânea”.

A RDS apresenta características vantajosas quando comparada com a rede convencional aérea, dentre elas destacam-se a confiabilidade de energia e maior segurança, pois o contato com os dispositivos da rede praticamente não existe – já que estão enterrados –, diminuição com custos de manutenção de longo prazo, pouco contato com a arborização, maior acessibilidade para pessoas com pouca mobilidade, melhoria estética. Segundo Lima (2016, p. 12), a RDS, “apresenta diversos benefícios para a população e para a própria concessionária de energia, uma vez que seu enterramento das redes traz impactos positivos associados à reurbanização e à revitalização dos grandes centros”.

A RDS é uma rede de distribuição que apresenta alto custo inicial, muito superior quando comparado com a rede de distribuição aérea, custo esse que se dá pelo investimento principalmente na construção civil da RDS, que compõe cerca de 70 % de todo o orçamento

do projeto e outros 30 % no projeto elétrico. Cunha e Vaz (2014, p. 26), salientam “que a incidência das obras civis, atinge cerca de 65 % do valor das obras”.

O aspecto financeiro é um fator que desfavorece o sistema em relação a outros tipos de redes, contudo a longo prazo a RDS apresenta custos com manutenção menores, já que a maioria das intempéries que a rede aérea está sujeita, a RDS consegue ficar livre delas, por está protegida no solo, resultando com isso em índices de qualidade como DEC e FEC baixos, que são os maiores justificadores da implantação do sistema em um determinado local. Nesse sentido Lima (2016), explique o seguinte:

Do ponto de vista operacional, as redes subterrâneas apresentam grande eficiência nos indicadores de continuidade do fornecimento, prevalecendo-se sobre as redes aéreas, mas em contrapartida, o custo financeiro das redes subterrâneas é um dos fatores relevantes que pode tornar sua implantação inviável em muitos casos. (LIMA, 2016, p. 05).

Os países que implantaram há mais de um século atrás o sistema, nos dias atuais se beneficiam com grandes retornos nas áreas do turismo, paisagismo e principalmente no setor elétrico que gerenciam todas as outros setores de um país.

1.2 Justificativa

A RDS é um sistema no qual possui 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. Nesse contexto Cunha e Vaz (2014) explicam que:

Nas redes de distribuição aéreas a ocorrência de faltas à terra não necessariamente resulta em rápida atuação dos equipamentos de proteção, uma vez que muitas faltas estão associadas a impedâncias de contato elevadas, causadas por toques por ferragens de construção, linhas de pipas, galhos de árvore, quedas de cabos em calçadas e outros contatos acidentais. (CUNHA; VAZ, 2014, p. 24).

Em relação ao meio ambiente a RDS se torna favorável, devido às suas características e pelo confinamento de seus equipamentos, o que evita as podas agressivas às árvores, mantendo assim os locais arborizados.

A confiabilidade de uma rede de distribuição é essencial nos dias de hoje, é um fator que evita muitas perdas econômicas, financeiras e sociais para a população e para a concessionária, pois a falta de energia faz com que muito tempo seja perdido, e haja prejuízo para ambos.

Atualmente a Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) está em expansão, resultando no aumento da densidade de carga, o que aumenta a necessidade da confiabilidade do sistema de distribuição de energia elétrica.

O trabalho em questão irá ajudar no futuro na escolha de uma rede de distribuição adequada para a densidade carga exigida na UNIFAP.

Caso a pesquisa se concretize como se espera, ela irá contribuir para o aprofundamento do conhecimento dessa área de estudo, visto que a RDS ainda é um tema pouco discutido no ambiente acadêmico da UNIFAP.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Propor um planejamento para a construção de uma rede de distribuição subterrânea de energia elétrica, descrevendo os tipos de materiais utilizados, maneiras de implantação e operação no Campus Marco Zero do Equador da Universidade Federal do Amapá.

1.3.2 Objetivos específicos

- a. Apresentar a história da rede de distribuição, seus principais aspectos e características;
- b. Conceituar a rede de distribuição subterrânea, apresentando seus principais equipamentos, modos de operação e estrutura;
- c. Caracterizar o local de estudo sob diversos pontos de vista (sistema elétrico, dados de carga, dados urbanísticos);
- d. Mostrar as etapas para a realização de um projeto elétrico básico de rede de distribuição subterrânea no local de estudo.

1.4 Estrutura do Trabalho

Esta monografia está estruturada em seis capítulos, os primeiros dedicados a descrição do trabalho e referencial teórico e os demais apresentando o desenvolvimento, a metodologia utilizada no trabalho, os resultados e as conclusões.

O capítulo 1, explana uma introdução para o trabalho, iniciando com uma contextualização, apresentando a proposta e o objetivos deste trabalho, enquanto o capítulo 2, apresenta todo embasamento teórico, pesquisas e estudos necessário ao desenvolvimento, assim como comparativos e critérios utilizados para o desenvolvimento de projetos de rede de distribuição subterrânea de energia elétrica em um local de estudo. O capítulo 3 apresenta a metodologia para o planejamento da RDS, descrevendo critérios e dimensionamentos dos materiais e equipamentos necessários para o projeto de uma rede subterrânea, bem como um orçamento. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos com a pesquisa. Por fim, o capítulo 6, apresenta as conclusões sobre o trabalho desenvolvido, onde também é realizado as últimas ponderações sobre a monografia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico da RDS, principais aspectos e características

2.1.1 Primeiras aplicações da RDS no Brasil e no mundo.

Segundo Azevedo (2010, p. 30), o Brasil iniciou o uso de energia elétrica em 1879, no mesmo período que Europa e Estados Unidos e logo em seguida que se inventaram o dínamo e a lâmpada. Em 1882, Thomas Edison realizou o primeiro fornecimento comercial de energia elétrica através de um sistema subterrâneo instalado na cidade de Nova Iorque. O sistema fornecia energia em corrente contínua, trabalhando com tensão de 100 V, composto por barras de cobsres pesadíssimas protegidas por tubos de fibras enterrados diretamente no chão. Para a época o sistema era muito caro, com muitas perdas de energia no sistema, isso resultou na limitação no desenvolvimento do sistema nos primeiros anos do uso da energia elétrica.

Nessa época ainda prevalecia a opção pela rede de distribuição aérea, no qual ocorria a disputa entre a corrente alternada e corrente contínua, mas anos depois a disputa seria vencida pela corrente alternada, já que era mais fácil de se transmitir energia por longas distâncias. A instalação de redes de distribuição aérea pelas cidades como Nova Iorque (Figura 01), já era significativa visando o desenvolvimento das cidades, porém esse anseio de novas instalações iria trazer com o tempo alguns problemas que iriam ser perceptíveis na parte estética, confiabilidade e segurança.

Figura 01 – Rede Elétrica Aérea na Cidade de Nova Iorque nos finais de 1800.



Fonte: AES ELETROPAULO, 2013, p. 11.

Brunheroto e Oliveira (2013, p. 36) afirmam que “em 1884, os políticos de Nova Iorque criaram uma lei que obrigava o enterramento de todo o sistema de fios de telégrafos, telefonia e energia elétrica”.

Cunha e Vaz (2014, p. 05) mencionam que “no Brasil, o sistema de distribuição subterrânea, iniciou suas instalações pelos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, quase ao mesmo tempo em que se instalavam em Nova Iorque, no começo do século XX”.

No início os materiais utilizados para a instalação não eram de qualidade o que impedia o crescimento e a propagação em outros lugares e o uso da rede com níveis de tensões elevadas. Bunheroto e Oliveira (2013, p. 36), citam que a história das redes subterrâneas, como os de seus componentes se confundem, pois, a propagação das redes subterrâneas pelos centros urbanos do mundo, só foi concretizada, mediante a evolução dos materiais isolantes ao longo dos anos, sendo este o primeiro grande desafio das redes RDS.

A melhoria no isolamento dos condutores com o passar do tempo, proporcionou o aumento de tensão no uso destes, assim como a confiabilidade, a tabela 01 apresenta essa evolução no início do uso das redes subterrâneas.

Tabela 1 – Evolução da isolação nos condutores de rede subterrânea.

ANO	ISOLAÇÃO	RESULTADO
1860	Borracha vulcanizada	Iluminação – Baixa tensão
1862	Juta e betume	Maior tensão – até 2 kV
1890	Papel em óleo	Maior tensão – até 10 kV
1914	Blindagem	Acima de 10 kV
1925	Óleo fluido	Acima de 69 kV
1947	Polietileno – PE	Menor espessura
1959	XLPE/EPR	Melhor isolação

Fonte: Bunheroto e Oliveira, 2013, p. 36.

Gomes e Inácio (2018, p. 38), também relatam que outros componentes da RDS acompanharam essa evolução, como por exemplo, os transformadores submersível e pedestal, ou ainda as cabines metálicas. Todo esse avanço tornou a implantação das redes subterrâneas mais atrativas, motivadas principalmente pela flexibilidade, confiabilidade e diminuição de custos. Como resultado de todos esses dados a expansão em seu crescimento foi significativa.

Ao longo dos anos outras técnicas foram criadas, assim como o desenvolvimento de topologias que pudessem garantir maior segurança e confiabilidade para a rede, entre elas uma que se destacou bastante nos Estados Unidos foram as redes reticuladas com protetores de redes. Nesse contexto Bunheroto e Oliveira (2013, p. 38), afirmam que com o prosseguimento do desenvolvimento das redes subterrâneas, foi instalado em Nova York, em

1922, o sistema reticulado com o emprego dos protetores de rede, que isolavam automaticamente todos os transformadores do alimentador que apresentasse algum defeito.

Com o passar do tempo as tecnologias foram sendo desenvolvidas tanto na Europa como nos Estados Unidos, sendo criados estilos predominantes. “As práticas norte-americanas adotavam redes subterrâneas instaladas em dutos que interligavam caixas e poços, enquanto a prática europeia mostrava redes diretamente enterradas, sem utilização de dutos”. (BUNHEROTO; OLIVEIRA, 2013, p. 37).

Durante a década de 60, com o movimento de embelezamento das cidades norte-americanas surgiu um novo conceito de rede, denominado de Distribuição Residencial Subterrânea, caracterizado principalmente pela introdução de novas tecnologias para redução de custo e facilidade de instalação. (CUNHA; VAZ, 2014, p.02).

“Na Europa, as redes de distribuição subterrâneas de energia elétrica também tiveram seu desenvolvimento, mas com concepções diferentes, em geral mais simples, seja nos arranjos, como nas formas de instalação”. (CUNHA; AZ, 2014, p. 03).

De acordo com Cunha e Vaz (2014, p. 03), as principais diferenças entre as redes de distribuição subterrânea dos EUA e Europa são apresentadas na tabela 02 abaixo.

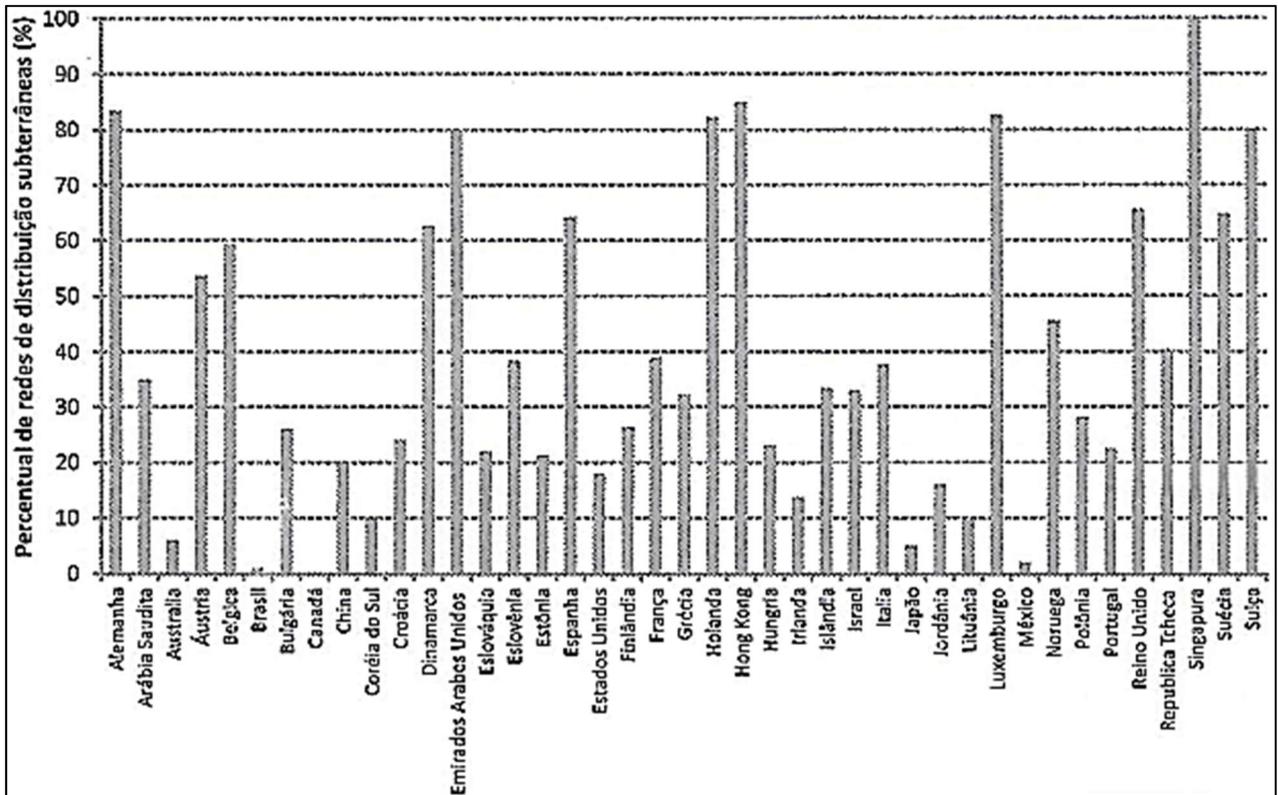
Tabela 02 - Características gerais das redes subterrâneas dos EUA e Europa.

	EUA	Europa
Tipo de instalação	Banco de dutos	Diretamente enterrada, com dutos somente em cruzamentos ou em outras situações especiais
Tipos de cabos	Unipolares	Tripolares ou unipolares
Tipos de transformadores	Monofásicos ou trifásicos	Trifásicos, com potência de pelo menos 500 kVA
Arranjos	Vários (radial, anel, reticulado)	Radial ou em anel aberto (conhecido também como Ring Main)
Aterramento neutro	Diretamente enterrado	Isolado ou por impedância (mais recentemente com bobina de Petersen)
Tensão primária	Maior parte classe 15 kV, mas existem exceções	Maior parte classe 20 kV, mas existem exceções
Rede secundária	120/240 V ou 120/208 V Existem cargas comerciais supridas com 277/480 V	Circuitos longos devido ao emprego de tensões 230/400 V, 240/415 V
Proteção primária	No disjuntor da subestação nos reticulados ou derivações aéreas no caso de URD	Chaves com fusíveis (RMU – ring main units)
Proteção secundária	“Queima livre”, limitadores ou fusíveis	Fusíveis NH abrigados (feeder pillar)

Fonte: Cunha e Vaz, 2014, p. 04.

Cunha e Vaz (2014, p. 03), explicam que “independentemente do tipo de concepção de rede, a evolução do comprimento instalado de RDS atinge um percentual significativo e até majoritário em alguns países da Europa”. (Figura 02).

Figura 02 - Percentual da rede de distribuição subterrânea na Europa.



Fonte: Cunha e Vaz, 2014, p. 04.

De acordo com Brunheroto e Oliveira (2013, p. 38):

Na Europa, a taxa de crescimento das redes subterrâneas ocorre a um valor anual da ordem de 2% a 3%. Enquanto que, nos Estados Unidos, a taxa de crescimento de investimentos no subterrâneo tem sido crescente nos últimos anos chegando a cerca de 27% do total de investimentos em 2008 do total de investimentos em todas as instalações de distribuição. (BRUNHEROTO; OLIVEIRA, 2013, p. 38).

Cunha e Vaz (2014, p.03) explicam que:

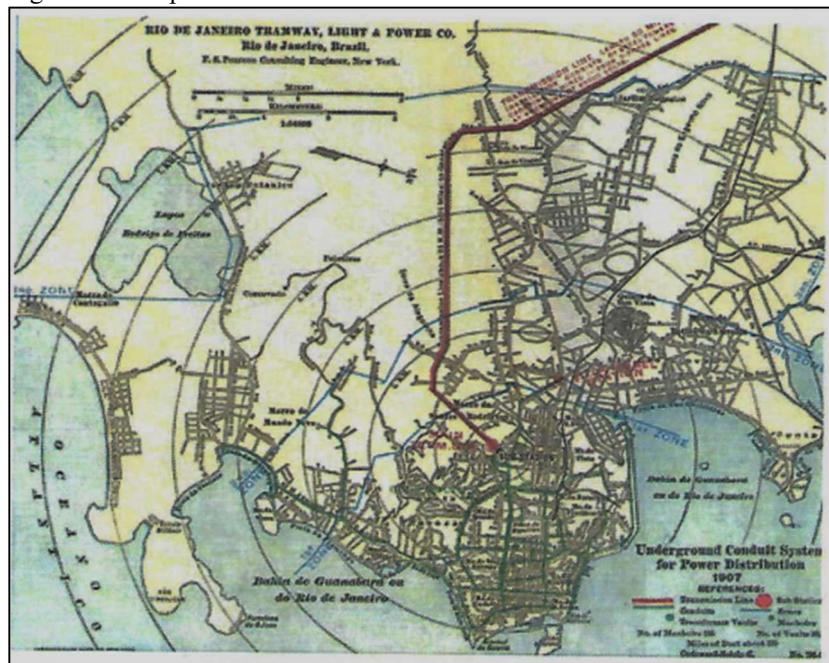
Em termos de características técnicas, as redes de distribuição subterrâneas no Brasil tiveram um alinhamento inicial com as características norte-americanas e, embora permaneçam assim de um modo geral, incorporam diversos equipamentos de origem europeia. (CUNHA; VAZ, 2014, p. 03).

O Brasil independentemente de ter apostado nas tecnologias dos EUA e Europa, internamente o percentual de redes subterrâneas são pequenas quando comparados com os dados de outros países do mundo. Nesse sentido Cunha e Vaz (2014, p. 09), afirmam que:

Apesar do início quase que coincidente com as primeiras redes do mundo, atualmente a extensão da rede de distribuição subterrânea representa um percentual reduzido do comprimento total no Brasil (cerca de 1%). Esse percentual é irrisório, mesmo quando comparado com outros países emergentes ou vizinhos da América do Sul, como Argentina, Uruguai ou Peru. (CUNHA; VAZ ,2014, p. 09).

Uma das primeiras cidades brasileiras a receber a estrutura subterrânea, foi a então Capital Federal do Brasil, a cidade do Rio de Janeiro em 1907 (Figura 03). Cunha e Vaz (2014, p.05), relatam que “essa iniciativa foi realizada no Brasil pela antiga empresa Brazilian Traction, Light and Power, precursora da canadense Light, a qual teve como presidente, o engenheiro e empreendedor Frederick Stark Pearson”.

Figura 03 - Mapa do sistema elétrico subterrâneo do Rio de Janeiro em 1907.



Fonte: Cunha e Vaz, 2014, p. 05.

A baixa quantidade de redes subterrâneas é motivada principalmente por não haver políticas voltadas que incentivem as concessionárias a investirem no processo de conversão da rede aérea para subterrânea.

A falta de interesse pela RDS, motiva o surgimento de outro aspecto importante, que é a falta de técnicos qualificados para atuarem nos poucos locais que se arriscam a construir a estrutura necessária da RDS. Cunha e Vaz (2014), explicam o seguinte:

A baixa quantidade de redes de distribuição subterrâneas também se reflete em poucos técnicos atuantes na área e na falta de escala para empreiteiros civis, instaladores elétricos e produtos locais, fatores que se tornam obstáculos adicionais às propostas de expansão de instalações subterrâneas (CUNHA; VAZ, 2014, p. 09)

Na tabela 03 é apresentado as primeiras aplicações da RDS no mundo.

Tabela 03 – Primeiras aplicações da RDS no mundo

Ano	Evento
1882	Distribuição de energia em baixa tensão e corrente contínua
1890	Remoção de todos os fios aéreos de Manhattan, Nova Iorque
Circa 1907 ¹	Primeira rede de distribuição em baixa tensão e corrente alternada em Memphis – Tennessee.
1921	Criação de um arranjo com malha secundária, com desligamento automático, mas religamento manual em Seattle – Washington.
1922	Início de operação da rede da cidade de Nova Iorque com proventos totalmente automáticos, constituindo-se no arranjo reticulado generalizado (secondary network distribution system).
1925	Implantação do reticulado dedicado (spot network) em Memphis – Tennessee.
1935	Desenvolvimento de emendas pré-moldadas para facilitar as ligações de baixa tensão (crab joits).
1938	Introdução dos limitadores de corrente na rede de baixa tensão.
1952	Expansão do reticulado (82 distribuidoras operavam 414 networks).
1958	Desenvolvimento dos transformadores pad mounted.
1960	Tensão secundária da ordem de 400 V.
Circa 1965	Desenvolvimento de redes URD (undeground residential distribution).
1974	Expansão do reticulado (315 distribuidoras).
Circa 1985	Primeiras tentativas de introdução de monitoramento em redes subterrâneas com comunicação remota dos sinais de sensores.

Fonte: Cunha e Vaz, 2014 *apud* Landman, R. ¹

¹LANDMAN, R. L. Underground secondary ac networks, a brief history. New Jersey, 2007.

2.1.2 Redes de distribuição subterrâneas no Amapá

Atualmente no Estado Amapá, a rede de distribuição subterrânea é bem superficial, existindo somente em pontos específicos, como a rede de iluminação de praças e pontos turísticos de Macapá, estacionamentos de supermercados e em de áreas de acesso de pessoas, e na construção no padrão de entrada de condomínios residenciais, porém essas redes são rudimentares, já que são somente enterradas no chão. Um exemplo claro dessas redes, é a iluminação da área do entorno da Fortaleza de São José de Macapá (Figura 04) e o padrão de entrada do residencial utilizado principalmente em condomínios fechados.

A implantação da RDS na cidade de Macapá é dificultada pela falta de necessidade de modificação da rede aérea convencional, por uma com aparatos tecnológicos avançados, sendo ainda possível a mudança de rede por outras aéreas como a rede compacta, que satisfaz as necessidades da concessionária e dos locais onde são instalados.

Por ser uma rede aparentemente cara, a RDS, não é lembrada no Estado do Amapá, sendo a rede área preferencialmente usada.

Figura 04 – iluminação da área do entorno da Fortaleza de São José de Macapá.



Fonte: GOOGLE IMAGENS, 2019.

2.1.3 Redes de distribuição aérea no Brasil

A rede de distribuição aérea é o sistema mais utilizado em todo o Brasil, abrangendo desde os centros urbanos, até as zonas rurais do País. Seu baixo custo de instalação ajudou o seu desenvolvimento de forma rápida. Nesse sentido Cunha e Vaz (2014, p. 15) mencionam que “o grande mérito desse padrão é o seu baixo custo de implantação e não o seu desempenho”.

Devido à facilidade de se implantar a rede aérea em locais rurais de pouca ou nenhuma infraestrutura, bem como o seu baixo custo em se realizar a atividade, usualmente a distribuição de energia elétrica é organizada através de fios aéreos em todo o Brasil. (AMORIM; BARBOSA; ZUBEN, 2010, p. 01).

No que diz respeito à rede de distribuição no Brasil, em sua grande maioria, as redes aéreas são absolutas, o que em uma cidade gera grandes problemas quando o assunto é arborização, já que as redes nas calçadas resultam em uma disputa com as árvores. (GAVA, 2011, p.14).

Existem três tipos de redes aéreas que dependendo da necessidade do local, podem ser instaladas. A rede convencional aérea (Fotografia 01), que é a mais simples de todas, com fios e isoladores, sendo o tipo mais usado, a rede isolada (Figura 05), que se caracteriza principalmente por manter os campos eletromagnéticos dentro da proteção e a compacta (Figura 06) que é a mais utilizada em locais que se desejam melhorar a confiabilidade da rede e a diminuição do espaço utilizado pela rede. Nesse contexto Gava (2011) menciona que:

As redes de distribuição aéreas se difundiram em três tipos, convencional, compacta e isolada, que são as mais utilizadas por apresentarem um menor custo na construção civil comparado aos sistemas subterrâneos, que exigem a construção de “túneis”, gerando maiores custos com implantação de valetas sobre o solo. (GAVA, 2011, p. 14).

Fotografia 01 – Rede Aérea Convencional.



Fonte: Autor do Trabalho, 2019.

Figura 05 – Rede Aérea Isolada.



Fonte: Nakaguishi e Hermes, 2011, p. 27.

Figura 06 – Rede Aérea Compacta.



Fonte: Nakaguishi e Hermes, 2011, p. 26.

2.1.4 Comparação entre redes de distribuição aéreas e subterrâneas.

Em geral, as redes aéreas apresentam estruturas bem características como postes, fiação, cruzetas, isoladores e outros componentes. De acordo com Nakaguishi e Hermes (2011, p. 23-24), a rede convencional aérea é amplamente utilizada no Brasil, sendo caracterizada pelo uso de condutores nus, sendo sustentadas por isoladores de vidro ou porcelana, fixados horizontalmente sobre cruzetas de madeira para os circuitos de média tensão e verticalmente para os de baixa tensão. Além desses, outros também compõem o

sistema como os para-raios, braços de iluminação pública, transformadores de distribuição, banco de capacitores, chaves seccionadoras e infraestrutura de comunicação.

A exposição da estrutura da rede aérea ao ambiente implica em um maior índice de falhas na sua rede, causados por fenômenos naturais e ações humanas. Nesse sentido, Lima (2016, p.17), cita “que uma média de 90% das causas das interrupções nas redes de distribuição de média tensão ocorre nas redes aéreas convencionais”.

Diferente da rede aérea, a rede subterrânea (Figura 07), possui seus componentes sob o chão, não expondo a sua estrutura a ações naturais do meio ambiente. Por possuir seus componentes enterrados ou em galerias, a confiabilidade da energia é muito maior.

Conforme Lima (2016, p. 12), “as redes subterrâneas podem ser classificadas em dois tipos: semienterradas e totalmente enterradas”. No caso das redes subterrâneas semienterradas possuem os cabos sob o chão, não existindo galerias, e os equipamentos são instalados sobre o solo. Para esse tipo de rede é necessário espaço físico, onde serão instalados painéis e cabines que abrigarão os transformadores de distribuição e outros acessórios. (LIMA,2016, p. 12 *apud* MARTINS², 2012, p. 12).

Quando o uso da rede aérea se torna inadequado e é necessário realizar a mudança de sistema, a rede subterrânea totalmente enterrada se torna uma excelente opção. Sendo assim, Lima (2016, p. 12), afirma que “os sistemas totalmente enterrados são indicados para áreas urbanas com alta densidade de carga, nas quais as redes aéreas são inviáveis. São caracterizados pela localização de cabos e demais equipamentos elétricos inteiramente subterrâneos”.

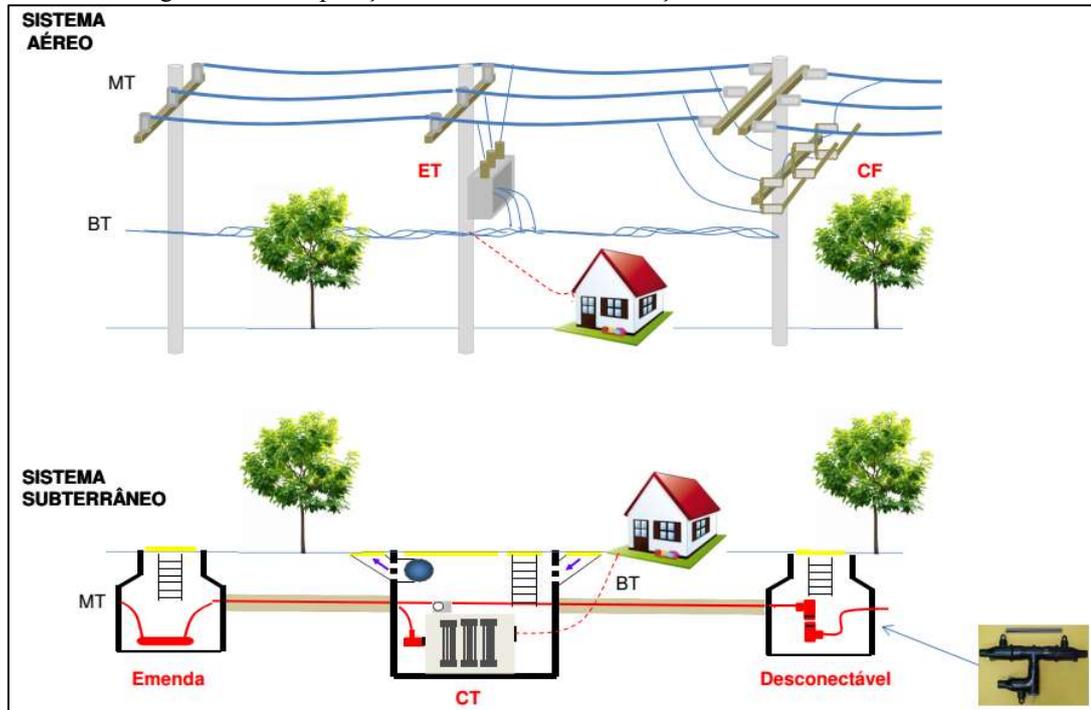
Assim como o sistema aéreo, a rede subterrânea possui características próprias. “O sistema é composto por câmaras de transformação, caixas de inspeção e de passagem e dutos para cabeamento no subsolo”. (MARTINS, 2012, p. 03).

Tanto a rede de distribuição aérea como subterrânea possuem características que as identificam, e que através delas é possível escolher o tipo de rede de distribuição a ser instalado em determinado local, dependendo da topologia a ser utilizada as redes podem apresenta outros benefícios as redes. Na figura 11 é apresentado o confronto de tipos de redes

²MARTINS, Por baixo da terra. **Revista o setor elétrico**, abril de 2012.

aérea e subterrânea.

Figura 07 – Comparação entre Rede de Distribuição Aérea e Subterrânea.



Fonte: AES eletropaulo, 2013, p. 23.

Tabela 04 – Confronto dos tipos de redes aéreas e subterrâneas.

	Rede nua	Rede compacta	Rede isolada	Rede de distribuição subterrânea
Gerenciamento da vegetação	Caro e difícil	Menor, mas ainda necessário	Pequeno	Muito raro
Interrupções momentâneas ou permanentes	Frequentes	Menos frequentes	Poucas	Raras
Facilidade de derivação	Alta	Média-alta (acessórios simples)	Requer acessórios; mais fácil até 200 A Em geral é mais complexo. Pode ser reduzido com indicadores de defeito	Requer acessórios; mais fácil até 200 A
Tempo de localização de faltas	Em geral é mais curto porque o defeito é visível	Em geral é mais curto porque o defeito é visível	Depende da situação climática e do equipamento defeituoso	Em geral é mais complexo, a menos de redes radiais ou com indicadores de defeito
Tempo de reparo	Reparo rápido	Reparo rápido	Limitadas pelo menor número de consumidores atendidos	Mais lento em geral; depende da situação da câmara ou do poço de inspeção.
Consequências de uma interrupção	Limitadas pelo menor número de consumidores atendidos	Limitadas pelo menor número de consumidores atendidos	Alta	Grandes em geral pelo número e tipo de consumidores envolvidos
Confiabilidade	Média	Média-alta	Média; requer estruturas diferenciadas	Alta ou muito alta, dependendo do arranjo
Flexibilidade de modificações e expansões	Alta em geral	Alta em geral	Pouco frequente, pois a tração é aplicada ao mensageiro	Média ou baixa dependendo do arranjo e antecedência
Ruptura e queda de condutores	Ocorre, especialmente em ramais por questões mecânicas ou curtos e descargas atmosféricas seguidos de arco sustentado	A ruptura pode ocorrer como nos cabos nus, mas a queda só acontece caso os se soltem dos espaçadores		Não aplicável
Abalroamento de postes	Ocorre	Ocorre	Ocorre	Não aplicavel
Risco de explosão	Associado aos trafos, para-raios, terminais de porcelana. Rede exposta e sem barreiras	Associado aos trafos, para-raios, terminais de porcelana. Rede exposta e sem barreiras	Associado aos trafos, para-raios, terminais de porcelana. Rede exposta e sem barreiras	Assoaciado a ambientes fechados (CT e poços) e risco de vazamento de gás. Há barreiras
Contato acidental na rede	Alto risco	Médio risco	Baixo	Improvável
Vida útil dos equipamentos	25-30 anos	25-30 anos	25-30 anos	>25-30 anos
Perdas técnicas	Médias	Médias	Médias	Baixas
Estética	Ruim	Ruim	Ruim	Boa

Fonte: Cunha e Vaz, 2014, p. 28-29.

2.1.5 Vantagens e desvantagens da RDS

As redes subterrâneas possuem vantagens que a tornam aptas para serem instaladas em um determinado local de estudo. O aumento da confiabilidade e continuidade de serviço são as maiores vantagens do sistema subterrâneo. Contudo, a rede subterrânea ainda apresenta outros benefícios que agregam tanto para a concessionária elétrica como para a sociedade, com impressões visuais ainda melhores quando as conversões estão associadas à reurbanização e revitalização da região. (NAKAGUISHI; HERMES, 2011, p. 70).

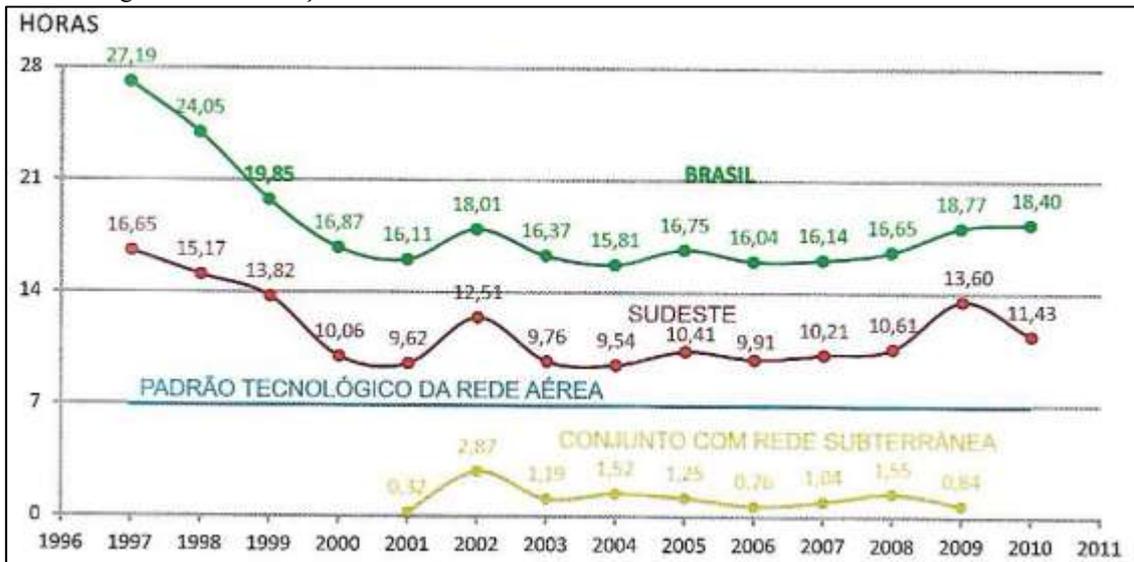
Antes da implantação da rede subterrânea é necessária uma avaliação profunda da região, identificando características técnicas, financeiras, sociais e ambientais. “A implantação de redes subterrâneas depende das características do local na qual será inserida, seu objetivo no contexto de inserção e a disponibilidade financeira de seu investidor”. (LIMA, 2016, p. 46).

Em relação a índices de qualidade que as concessionárias são obrigadas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) a apresentar como o DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupções por Consumidor), a rede subterrânea é muito melhor nesse aspecto que a rede aérea, o que a torna um sistema bastante vantajoso com relação ao aspecto técnico e econômico para a sociedade. Nesse contexto Lima (2011) expõe que:

Comparando-se os aspectos operacionais, fica evidente que os indicadores de continuidade das redes subterrâneas possuem desempenhos significativamente melhores em relação às redes aéreas. Uma vez que há reduções no DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupções por Consumidor), as redes subterrâneas apresentam uma melhor qualidade no fornecimento de energia e, conseqüentemente, uma redução nas manutenções corretivas. (LIMA, 2011, p. 46).

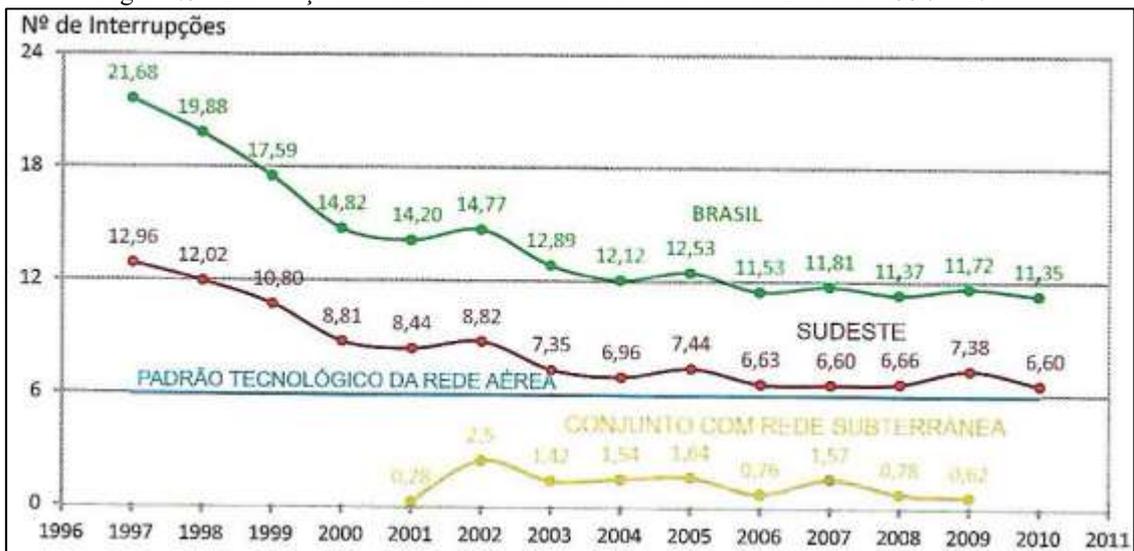
Apesar de uma tecnologia pouco utilizada no Brasil, é possível notar através da figura 08 e figura 09 que o DEC e FEC do padrão aéreo e subterrâneo possuem diferenças enormes e acabam por refletir na rede.

Figura 08 –Diferença entre DEC da rede aérea e subterrânea no Brasil de 1996 a 2011.



Fonte: Cunha e Vaz, 2014, p. 22.

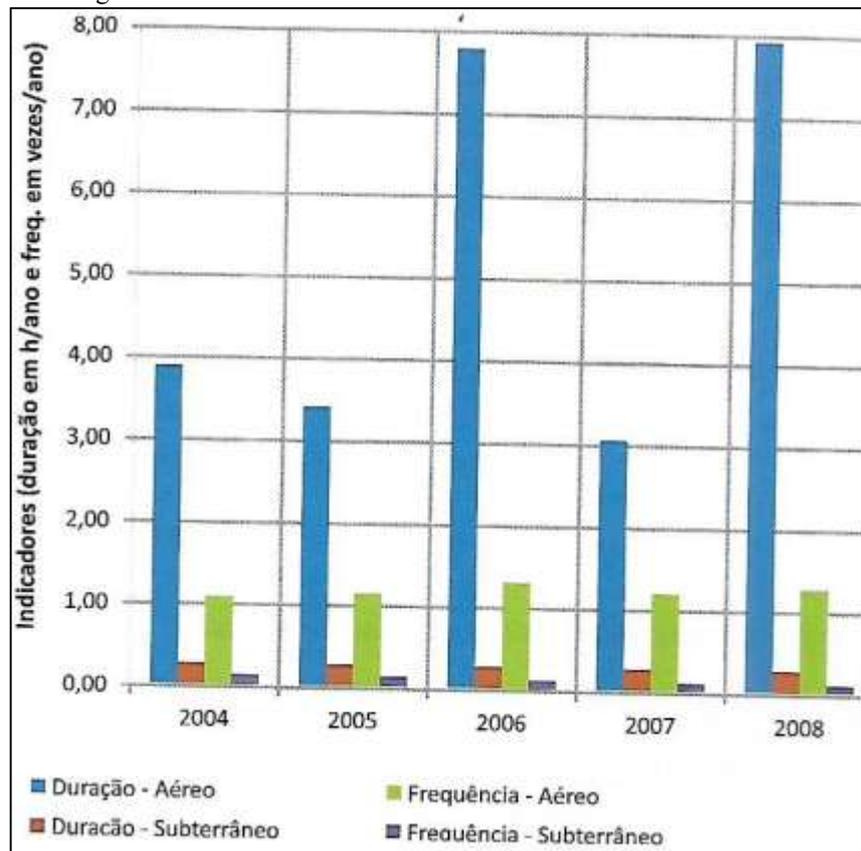
Figura 09 –Diferença entre FEC da rede aérea e subterrânea no Brasil de 1996 a 2011.



Fonte: Cunha e Vaz, 2014, p. 22.

Nos EUA onde a rede subterrânea é bastante desenvolvida em relação ao Brasil é possível também notar os efeitos positivos quando se fala em confiabilidade (Figura 10).

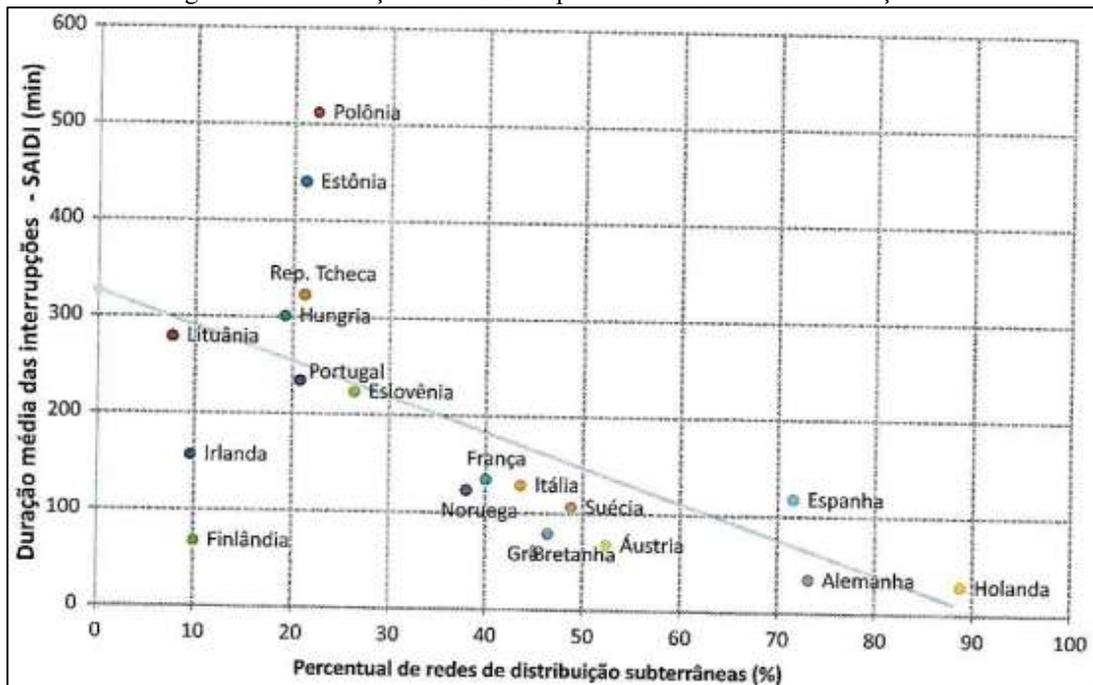
Figura 10 –Indicadores de continuidade coletivos nos EUA de 2004 a 2008.



Fonte: Cunha e Vaz, 2014, p. 23.

Na Europa os dados são significativos (Figura 11), onde se verifica que quanto maior o percentual de redes subterrâneas, menor será o DEC. Nos países europeus em sua grande maioria a RDS é quase que 100 % utilizada, justificando ainda mais a confiabilidade da energia utilizada pelos europeus.

Figura 11 – Correlação entre DEC e percentual de rede de distribuição subterrânea.



Fonte: Cunha e Vaz, 2014, p. 23.

Correia (2016, p. 36) menciona que com relação à manutenção, as redes subterrâneas propendem a ser mais vantajosas que as redes aéreas, visto que a ação de agentes externos e climáticos são menores, as manutenções corretivas acabam diminuindo consideravelmente, entretanto, a correção de uma falta na rede subterrânea é muito mais complexa de se fazer.

As redes subterrâneas se mostram muito vantajosas, porém apresentam algumas desvantagens também, que acabam levantando questionamentos sobre a sua implantação. “A principal desvantagem da rede de distribuição subterrânea diz respeito aos custos elevados de implantação, associados principalmente à complexidade das obras civis e aos transtornos à circulação de veículos e pessoal durante a construção”. (MOREIRA, 2016, p. 22).

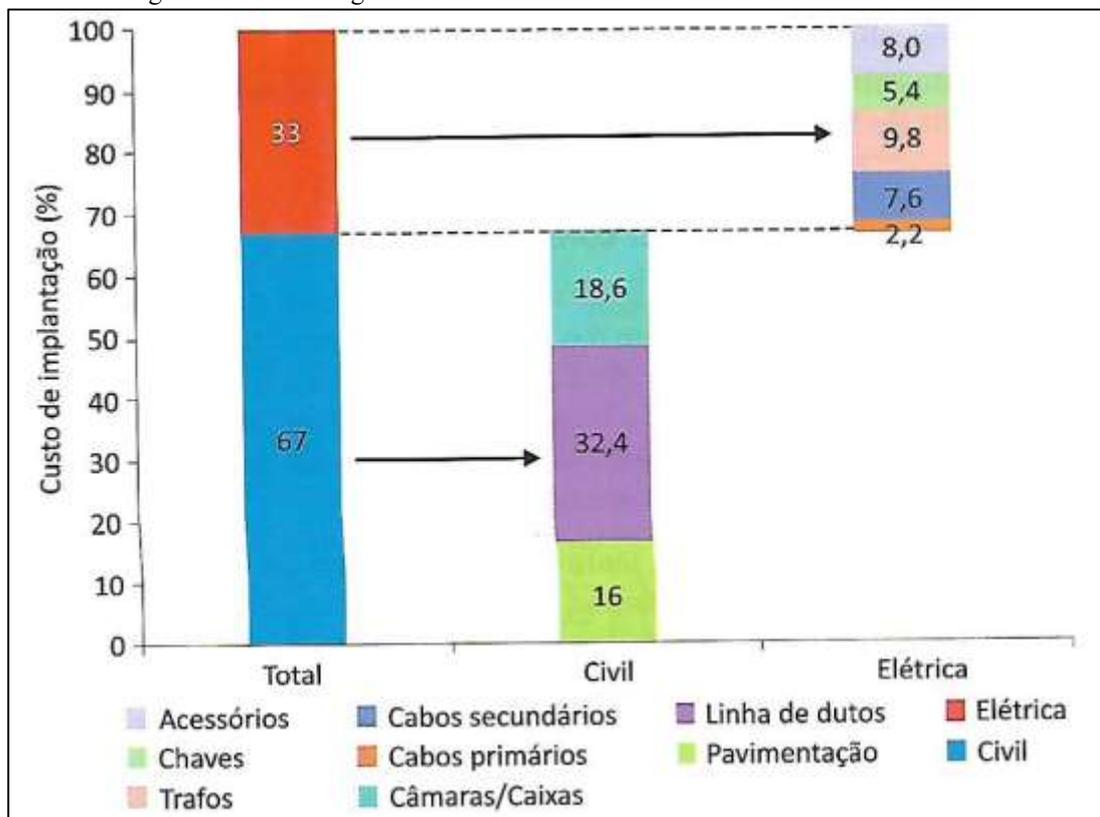
De acordo com Gava (2011, p. 18), as redes subterrâneas estão sendo amplamente utilizadas, já que os benefícios são grandes, como segurança, confiabilidade e economia principalmente para as comunidades onde são instaladas. No entanto, a maior dificuldade de aplicação da rede, está em seu alto custo, que pode chegar até dez vezes maior quando comparada às redes aéreas.

O investimento inicial na implantação das redes subterrâneas é um grande problema, e acaba sendo levado em conta quando se escolhe uma rede de distribuição na hora da implantação, já que cerca de 70 % do investimento inicial é provido da estrutura civil, e somente outros 30 % para rede elétrica (Figura 12), mas outras dificuldades surgem durante o

tempo. O financiamento dos projetos da rede subterrânea pode ser um grande entrave se não for bem analisada, bem como o custo final. Nesse sentido Correia (2016) expõe:

Um dos fatores questionáveis na implantação de projetos de redes subterrâneas, frente ao seu custo elevado, é o financiamento de tais projetos, seja pela concessionária ou permissionária, seja pelo repasse ao consumidor final, seja através de programas diversos de revitalização de municípios e que não estejam ligados diretamente a melhorias na infraestrutura de energia elétrica. (CORREIA, 2016, p. 40).

Figura 12 – Porcentagem dos investimentos na estrutura civil e elétrica da RDS.



Fonte: Cunha e Vaz, 2014, p. 121.

As falhas nas redes subterrâneas também causam discussões sobre o seu uso, pois as manutenções após falhas são difíceis de serem feitas, já que para localizar uma falta na rede depende de equipamentos específicos e mão de obra especializada. “A natureza construtiva de redes subterrâneas dificulta os serviços de localização e manutenção após a ocorrência de curtos circuitos”. (AES ELETROPAULO, 2010, p. 01). Gastaldello (2011, p. 611) também afirma que a localização de um defeito em cabos subterrâneos não é uma tarefa trivial, já que

existe a dificuldade de acesso ao sistema, bem como os altos custos de medições dos parâmetros e análises desses dados que necessitam de um especialista.

É de fundamental importância que ocorra um planejamento antecipado, bem como realizar um estudo de previsão de obras futuras de mudança de redes aéreas e a existência de locais com possibilidades de instalação de equipamentos podem resultar em menores impactos, nos custos e tempo nas obras, que podem durar vários anos, dependendo da complexidade do sistema. (MOREIRA, 2016, p. 22).

2.2 Principais equipamentos, modos de operação e estruturas.

2.2.1 Tipos de arranjos de redes de distribuição subterrâneas

“Um arranjo ou configuração define a topologia dos circuitos e a forma de operação de uma rede. Isso é válido tanto para as redes de distribuição aérea quanto para as subterrâneas”. (CUNHA; VAZ, 2014, p. 31).

A escolha do arranjo na rede subterrânea vai depender de vários fatores que vão influenciar principalmente na confiabilidade e economia do sistema, sendo assim antes de qualquer decisão é essencial uma análise da área de implantação do sistema.

Nakaguishi e Hermes (2011, p. 29) ressaltam que os sistemas são muitas das vezes escolhidos com a proposta de um menor investimento inicial. Essa decisão em muitos casos pode ser considerada com uma prática imediatista, resultando na implantação de arranjos que não se caracterizam como os mais adequados tecnicamente e nem economicamente.

Diversos arranjos podem ser adotados no caso das redes de distribuição subterrâneas. A opção que mais se adequa depende de uma série de fatores como as características urbanas e ambientais da área de implantação, as densidades de cargas a serem alimentadas e seus tipos, a confiabilidade desejada, a disponibilidade de subestações próximas, os recursos financeiros disponíveis. (CUNHA; VAZ, 2014).

A seguir serão apresentados os arranjos convencionais de redes de distribuição subterrânea elétrica.

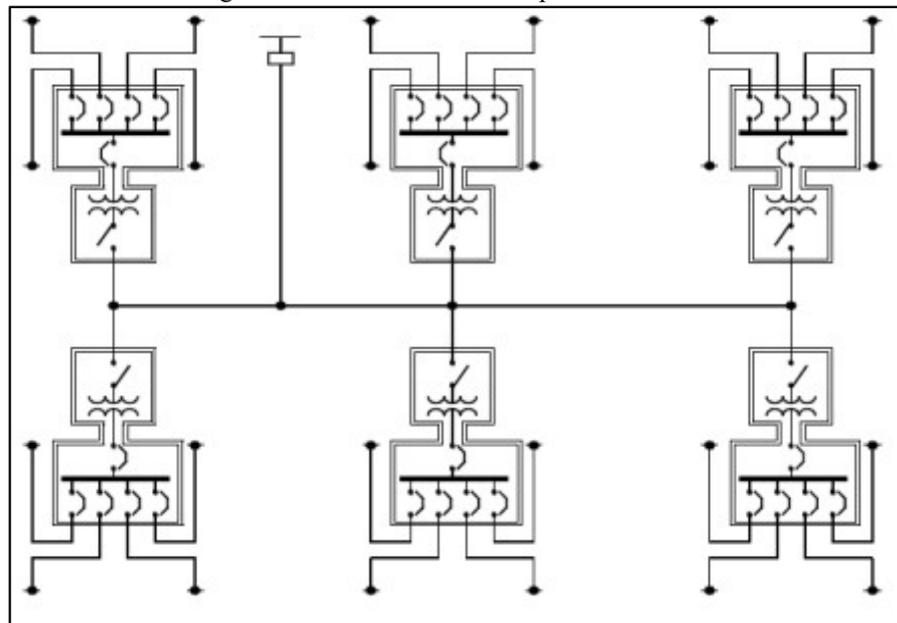
2.2.2 Arranjo radial simples

O arranjo radial é o mais simples de todos, necessitando de baixo investimento inicial. “Esse sistema de distribuição de energia, como o próprio nome diz, é o mais simples de todos.

Possui uma linha principal instalada da subestação até as cargas, podendo ou não ter derivações, e que não possui recursos de manobras, chaves ou seccionadoras”. (NAKAGUISHI; HERMES, 2011, p. 31). (Figura 13).

“Sua grande desvantagem é que uma eventual falha no circuito deixa parte das cargas desenergizadas por um tempo de interrupção que pode ser longo, em função de dificuldades da localização e reparo do ponto de defeito”. (CUNHA; VAZ, 2014, p. 32).

Figura 13 – Sistema Radial Simples.



Fonte: Nakaguishi e Hermes, 2011, p. 31.

O arranjo radial deve ser utilizado principalmente em locais de baixa densidade de carga, e onde se deseja obter uma rápida implantação da RDS no local, já que sua estrutura é mais fácil de trabalhar juntamente com a infraestrutura civil.

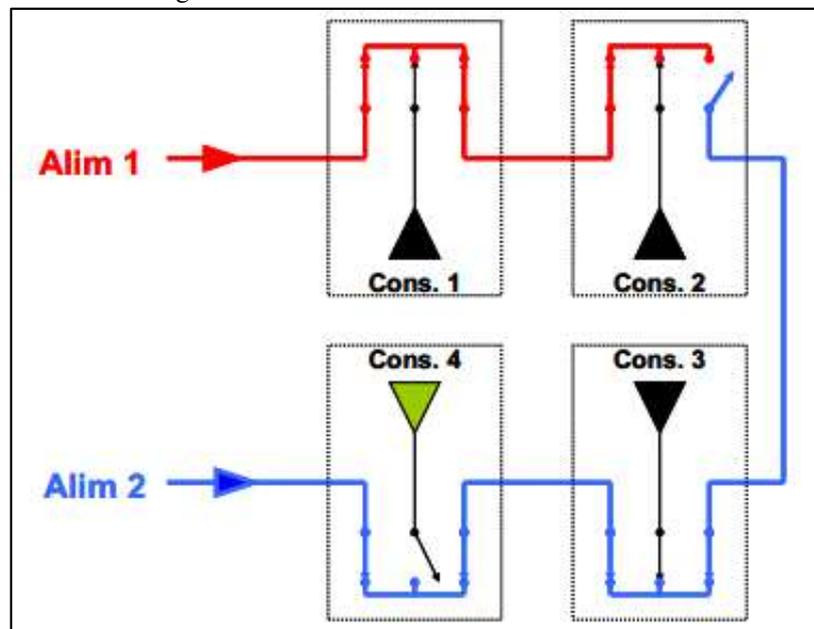
2.2.3 Arranjo radial em anel aberto

O radial em anel aberto (Figura 14) é uma melhoria do sistema radial simples, utilizando-se de recursos para isso. Cunha e Vaz (2014, p. 33), explicam que o arranjo radial em anel aberto apresenta melhoras, sendo equipado com recursos para atividades de remanejamentos de cargas em momentos de contingências, ocasionando a redução do tempo de desligamento e a interrupção das cargas, sendo mais evoluído, portanto, que o arranjo anterior.

A maior diferença do arranjo radial em anel aberto para o radial simples, é que ele possui dois alimentadores, sendo dimensionados para toda a carga do sistema. Esse sistema possui chaves normalmente em aberto (NA), para as manobras de cargas quando necessário, o que faz com que ele necessite de um maior investimento em relação ao radial.

Empreendimentos residenciais em novas áreas, como condomínios e loteamentos, ou comerciais, assim como em áreas de baixa ou média densidade de carga que necessitam de conversões de redes aéreas para subterrâneas, a utilização do arranjo em anel primário aberto é o mais adequado, (CUNHA; VAZ, 2014, p. 33).

Figura 14 – Sistema Radial em Anel Aberto.



Fonte: SANTOS, 2010, p. 18.

2.2.4 Arranjo radial primário seletivo

O arranjo radial primário seletivo (Figura 15), é composto de dois alimentadores, sendo usado principalmente para o atendimento de centros de cargas e que necessitam de uma alimentação sem interrupção longa.

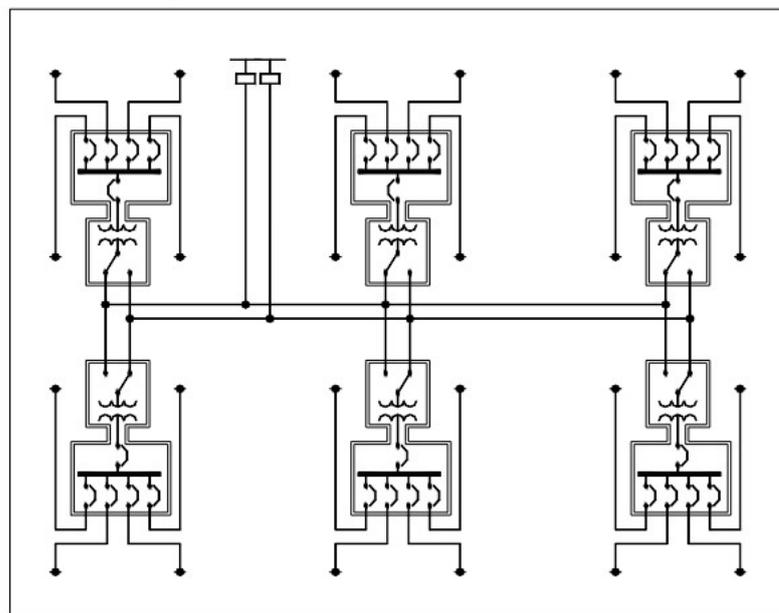
Azevedo (2010, p. 42), explica que em sua composição possui dois alimentadores radiais, um chamado de preferencial e outro reserva, idealizados para o suprimento da carga, seja qual for o alimentador em tempo integral no seu sistema de distribuição de energia elétrica.

Esse tipo de arranjo possui chaves automáticas que permitem que um alimentador seja o principal e outro fique como reserva, quando na eventual necessidade de uso do outro,

sendo que cada alimentador tem capacidade para absorver toda carga do outro. No entanto, essa transferência pode causar interrupções que são suficientes para causar problemas em certos tipos de serviços. Cunha e Vaz (2016), mencionam que:

Este arranjo é considerado de alta confiabilidade para o atendimento de grandes cargas ou áreas de alta densidade de carga que exijam maior nível de continuidade, com menor duração nas interrupções. No entanto, a transferência produz um desligamento curto (inferior a 3 min.) que pode ser inconveniente para alguns tipos de atividades sensíveis. (CUNHA; Vaz 2014, p. 36).

Figura 15 – Sistema Radial Primário Seletivo.



Fonte: Eletropaulo, 2002, p. 11.

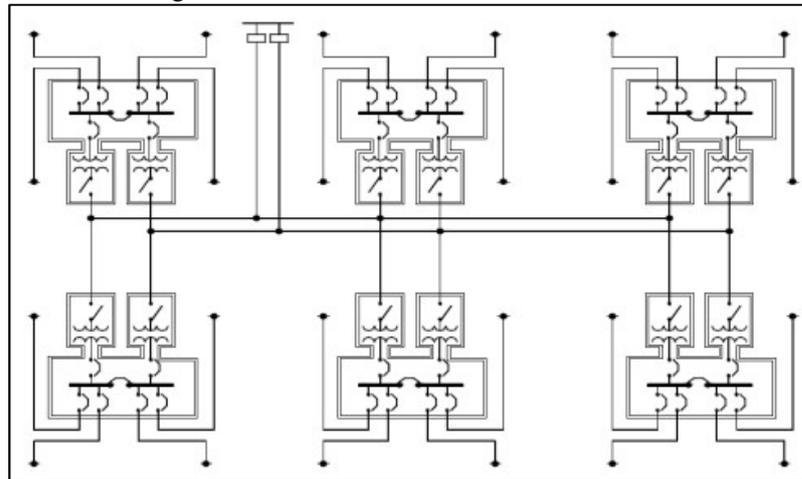
2.2.5 Arranjo radial secundário seletivo

O secundário seletivo (figura 16) utiliza o mesmo princípio de dupla alimentação do primário seletivo, porém utiliza transformadores nos barramentos, que a partir deles a duplicação continua. Esse sistema é um pouco mais caro que o primário seletivo, mas sua eficiência é muito melhor já que os transformadores possuem grande capacidade de armazenamento. Nesse contexto, Nakaguishi e Hermes (2011), citam que:

Esse sistema utiliza o mesmo princípio de alimentadores duplicados a partir da fonte de potência, assim como no sistema com primário seletivo. Porém, a duplicação

ocorre também ao longo de cada barramento de carga no lado do secundário do transformador. Esse arranjo proporciona uma restauração de serviço de maneira mais rápida para todas as cargas quando ocorre um defeito em um alimentador primário ou transformador (NAKAGUISHI; HERMES, 2011, p. 34).

Figura 16 – Sistema Radial Secundário Seletivo.



Fonte: Nakaguishi e Hermes, 2011, p. 35.

2.2.6 Arranjo reticulado generalizado (com malha secundária)

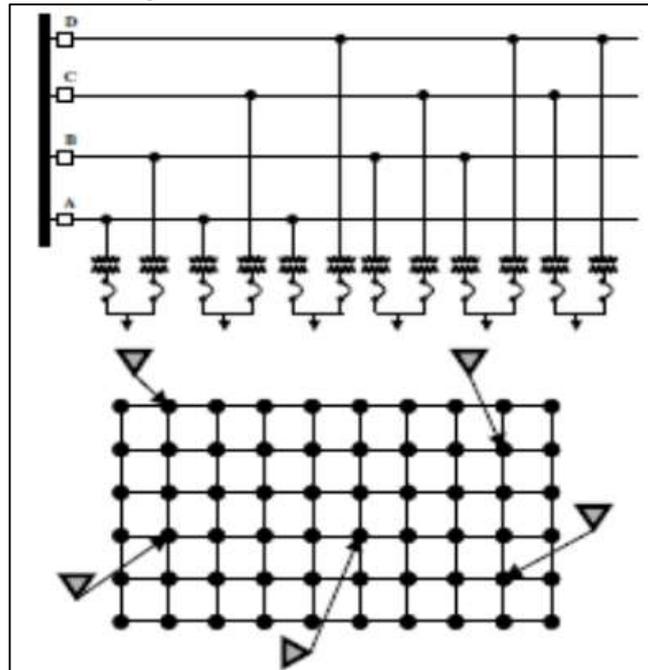
Conhecido por apresentar alto custo de implantação e atender uma grande quantidade de cargas, o arranjo subterrâneo reticulado com malha secundária é apontado como o mais confiável dentre os citados. (CUNHA; VAZ, 2014, p. 38).

Conforme Azevedo (2010, p. 45), o sistema secundário reticulado generalizado é um “sistema secundário de distribuição de energia de altíssima confiabilidade para atendimento de cargas predominantemente conectadas em baixa tensão”.

O reticulado generalizado (Figura 17) é um sistema indicado para locais com altas densidades de cargas que necessitam de alimentação sem interrupção. Sua composição oferece uma alimentação de forma que mesmo que um alimentador desligue o sistema continua funcionando.

Também conhecido como Network, o sistema é constituído por dois blocos, a média tensão que está conectada na subestação através de alimentadores radiais até aos transformadores de distribuição e a baixa tensão sendo somente um circuito subdividido por ruas e quadras agregando uma grande malha secundária. (AZEVEDO, 2010, p. 45).

Figura 17 – Sistema Reticulado Generalizado.



Fonte: Santos, 2010, p. 20.

2.2.7 Arranjo reticulado dedicado (spot network).

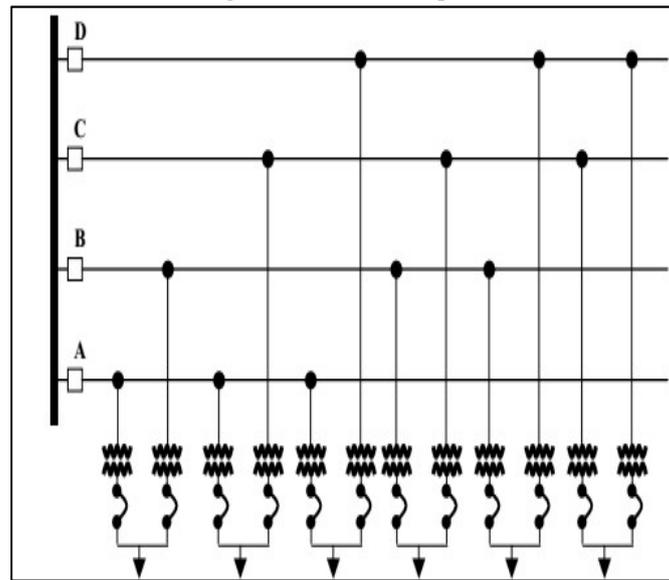
Algumas instalações precisam de mais segurança e confiabilidade, como é caso de edifícios com grande capacidade de carga. Nesse sentido, o arranjo reticulado dedicado (Figura 18), também conhecido como spot network, mostra-se como um sistema que supre as necessidades de prédios com grande carga.

Cunha e Vaz (2014, p. 41), citam que edifícios com alto índice de carga – que exigem alta confiabilidade, construídos principalmente em áreas atendidas pelos reticulados secundários generalizados – podem ser alimentados por instalações especiais, utilizando arranjos do tipo spot-network que são, sobretudo, “pequenos reticulados” dedicados a um consumidor específico.

Azevedo (2010, p. 47), explica que o sistema reticulado dedicado é melhor aplicado em regiões com densidade de carga elevada e que já é projetada com um sistema generalizado, que irá suprir a carga de grandes consumidores.

O investimento em um sistema como o sistema reticulado dedicado é essencial para algumas situações em que é necessário que não ocorra falhas na rede elétrica como hospitais e indústrias em geral.

Figura 18 – Sistema Spot Network.



Fonte: Eletropaulo, 2002, p. 13.

Na tabela 05 é mostrado um resumo comparativo técnico de diversos tipos de arranjos utilizados em redes subterrâneas.

Tabela 05 – Comparativo técnico entre os diversos tipos de arranjos.

		Arranjo						
		Radial	Anel Aberto	Radial com recurso	Primário Seletivo	Secundário Seletivo	Reticulado em malha	Spot network
Densidade de carga (MVA/km ²) para 10 MVA/alim.		≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	20 a 140	20 a 140
Complexidade para conversão		Baixa	Baixa	Média	Média	Média	Alta	Alta
Carregamento	Alimentadores	1,0	0,50	$\frac{n-k}{n}$	$\frac{n-k}{n+k-1}$	0,50	$\frac{n-k}{n}$	$\frac{n-k}{n}$
	Transformadores	1,0	1,0	1,0	1,0	0,50	$\frac{n-k}{n}$	$\frac{n-k}{n}$
Confiabilidade	Nº de contingências	0	1	k	k	1	k	k
	Desligamentos temporários/Ano	5 a 10	10 a 15	4 a 8	4 a 8	2 a 4	0	0 a 1
	Desligamentos/Ano	0,3 a 1,3	0,4 a 0,7	0,4 a 0,7	0,1 a 0,5	0,1 a 0,5	0,005 a 0,02	0,02 a 0,10
	Restabelecimento (min)	60	65	60	180	180	135	180
	END/MVA(MW h/MVA/ano)	0,20 a 0,85	0,28 a 0,49	0,26 a 0,98	0,20 a 0,98	0,20 a 0,98	0,0073 a 0,029	0,039 a 0,20
Qualidade (1 melhor, 4 pior)	Regulação de tensão	4	3	3	2	2	2	1
	VTCD	2 a 3	2 a 3	2 a 3	2	2	1	1
	Harmônicos	3	2	2	2	2	2	1

Localização de falhas	Tempo (h)	2 a 4	2 a 4	2 a 4	4 a 8	4 a 8	8 a 20	8 a 20
	Indicadores de defeito	Pode ser utilizado	Pode ser utilizado	Pode ser utilizado	Pode se utilizado	Pode se utilizado	Somente é plenamente eficaz se for direcional	Somente é plenamente eficaz se for direcional
Geração distribuída com injeção na rede		sim	sim	sim	sim	sim	Limitada	Limitada

Fonte: Cunha e Vaz, 2014, p. 48.

2.2.8 Equipamentos associados à rede de distribuição subterrânea

Os equipamentos utilizados na RDS constituem uma parte muito importante no projeto. O estudo desses equipamentos é primordial para a correta implantação da RDS no local de estudo. A seguir serão apresentados alguns equipamentos usados na rede de distribuição subterrânea.

2.2.8.1 Transformadores de distribuição

O grande benefício da rede subterrânea, é que os transformadores utilizados nas instalações são de alta potência, variando de 75 KVA até 1000 KVA em áreas abertas, quando se trata do pedestal (Figura 19). Na rede aérea não seriam possíveis o uso de transformadores em postes singelos acima de 150 KVA, acima disso somente com uso de dois postes. Para o pedestal o seu uso é facilitado para locais com área o suficiente para serem instalados, devido ao seu tamanho robusto. “Deverão ser localizados, preferencialmente, em jardins ou ilhas, onde deverá haver espaço para sua instalação ou até mesmo retirado do mesmo através de guindaste, para facilitar o sistema de aterramento e também para execução de possíveis manutenções”. (GAVA, 2011, p. 38).

Para as instalações no qual os transformadores ficam em câmaras subterrâneas, o seu uso fica restrito aos transformadores submersíveis (Figura 20). De acordo com Paulino (2012, p. 61) o transformador submersível é “aquele capaz de funcionar normalmente mesmo quando imerso em água, em condições especificadas”.

Nakaguishi e Hermes (2011, p. 61), mostram que “os transformadores submersíveis são aqueles adequados para serem instalados em câmaras, em qualquer nível, podendo ser prevista sua utilização onde haja possibilidade de submersão de qualquer natureza”.

Com a norma brasileira de instalações elétricas de alta tensão, NBR 14.039 (ABNT, 2005), ficou estabelecida a proibição do uso de transformadores a óleo em áreas internas de edificações. Dessa forma, em áreas de prédios, como em câmaras subterrâneas, o uso de transformadores ficou restrito aos transformadores a seco.

Seja qual for o transformador utilizado na implantação da rede subterrânea, é necessário antes de tudo um planejamento. A utilização do pedestal ou submersível vai depender das necessidades do projeto, bem como das necessidades financeiras de quem está realizando a implantação da rede de distribuição subterrânea no local.

Figura 19 – Transformador Pedestal.



Fonte: Gava; AES Eletropaulo, 2011, p. 21.

Figura 20 – Transformador Submersível.



Fonte: COPEL, 2010, p. 16.

2.2.8.2 Protetores de rede (Network Protector)

Os protetores de rede (Figura 21) são dispositivos de proteção usados contra o fluxo reverso que podem danificar equipamentos e causar problemas durante a manutenção da rede. A sua instalação é feita principalmente no lado de baixa tensão dos transformadores.

“Os protetores de rede, que podem ser identificados no lado secundário do transformador subterrâneo, são os principais equipamentos de um sistema reticulado”. (AZEVEDO, 2010, p. 58).

O protetor de rede é formado pela seção de potência que funciona como um seccionador de baixa tensão de comutação automática, que é controlado por um relé. Ele é acertado antes e configurado para captar o fluxo reverso de potência, que vem do lado dos consumidores para o lado da concessionária, que percorre os protetores, acionando então a abertura do disjuntor. (BARRETO, 2010, p. 37).

Normalmente os protetores de rede são usados principalmente em sistemas reticulados, onde pode ocorrer falhas nos alimentadores primários. A ação dos protetores ocorre em tempo real, caso uma falha seja identificada, os protetores de rede são acionados desconectando os transformadores da rede.

A norma “IEEE Standard Requirements for Secondary Network Protectors” (IEEE Std. C57.12.44, 2014) especifica os requisitos de funcionamento dos protetores de rede. Tal norma trata basicamente da performance elétrica, mecânica e de segurança, que os protetores como um todo devem satisfazer.

Figura 21 – Protetores de Rede.



Fonte: Nakaguishi e Hermes, 2011, p. 63.

2.2.8.3 Chaves primárias de média tensão

De acordo com Nakaguishi e Hermes (2011, p. 65), as chaves de média tensão (ou chaves primárias) (Figura 22) são chaves instaladas no lado primário dos transformadores. Podem ser a óleo (mais antigas e ultrapassadas) ou a gás SF₆, possuindo tensões primárias desde 2,5 kV até 34,5 kV. Essas chaves não operam sob carga e sua função é isolar o transformador da rede primária.

Figura 22 – Chaves de Média Tensão.



Fonte: Site enercom, 2017.

2.2.8.4 Cabos alimentadores de baixa e média tensão

A rede secundária de distribuição subterrânea é formada por cabos (Figura 23) que possuem isolamento de 0,6/1 KV, que de acordo com os critérios de projeto e as características do sistema elétrico, pode ser de cobre ou alumínio. Dependendo do fluxo de potência de cada trecho, algumas redes são construídas com seção de cabos de diferentes. “Outras empresas podem colocar cabos com uma única seção, onde a capacidade para transmissão do fluxo de potência nos trechos da rede de baixa tensão é garantida com a instalação de múltiplos circuitos”. (AZEVEDO, 2010, p. 56).

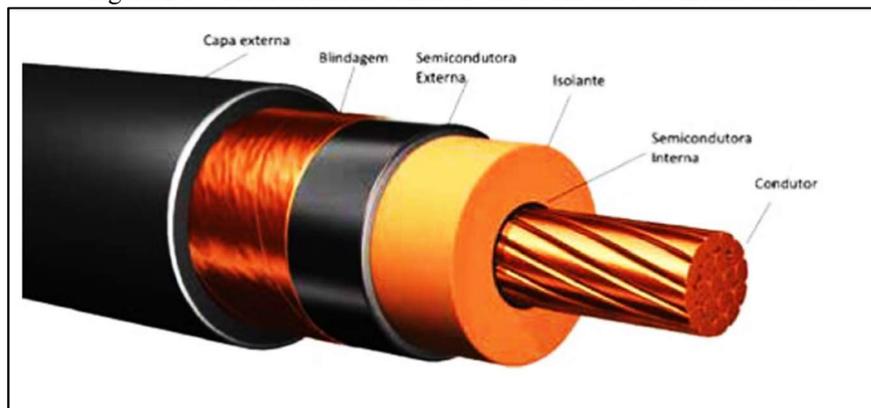
A rede primária de um sistema reticulado de distribuição é formada de cabos de média tensão que dependendo da classe de tensão vai possuir uma determinada isolamento, sendo que esta é integral (figura 24). Os cabos para redes subterrâneas possuem isolamento total, isto é, os cabos possuem uma blindagem metálica envolvendo a isolamento do cabo, que por sua vez, é diretamente conectada a terra, mantendo o potencial em seu exterior nulo (Figura 25). (NAKAGUISHI; HERMES, 2011, p. 66).

Figura 23 – Cabos Alimentadores de Média e Baixa Tensão.



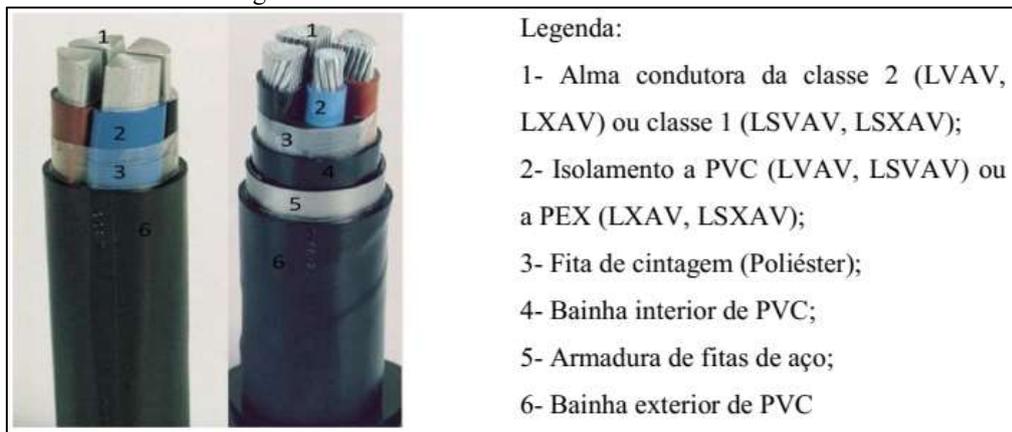
Fonte: Copel, 2010, p. 35.

Figura 24 – Características construtivas de um cabo de média tensão



Fonte: Portal o setor elétrico, 2018.

Figura 25 – Partes de um cabo de média tensão.



Fonte: Bráz, 2011, p. 09.

2.2.8.5 Acessórios para cabos

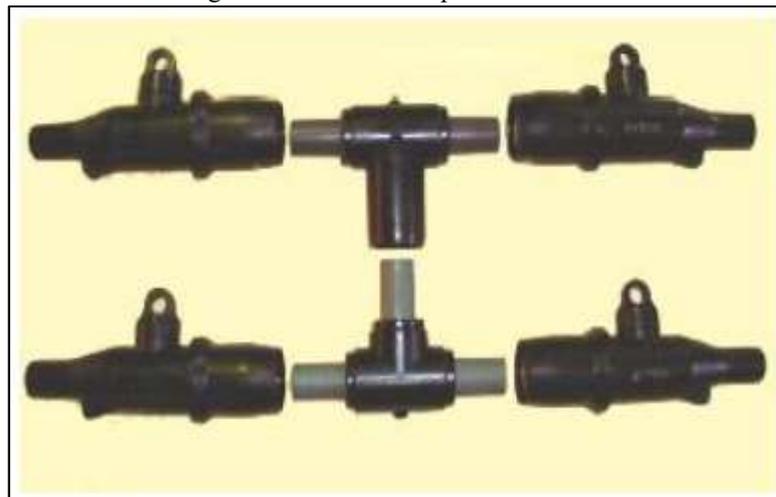
Os acessórios são usados principalmente para conectar os cabos a outros dispositivos da rede como transformadores, bem como conectar um cabo com outro. “Os acessórios de cabos são utilizados para conectar cabos isolados em redes subterrâneas, e podem ser classificados em terminais (Figura 26) e emendas (Figura 27)”. (NAKAGUISHI; HERMES, 2011, p. 67).

Os acessórios terminais são utilizados para conectar o final de um cabo a outro elemento da rede, transformador, célula, chaves, linhas aéreas e outros. Essas terminações podem ser classificadas em: terminais internos, terminais externos e acessórios desconectáveis. (NAKAGUISHI; HERMES, 2011, p. 67).

Emendas, são tipos de acessórios utilizados também na RDS, sendo utilizados principalmente para conectar cabos entre si. As emendas podem ser divididas em emenda reta para conectar cabos idênticos, transição para conectar diferentes tipos de cabos e emenda de derivação para unir cabos e gerar uma derivação. (NAKAGUISHI; HERMES, 2011, p. 67).

Tanto os acessórios terminais, como emendas serão escolhidas de acordo com as necessidades de projeto, que serão verificados pelo projetista e observadas as características de cabo a ser implantado no local.

Figura 26 – Acessórios para Terminais.



Fonte: NAKAGUISHI e HERMES, 2011, p. 67.

Figura 27 – Acessórios para Emendas.



Fonte: Nakaguishi e Hermes, 2011, p. 68.

2.2.8.6 Barramentos múltiplos isolados (Derivação de circuitos secundários)

“O Conjunto de Barramento Múltiplo Isolado – BMI (Figura 28) é um dispositivo para conexão nas redes de BT, do sistema subterrâneo da concessionária, isolado, preenchido com gel, para aplicações submersíveis na tensão 0,6/1 kV.”. (Figura 29) (CEB, 2013, p. 52).

É necessário para o atendimento de vários consumidores, derivações estrategicamente instaladas no qual são colocadas em caixas de passagens. Nakaguishi e Hermes (2011) ,mostram que:

Os barramentos múltiplos isolados são utilizados na conexão dos condutores da rede secundária para derivação dos ramais de atendimento dos consumidores. São chamados de múltiplos, pois uma entrada em baixa tensão é interligada a várias saídas em baixa tensão, possibilitando o atendimento de diversos consumidores, respeitando a capacidade de corrente de cada barramento.(NAKAGUISHI e HERMES, 2011, p. 68).

Figura 28 – Barramento Múltiplo Isolado.



Fonte: Nakaguishi e Hermes, 2011, p. 69.

Figura 29 – Barramento Múltiplo Isolado com 6 derivações.



Fonte: CPFL ENERGIA, GED 3877, 2012, p. 10.

2.2.8.7 Quadros de distribuição de baixa tensão tipo pedestal

Quando a rede subterrânea é semienterrada são necessários equipamentos que façam a distribuição da rede para os consumidores, os quadros de distribuição (Figura 30) vão realizar essa função recebendo um alimentador secundário, e derivando alimentadores para os consumidores, mas não só essa função, realizar manobras necessárias e o uso de outros dispositivos internos. Gava (2011, p. 42), menciona que é utilizado para proteção contra sobre

correntes e para execução de manobras, ligar ou desligar circuito para ligação ou modificação de instalação dos consumidores, diversas concessionárias nacionais consideram a utilização de chaves fusíveis verticais, que são fusíveis situados em um mesmo eixo vertical, sendo tripolares para abertura em carga, instaladas em quadros de distribuição (QDP) localizados nas proximidades dos transformadores.

Nakaguishi e Hermes (2011, p. 70), explicam que geralmente esses quadros são constituídos de barramentos internos, chaves seccionadoras, fusíveis e conectores. Suas características são: resistentes às intempéries, isentos de corrosão, isolante elétrico, montagem modular e a prova de chamas.

Figura 30 – Quadro de Distribuição de Baixa Tensão tipo Pedestal.



Fonte: Malagoli, p. 49.

2.2.9 Estrutura civil que compõe a rede de distribuição subterrânea.

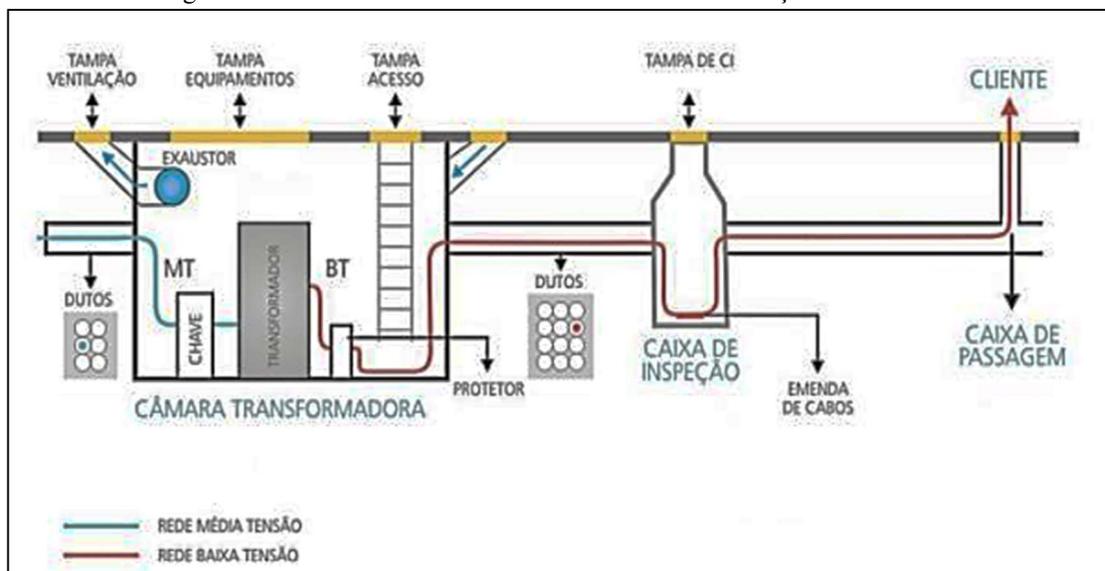
Para proteger os equipamentos que a rede de distribuição subterrânea possui, será necessária uma infraestrutura civil (Figura 31), que protegerá desde os transformadores aos cabos subterrâneos (Figura 32). Diferentemente da rede aérea na qual os cabos e outros equipamentos ficam expostos, a rede subterrânea vai necessitar de um elevado padrão construtivo de obras que vão auxiliar no correto andamento e funcionamento da rede de distribuição subterrânea.

Azevedo (2010, p. 50), mostra que “para abrigar a rede de distribuição subterrânea composta de cabos, suas emendas e conexões, os transformadores, chaves e protetores de rede são instalados dentro de uma infraestrutura civil”.

Gava (2011, p. 46), afirma que a implantação de uma rede subterrânea resulta na colocação de uma infraestrutura civil, baseadas em função de várias premissas, juntamente com as suas características básicas. É importante salientar que o detalhamento destas obras está associado com outras premissas e características constantes em normas específicas.

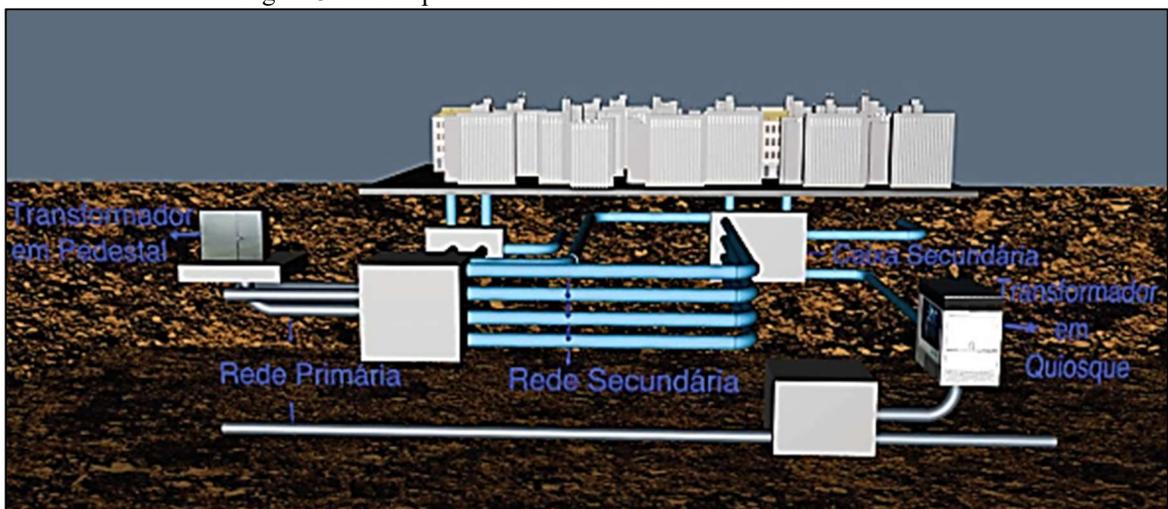
A seguir serão apresentados alguns componentes que são mais usados em uma infraestrutura civil totalmente enterrada:

Figura 31 – Infraestrutura Civil de uma Rede de Distribuição Subterrânea.



Fonte: NAKAGUISHI e HERMES, 2011, p. 43

Figura 32 – Componentes de uma rede subterrânea elétrica.



Fonte: Moreira, 2016, p. 24.

2.2.9.1 Câmaras transformadoras subterrâneas

As câmaras subterrâneas vão ter a função principal de estar guardando os equipamentos que vão transformar a energia de média para baixa tensão, na qual vão alimentar os consumidores.

As câmaras transformadoras (CTs) (Figura 33), são fabricadas em concreto armado e são destinados a abrigar os equipamentos de transformação (entrada de média tensão, chaves seccionadoras, transformador, protetor de rede, saída de baixa tensão) (Figura 34). São localizados sob as vias públicas e equipados com tampas para inspeção de fácil acesso para funcionários em caso de manutenções e circuito interno exclusivo para iluminação (NAKAGUISHI; HERMES, 2011, p. 45).

A câmara subterrânea é um “compartimento composto de quatro faces, piso e teto construído com material resistente a fogo e a explosão. São localizadas no subsolo de vias públicas, na pista de rolamento ou nas calçadas, ou no interior de propriedades”. Light (2014, p. 6).

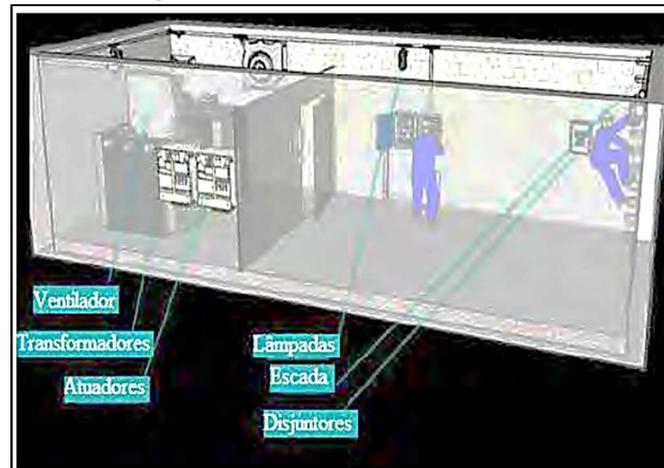
A Eletropaulo (2002), menciona que a “câmara poderá ser construída diretamente enterrada em vias públicas ou em construção no interior da edificação e ter estrutura totalmente independente da estrutura do edifício”.

Figura 33 – Câmara transformadora subterrânea.



Fonte: Copel, 2010, p. 20

Figura 34 – Câmara transformadora subterrânea



Fonte: Gastaldell; LIGHT, 2012, p. 20.

2.2.9.2 Caixas de inspeção

“Construção subterrânea projetada para abrigar emendas de cabos de potência e/ou derivações de ramais primários ou secundários, inclusive ramais de ligação”. (LIGHT, 2014, p. 07).

A caixa de inspeção (Figura 35), é outro importante componente de uma rede subterrânea na infraestrutura civil já que é nele que serão colocados acessórios e equipamentos necessários ao bom desempenho da rede (Figura 36).

Para a construção de uma caixa de inspeção de um determinado trecho da RDS é necessário que algumas regras sejam seguintes para o correto funcionamento da rede. Nesse contexto a Moreira (2016), afirma que:

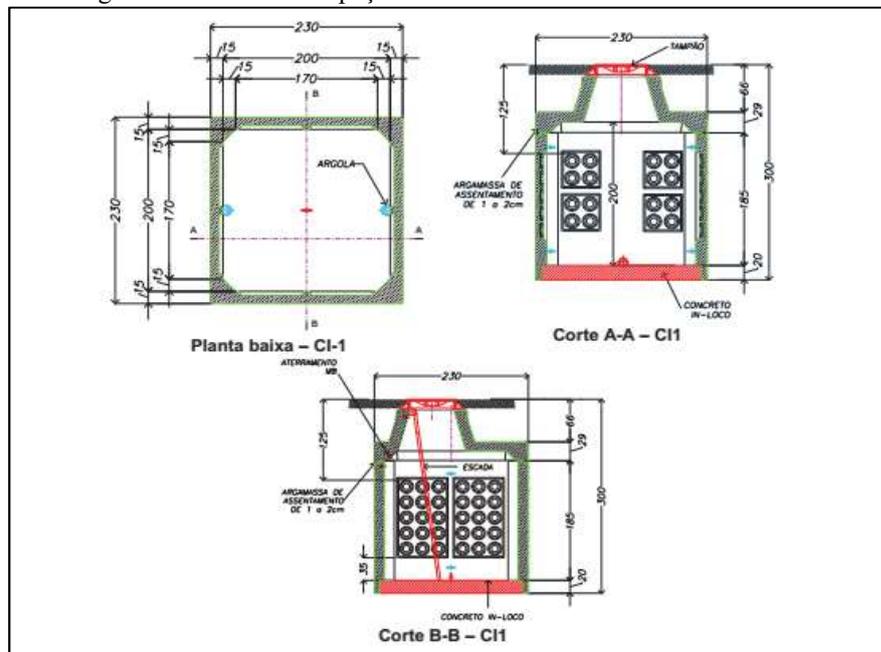
As caixas de inspeção, utilizadas em canalizações de circuitos primários subterrâneos, devem ser construídas:

- Nas extremidades de cada trecho de canalização de circuito primário;
- Em todos os pontos onde serão instalados acessórios ou equipamentos;
- Para dividir a tubulação em trechos com os comprimentos dentro dos limites estabelecidos anteriormente;
- Em locais onde há mudança de direção do banco de dutos;
- Em fins de linhas de dutos;
- Em locais onde há previsão para instalações de futuras derivações de circuitos primários (MOREIRA, 2016, p. 192).

A caixa de inspeção é um importante aliado quando se tem um problema na rede, já que é um compartimento que será verificado em uma possível falha no sistema de distribuição

subterrâneo. Para o seu correto uso ela deve estar totalmente acessível para que o operário possa entrar com facilidade, assim como os equipamentos para a manutenção.

Figura 35 – Caixa de inspeção de dimensões de 2 m x 2 m x 2 m.



Fonte: Moreira, 2016, p. 195.

Figura 36 – Caixa de inspeção



Fonte: Gomes; Inácio, 2018 *apud* Urtado³, 2017.

2.2.9.3 Caixas de passagens.

Mais uma estrutura importante são as caixas de passagem (Figura 37). Possuem dimensões menores que as câmaras transformadoras e caixas de inspeção (Figura 38), sendo a sua função principal de abrigar as emendas das derivações dos ramais que atendem os clientes das concessionárias. “As caixas de passagens construídas sob o leito da rua deverão possuir tampas de ferro fundido com diâmetro aproximado de 600 mm”. (NAKAGUISHI; HERNES, 2011, p. 47).

As caixas de passagens vão atender principalmente as necessidades dos consumidores já que serão instaladas nelas as derivações para assim os ramais chegarem às residências. Sua instalação deve seguir certas normas para que nada aconteça de errado. Nessa conjuntura a EDP afirma que:

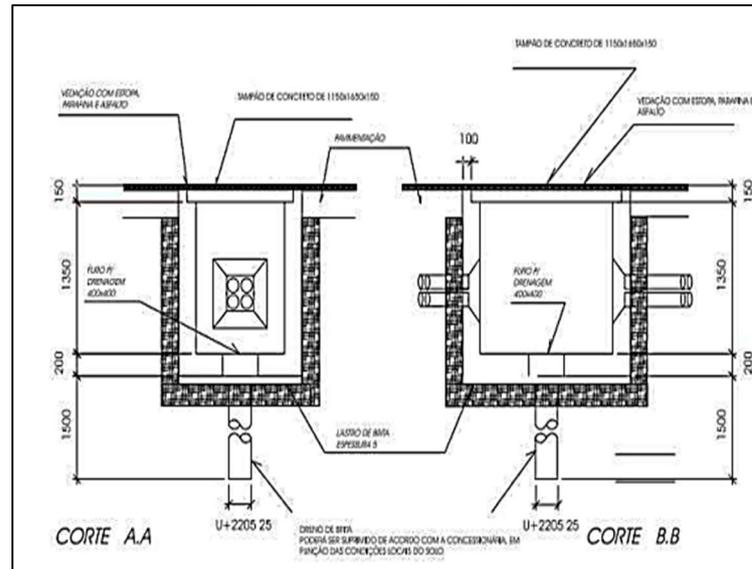
As caixas de passagem dos circuitos de baixa tensão deverão ser projetadas ao longo da rede de baixa tensão e instaladas obrigatoriamente nas calçadas.

Deverão ser previstos nas seguintes situações:

- Final de linhas de dutos;
- Locais onde há mudança de direção do banco de dutos;
- Nos pontos onde serão instalados acessórios para emendas/derivações;
- Linha de dutos que ultrapasse a distância de 100 metros para facilitar a passagem dos condutores;
- Próxima à divisa dos lotes, para interligação com a linha de dutos do ramal de entrada. (EDP, 2012, p. 15).

³ URTADO. **Catálogo de Materiais**, 2017.

Figura 37 – Caixa de passagem.



Fonte: Gava, 2011 *apud* Manual da Empresa Elétrica Bragantina S/A⁴, 2011.

Figura 38 – Caixa de passagem.



Fonte: Gomes e Inácio; Urtado⁵, 2018, p. 50.

2.2.3.4 Bancos de dutos

A diversidade de cabos para os serviços de empresas que vão estar dispostos no subsolo, como energia elétrica, telefonia, internet e outros que serão organizados, principalmente, pelos bancos de dutos (Figura 39), seguindo as normas das concessionárias (Figura 40).

Uns dos maiores problemas associados às redes de distribuição é o enterramento dos condutores em um solo repleto de tubulações de serviços indispensáveis (rede de esgoto,

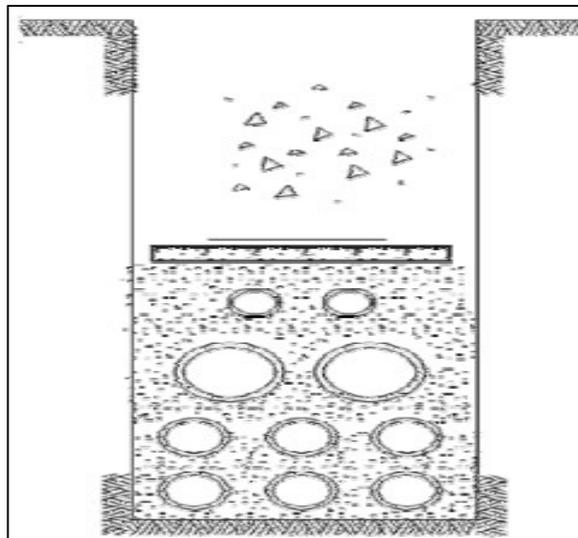
⁴ Manual da Empresa Elétrica Bragantina S/A, 2011.

⁵Ibid, p. 62

água, galerias pluviais) além dos serviços de outras concessionárias como de telefonia, TV a cabo e fibra óptica. Sendo assim, há um emaranhado de fios de redes se encontrando, diminuindo os espaços no subsolo, surgindo problemas e elevando ainda mais os custos de instalação. (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

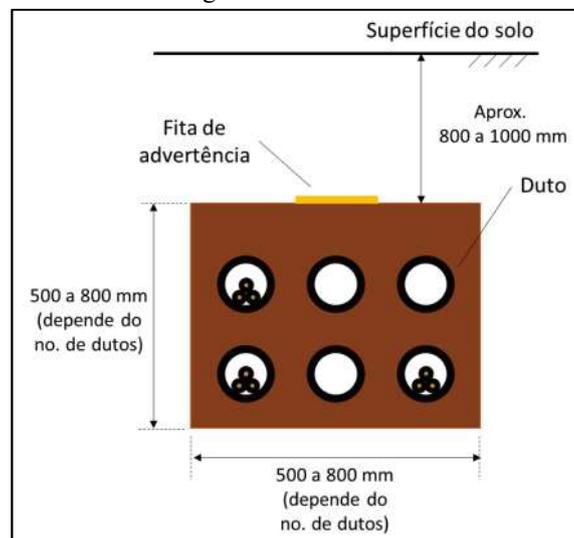
Azevedo (2010, p. 51), mostra que os dutos instalados na parte de baixo do banco são de 100 mm de diâmetro e são indicados para os cabos de baixa tensão. Os dutos do meio, de diâmetro 150 mm, são destinados aos cabos de média tensão com maior seção. E os dutos que ficam mais próximos do solo vão ser usados para a instalação de cabos de comunicação, fibra ótica, cabos de controle ou automação da rede de distribuição têm 75 mm de diâmetro.

Figura 39 – Banco de Dutos.



Fonte: AZEVEDO, 2010, p. 51.

Figura 40 – Banco de Dutos.



Fonte: Manual CPFL energia, 2016, p. 27.

2.2.4 Aspectos regulatórios

No Brasil existem algumas normas que tratam de maneira direta ou indireta, o espaço subterrâneo, seja ele para telecomunicações ou esgoto, no entanto as normas que tratam do assunto de maneira técnica é a NBR 5410 e a NBR 14039, porém elas não são o suficiente para direcionar as concessionárias, de modo que estas e profissionais da área afirmam que as normas não são aplicáveis as redes de distribuição subterrâneas. Um exemplo claro, é o que afirma Moreira (2016, p. 33), onde segundo ela “essa norma não é aplicável às concessionárias de energia elétrica”. Os autores Cunha e Vaz (2014, p. 145), também demonstram o mesmo entendimento, afirmando que as normas brasileiras de instalações em baixa tensão e média tensão, respectivamente, NBR 5410 e NBR 14039 “não são aplicáveis a concessionárias de energia elétrica”.

Realizando um estudo sobre a NBR 5410, é possível perceber que a norma não auxilia as concessionárias sobre as características técnicas e construtivas de uma RDS, citando somente a profundidade das valas, tipos de cabos e aterramento, no mais não é citado algo mais a fundo, como é mostrado no item 6.2.11.6, com o título linhas enterradas, da NBR 5410 (2008) que nos mostra o seguinte:

6.2.11.6.1 Em linhas enterradas (cabos diretamente enterrados ou contidos em eletrodutos enterrados), só são admitidos cabos unipolares ou multipolares. Adicionalmente, em linhas com cabos diretamente enterrados desprovidas de proteção mecânica adicional só são admitidos cabos armados.

NOTA: Admite-se o uso de condutores isolados em eletroduto enterrado se, no trecho enterrado, não houver nenhuma caixa de passagem e/ou derivação enterrada e for garantida a estanqueidade do eletroduto.

6.2.11.6.2 Os cabos devem ser protegidos contra as deteriorações causadas por movimentação de terra, contato com corpos rígidos, choque de ferramentas em caso de escavações, bem como contra umidade e ações químicas causadas pelos elementos do solo.

6.2.11.6.3 Como prevenção contra os efeitos de movimentação de terra, os cabos devem ser instalados, em terreno normal, pelo menos a 0,70 m da superfície do solo. Essa profundidade deve ser aumentada para 1 m na travessia de vias acessíveis a veículos, incluindo uma faixa adicional de 0,50 m de largura de um lado e de outro dessas vias. Essas profundidades podem ser reduzidas em terreno rochoso ou quando os cabos estiverem protegidos, por exemplo, por eletrodutos que suportem sem danos as influências externas presentes.

6.2.11.6.4 Deve ser observado um afastamento mínimo de 0,20 m entre duas linhas elétricas enterradas que venham a se cruzar.

6.2.11.6.5 Deve ser observado um afastamento mínimo de 0,20 m entre uma linha elétrica enterrada e qualquer linha não elétrica cujo percurso se avizinha ou cruze com o da linha elétrica. Esse afastamento, medido entre os pontos mais próximos das duas linhas, pode ser reduzido se as linhas elétricas e as não elétricas forem separadas por meios que proporcionem uma segurança equivalente.

6.2.11.6.6 As linhas elétricas enterradas devem ser sinalizadas, ao longo de toda a sua extensão, por um elemento de advertência (por exemplo, fita colorida) não

sujeito a deterioração, situado, no mínimo, a 0,10 m acima da linha. (NBR 5410, 2008, p.)

No entanto, a ANEEL vem nos últimos anos demonstrando uma maior preocupação com temas relacionados às redes de distribuição subterrâneas. Desde 2013, a ANEEL inclui debates e seminários voltados para as redes de distribuição subterrânea, buscando um norte para quem deseja implantar o sistema de distribuição. Nesse sentido, Moreira (2016), afirma que:

Conseqüentemente, foram realizados de forma sucessiva um Seminário (setembro de 2013), seguido de uma Consulta Pública (janeiro de 2015) e de uma Audiência Pública (março de 2016), visando coletar subsídios para o aprimoramento regulatório referente às redes subterrâneas. (MOREIRA, 2016, p. 13).

De acordo com a ANEEL (2016), o tema sobre o enterramento da rede de distribuição aérea ficou em audiência pública nos dias 28 de janeiro a 28 de abril de 2016, recebendo na ocasião 23 contribuições de 12 empresas. O início sobre o debate do tema ocorreu em 26 de setembro de 2013, com o Seminário Sistemas Subterrâneos de Distribuição: Aspectos Regulatórios, promovido pela ANEEL. Logo depois no segundo semestre de 2014 foi realizada a Consulta Pública nº 13/2014, com a finalidade de receber contribuições sobre investimentos em redes subterrâneas e avaliar a necessidade de aprimoramentos.

Como resultado dos encontros promovidos pela ANEEL, foi aprovado em novembro de 2016, o aprimoramento na regulação N° 414/2010, no que diz respeito a investimentos em redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica. De acordo com a decisão, a ANEEL (2016) afirma que:

é de responsabilidade exclusiva do interessado, individualmente ou em conjunto, da Administração Pública Direta ou Indireta, o custeio das obras realizadas a seu pedido nos seguintes casos: deslocamento ou remoção de poste e rede e implantação de rede subterrânea em casos de extensão rede nova ou conversão da rede aérea existente. Nesse último caso, a distribuidora deve estabelecer, em até 90 dias após a solicitação, normas técnicas próprias para viabilização das obras.

O aprimoramento não se aplica a obras para implantação de redes subterrâneas que atendam a critérios técnicos e econômicos da distribuidora - situação em que os investimentos associados serão reconhecidos de acordo com a regulamentação vigente. (ANEEL, 2016, p. 01).

Mediante estudos realizados pela ANEEL (2016), houve a constatação de que nos últimos anos têm aparecido diferentes iniciativas tanto na esfera municipal quanto na esfera federal. Sendo assim a ideia de discutir o assunto surgiu principalmente com o objetivo de estabelecer procedimentos para que as empresas de infraestrutura convertam suas redes aéreas e urbana para subterrâneas. Estética e segurança são as principais justificativas apresentadas nessas iniciativas.

2.3 Simbologia de RDS.

A seguir serão mostradas as principais simbologias de RDS utilizadas pela CPFL ENERGIA e que foram utilizadas para este estudo de caso.

2.3.1 Poste

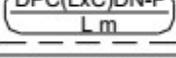
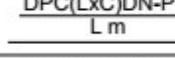
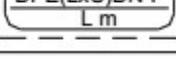
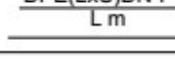
Quadro 01 - Simbologia de posteamento.

Descrição	Projetado	Existente
Poste de concreto circular		

Fonte: GED 4103 CPFL ENERGIA, 2016, p. 04.

2.3.2 Obra civil

Quadro 02 - Simbologia para construção civil

Descrição	Projetado	Existente
Câmara transformadora com ventilação forçada,(4,40m x 2,00m) - CVF		
Câmara transformadora com ventilação natural,(3,70m x 2,00m) - CVN		
Caixa de Inspeção (1)		
Caixa de passagem secundária (2)		
Caixa de passagem secundária derivação (3)		
Caixa de inspeção de aterramento - CIA		
Base transformador com caixa frontal - BTPC		
Base de concreto para quadro de distribuição em pedestal (4)		
Banco de dutos de PVC envelopado com concreto - DPC-(LxC)DN-P (5)		
Banco de dutos de PEAD diretamente enterrados - DPE-(LxC)DN-P (6)		

Fonte: GED 4103, CPFL ENERGIA, 2016, p. 04.

2.3.3 Condutores

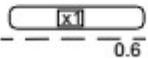
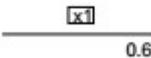
Quadro 03 - Simbologia para condutores.

Formação do Circuito	Legenda
Cabo trifásico de cobre isolado com EPR/XLPE, 15kV, 35mm ²	3UC35-1
Cabo trifásico de cobre isolado com EPR/XLPE, 15kV, 35mm ² , com cabo de proteção de 35mm ²	3UC35-1(UC35)
Cabo trifásico de alumínio isolado com EPR/XLPE, 25kV, 50mm ² :	3UA50-2
Cabo trifásico de alumínio isolado com EPR/XLPE, 25kV, 50mm ² , com cabo de proteção de 35mm ²	3UA50-2(UC35)
Cabo monofásico de cobre isolado com EPR/XLPE, 0,6/1kV, 70mm ²	1UC70
Cabo monofásico de cobre isolado com EPR/XLPE, 0,6/1kV, 70mm ² , com neutro de 70mm ²	1UC70(C70)
Cabo bifásico de alumínio isolado com EPR/XLPE, 0,6/1kV, 185mm ²	2UA185
Cabo bifásico de alumínio isolado com EPR/XLPE, 0,6/1kV, 185mm ² , com neutro de 185mm ²	2UA185(A185)

Fonte: GED 4103, CPFL ENERGIA, 2016, p. 07.

2.3.4 Rede primária

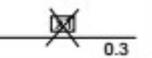
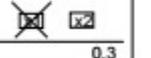
Quadro 04 - Simbologia para rede primária da RDS

Descrição	Projetado	Existente	Retirar	Substituir
Cabo primário + proteção				

Fonte: GED 4103, CPFL ENERGIA, 2016, p. 08.

2.3.5 Rede secundária

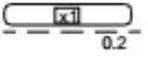
Quadro 05- Simbologia para rede secundária da RDS.

Descrição	Projetado	Existente	Retirar	Substituir
Cabo secundário + neutro				

Fonte: GED 4103, CPFL ENERGIA, 2016, p. 09.

2.3.6 Ramal de entrada

Quadro 06 - Simbologia para ramal de entrada da RDS.

Descrição	Projetado	Existente	Retirar	Substituir
Ramal de ligação + neutro				

Fonte: GED 4103, CPFL ENERGIA, 2016, p. 10.

2.3.7 Cruzamentos

Quadro 07 - Simbologia para cruzamentos.

Descrição	Existente	Proposto
Com Ligação		
Sem Ligação		

Fonte: GED 4103, CPFL ENERGIA, 2016, p. 11.

2.3.8 Seccionamentos

Quadro 08 - Simbologia para seccionamentos.

Descrição	Projetado	Existente	Retirar
Fim de linha primária - FLP			
Seccionamento de circuito primário - SCP			
Fim de linha secundária - FLS			

Fonte: GED 4103, CPFL ENERGIA, 2016, p. 11.

2.3.9 Terminal

Quadro 09 - Simbologia para terminal de rede.

Descrição	Projetado	Existente	Substituir
Terminal externo de MT em poste - TEU1XXA			

Fonte: GED 4103, CPFL ENERGIA, 2016, p. 12.

2.3.10 Conexões

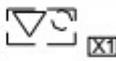
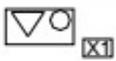
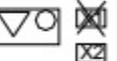
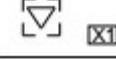
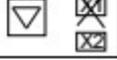
Quadro 10 - Simbologia para conexões.

Descrição	Projetado	Existente	Retirar	Substituir
Emenda reta fixa termocontrátil ou contrátil a frio em cabos de média tensão (XLPE/EPR)				
Emenda desconectável reta em cabos de média tensão (XLPE/EPR)				
Emenda desconectável de derivação simples em cabos de média tensão (XLPE/EPR)				
Emenda desconectável de derivação dupla em cabos de média tensão (XLPE/EPR)				
Emenda reta fixa de baixa tensão				
Emenda de derivação de baixa tensão				

Fonte: GED 4103, CPFL ENERGIA, 2016, p. 12.

2.3.11 Transformador

Quadro 11 - Simbologia para transformador.

Descrição	Projetado	Existente	Retirar
Transformador submersível em CT com ventilação forçada - TSU1-XXX ou TSU2-XXX			
Transformador submersível em CT com ventilação natural - TSU1-XXX ou TSU2-XXX			
Transformador trifásico em pedestal - TPU1-XXX ou TPU2-XXX			

Fonte: GED 4103, CPFL ENERGIA, 2016, p. 13.

2.3.12 Equipamentos

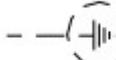
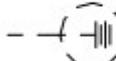
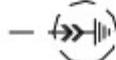
Quadro 12 - Simbologia para equipamentos.

Descrição	Projetado	Existente	Retirar	Substituir
Quadro de distribuição em pedestal (1)				
Indicador de defeito (2)				

Fonte: GED 4103, CPFL ENERGIA, 2016, p. 13.

2.3.13 Aterramentos e pára-raios

Quadro 13 - Simbologia para para-raios.

Descrição	Projetado	Existente
Aterramento		
Pára-raios em poste		
Pára-raios desconectável		

Fonte: GED 4103, CPFL ENERGIA, 2016, p. 14.

3. METODOLOGIA

3.1 Materiais

3.1.1 Equipamentos, modos de operação e estruturas utilizados no projeto elétrico

Para a correta realização do projeto elétrico da RDS na UNIFAP, foram utilizados os seguintes equipamentos mostrados no quadro 14 abaixo:

Quadro 14 – Materiais e equipamentos utilizados na parte elétrica.

Equipamentos, modos de operação e estruturas	Especificação	Quantidade
Arranjo	Radial Simples	X
Transformadores	Pedestal	2 de 500 KVA
Protetores de rede	x	x
Chaves primárias	x	x
Cabos de baixa tensão	x	x
Cabos de media tensão	x	x
Acessórios para cabos	Terminais e emendas	x
Barramento múltiplo isolado	x	x
Quadro de distribuição de baixa tensão	Pedestal	2
Câmaras transformadoras	x	x
Caixas de inspeção	x	x
Caixas de passagem	x	x
Bancos de dutos	x	x
Religadores	x	1

3.1.2 Normas utilizadas na pesquisa

Durante a pesquisa foram utilizadas as normas de concessionárias com experiência no ramo da RDS, sendo elas:

- CEB;
- CELEC D;

- CELG;
- CEMIG;
- COPEL;
- CPFL ENERGIA;
- EDP;
- AES ELETROPAULO;
- ENERGIZA;
- LIGHT;
- NEO ENERGIA;
- REDE ENERGIA.

Além destas, outras normas que ajudaram na pesquisa, foram consultados outros setores de associações, tais como:

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS;
- MINISTÉRIO DO TRABALHO;
- OUTROS.

3.2 Métodos

3.2.1 Classificação da pesquisa

3.2.1.1 Abordagem

A presente pesquisa trata-se de uma análise qualitativa onde foi abordado o processo de elaboração de um projeto elétrico de RDS. “Na abordagem qualitativa, a pesquisa tem o ambiente como fonte direta dos dados. O pesquisador mantém contato direto com o ambiente e o objeto de estudo em questão, necessitando de um trabalho mais intensivo de campo” (FREITAS; PRODANOV, 2013, p. 70).

3.2.1.2 Cenário e sujeito

O estudo do trabalho aborda o processo de elaboração de um projeto para a substituição da estrutura de distribuição da rede aérea presente, por uma rede subterrânea no Campus Marco Zero do Equador da UNIFAP. O estudo se centralizou principalmente na via principal da UNIFAP, com centro de carga nos antigos prédios em torno da biblioteca.

3.2.1.3 Natureza

A finalidade da pesquisa é de natureza prática com o intuito de gerar conhecimentos de modo a serem aplicados na prática no que diz respeito ao planejamento de uma rede subterrânea de distribuição.

3.2.1.4 Objetivo

Quanto ao tipo de objetivo da pesquisa ou tipo de conhecimento produzido o trabalho se caracteriza por uma pesquisa descritiva. Onde de acordo com o Freitas e Prodanov (2013, p. 52), ocorre quando se verifica o registro e descrição dos fatos observados sem que haja interferência deles. Em geral assume a forma de levantamento, descrevendo as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis, envolvendo assim o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados, seja ele, questionário e observação sistemática.

Antes da pesquisa descritiva, foi realizado uma pesquisa exploratória de modo há buscar uma maior familiaridade com o problema central da monografia.

3.2.1.5 Procedimentos de pesquisa

Na busca do referencial teórico foi realizado uma pesquisa bibliográfica de modo a compreender melhor o assunto abordado. Foram estudados principalmente monografias referente ao tema de RDS e artigos, sendo pouco explorado livros sobre o tema devido à baixa quantidade de publicações na língua portuguesa.

Foi elaborado de modo a complementar o estudo uma pesquisa documental para averiguar documentos no local de estudo para subsidiar a pesquisa. Foram conseguidos com o auxílio da UNIFAP, informações referentes a demanda de carga e plantas em CAD para nortear a confecção do projeto elétrico subterrâneo dentro do terreno da UNIFAP. A pesquisa

documental também foi auxiliada com o uso de normas de concessionárias que atuam no Brasil há anos e possuem experiência no ramo da RDS.

Como a pesquisa trata de modo profundo sobre um determinado tema, a Rede de Distribuição Subterrânea em um determinado local, a monografia trata de um estudo de caso. Quando envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento (FREITAS; PRODANOV, 2013 *apud* YIN⁶, 2001).

3.2.1.5.1 Instrumento de Coleta de dados

Para a coleta de dados foram utilizados os métodos de coleta de dados de observação e análise documental.

3.3 Caracterização do local e do sistema atual

3.3.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em 2019, onde foi realizado levantamento de informações na UNIFAP, para a realização de projetos elétricos.

O estudo da implantação da rede subterrânea se centralizou nos blocos mais antigos da UNIFAP (Figura 41) como a biblioteca, blocos de direito, ciências sociais, geografia e história onde existe uma maior quantidade de prédios mais próximos um do outro (Figura 46). A rede elétrica em estudo da UNIFAP está delimitada no trecho que inicia no prédio de medição, localizado na entrada da UNIFAP (Fotografia 02) até o final da reta da via principal da UNIFAP perto da Rádio Universitária, na delimitação com ramal que se estende até ao outro lado da instituição (Fotografia 03).

⁶YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

Figura 41 – Centro de carga do estudo para rede subterrânea.



Fonte: Google maps, 2019.

Fotografia 02 – Prédio de medição na entrada da UNIFAP.



Fonte: Autor do trabalho, 2019.

Fotografia 03 – Poste no final do trecho de estudo do sistema elétrico.



Fonte: Autor do trabalho, 2019

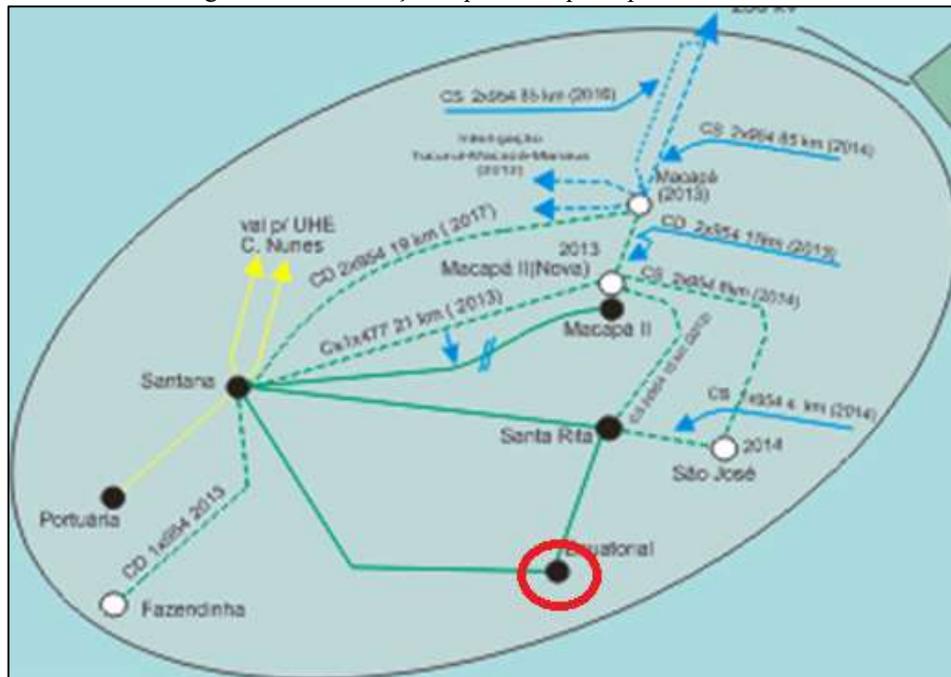
3.3.2 Caracterização da região e do sistema em estudo

Para uma maior elucidação do projeto de conversão de uma rede aérea para rede subterrânea do sistema elétrico da UNIFAP, serão apresentadas as principais características da rede elétrica existente, bem como outros aspectos que ajudaram na tomada de decisão na hora da conversão do trecho escolhido dentro da UNIFAP. Também serão apresentados os aspectos construtivos, operacionais e econômicos.

3.3.3 Caracterização da rede Elétrica atual

A UNIFAP é suprida pela subestação equatorial (Figura 42), mais especificamente pelo alimentador Zerão, possuindo uma chave de manobra em um poste próximo da entrada da instituição (Fotografia 04), que realiza a operação de abrir ou fechar quando necessário, evitando assim problemas quando a rede de alta tensão está em contingência. Já dentro da UNIFAP, a energia elétrica chega passando primeiramente pela medição que fica localizada em um prédio na entrada da instituição (Fotografia 02).

Figura 42 – Subestação Equatorial que supre a UNIFAP.



Fonte: Eletronorte, 2014.

Fotografia 04 – Chave Fusível na entrada da UNIFAP.



Fonte: Autor do trabalho, 2019.

A rede elétrica atual existente na UNIFAP é classificada como rede aérea convencional, caracterizada pelo uso de cruzetas, isoladores, transformadores, cabos nus na alta tensão sem qualquer isolação do campo magnético.

Do prédio de medição o sistema de distribuição de alta tensão de 13,8 KV se inicia dentro da UNIFAP, onde o percurso da via principal que contemplou o projeto mede em torno

de 510 m (Figura 43). Ao todo são 17 postes na área de estudo da conversão e 9 transformadores de distribuição, de acordo com a observação em campo (Apêndice A) . Os prédios, para efeito de estudo de carga, foram ao todo 28 prédios (Anexo A).

A carga da UNIFAP aumentou nos últimos anos e continua em processo crescente, já que novos blocos foram construídos nos últimos anos e algumas obras estão em andamento na instituição, como o hospital universitário e outras já planejadas (Anexo B). A demanda contratada da UNIFAP é de 1100 kW, com consumo médio de 300 kwh, o que dá uma média de R\$ 120.000,00 reais de conta de luz (Anexo C).

Figura 43 – Perímetro de 510 m, onde a RDS foi projetada.



Fonte: Google maps, 2019.

3.3.4 Dados Urbanísticos

A área de ocupação do solo da UNIFAP atualmente se encontra em expansão, possuindo vários prédios dos colegiados, departamentos, depósitos, biblioteca, reitoria e outras edificações (Anexo A). Outras futuras construções já estão sendo planejadas para a área (Anexo B).

Mesmo com as edificações existentes, a UNIFAP é caracterizada por uma área extensa, possuindo locais para a correta colocação de transformadores pedestais, bem como a passagem do banco de dutos.

3.3.5 Fatores internos

O crescimento de carga da UNIFAP ocorrerá de duas formas: o aumento da demanda dos consumidores atuais, pela utilização de novos equipamentos adquiridos pelos laboratórios, por exemplo, ou por outras aquisições que irão refletir no aumento da demanda. Outra forma possível será pelo acréscimo de novos consumidores, que é atualmente a maior característica dentro da área, já que muitas construções já foram realizadas, como o prédio do Departamento de Registro Acadêmico (DERCA) e o prédio de Engenharia Elétrica. Em 2019 uma das mais importantes construções em andamento é o prédio do hospital universitário.

Esse crescimento de carga é muito importante de ser observado, pois vai interferir principalmente no futuro se a rede subterrânea não for bem planejada e dimensionada para receber toda essa demanda.

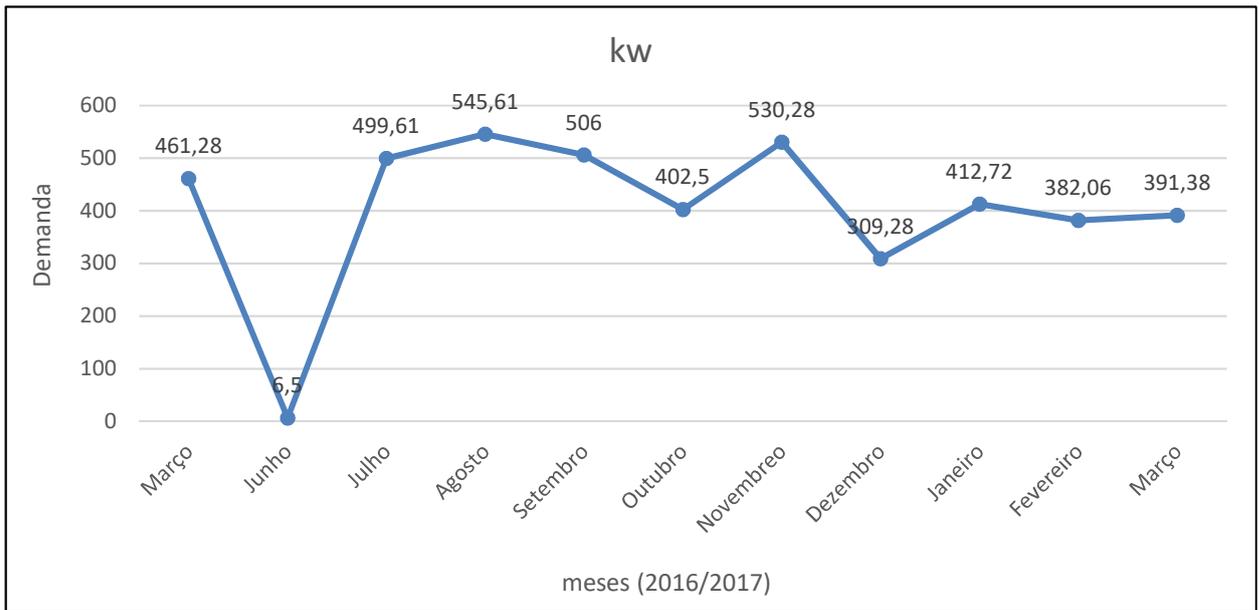
O aumento desordenado da carga muitas vezes pode obrigar a inserção de novos equipamentos que inicialmente não estavam planejados e, ocasionando, assim, grandes transtornos financeiros, operacionais e construtivos.

3.3.6 Levantamento de consumo

O levantamento de consumo (Gráfico 01) foi realizado levando em consideração informações de consumo observados dos talões de luz (Anexo C) da área da UNIFAP dos últimos doze meses do período de maio de 2016 a maio de 2017, utilizando como referência o valor máximo desse período de análise.

O estudo de consumo é necessário para estimar a demanda da área da UNIFAP e assim elaborar o projeto da rede de distribuição subterrânea da área de estudo.

Gráfico 01 - Curva de demanda entre março de 2016 e março de 2017.



Fonte: Autor do trabalho, 2019.

3.4 Planejamento para a realização de projeto elétrico da rede subterrânea no local de estudo.

3.4.1 Projeto da rede secundária subterrânea

A rede primária foi projetada na via principal da UNIFAP, com ramificações por dentro dos terrenos onde estão construídos os blocos. Os circuitos primários são trifásicos ou constituídos de três fases e radiais com indicadores de defeitos, possibilitando, assim, a detecção de falhas no sistema o mais rápido possível. Os circuitos primários foram projetados para serem instalados em dutos de polietileno de alta densidade (PEAD) diretamente enterrados à profundidade mínima de 800 mm de acordo com a norma GED-4101 da CPFL ENERGIA, partindo diretamente do circuito primário de alta tensão aéreo de 13,8 KV, mais especificamente de um poste de transição instalado na entrada da UNIFAP pela Rodovia Juscelino Kubitshek. (Apêndice B).

3.4.2 Determinação da demanda

Os prédios para cálculo de demanda se iniciam da extensão da rádio até a prefeitura da UNIFAP (Anexo A) e (Anexo B). Foram analisados em campo que nesse perímetro constam 8 transformadores com potência total de 825 KVA, potência utilizada para os demais cálculos

do projeto e dimensionamento de equipamentos a serem instalados nesse perímetro de estudo do trabalho.

3.4.3 Localização e dimensionamento dos transformadores

As redes secundárias subterrâneas foram projetadas para serem alimentadas por transformadores em pedestal, já que o local possui área o suficiente para a devida localização dos mesmos e ao mesmo tempo diminui no aspecto financeiro, já que os transformadores submersíveis são mais trabalhosos para se operarem, menos seguros e mais onerosos. Outra vantagem dos transformadores tipo pedestal é que possuem potências elevadas se comparados com os transformadores aéreos, podendo ainda ficarem protegidos por cercados. Nesse contexto a Moreira (2016), argumenta que:

De modo geral, os transformadores de redes de distribuição subterrâneas são de potência nominal significativamente maior que aqueles utilizados em redes de distribuição aéreas, consistindo, portanto, em equipamentos de maiores dimensões e que dissipam mais calor em valores absolutos (embora em valores percentuais da potência nominal possam ser mais eficientes que transformadores menores), o que deve ser levado em conta na definição dos locais de instalação (MOREIRA, 2016, p. 27).

Por possuírem capacidades de potências elevadas, podem ser usados em projetos, transformadores de 150 KVA, 300 KVA, 500KVA, além de outros dependendo do fabricante e necessidade do cliente. Sendo assim a norma técnica GED-16991 da CPFL ENERGIA (2017) apresenta que:

Os transformadores em pedestal padronizados consideram capacidades nominais de 75kVA, 150kVA, 300kVA e 500kVA e tensões nominais de:

a) Primário

- 13,8/13,2/12,0/11,4/10,8kV (exclusivamente para a RGE utiliza-se apenas as tensões 13,8/13,2/12,6kV) nos circuitos operando em classe 15kV;
- 23,1/22,0/20,9kV nos circuitos operando em classe 25kV

b) Secundário

- 380/220V nos municípios de Lins e Piratininga e em todos municípios atendidos pela RGE.

- 220/127V nos demais municípios (não aplicado na RGE). (GED-16991 da CPFL Energia, 2017, p. 33).

Para o suprimento da demanda levantada em campo, foram projetados 2 transformadores em pedestal com potências de 500 KVA (Apêndice B), posicionados de forma a facilitar o acesso as unidades consumidoras. Os transformadores são instalados sobre uma base de concreto, conforme dimensões especificadas na norma técnica GED-4102 da CPFL ENERGIA (2016).

De acordo com a norma técnica GED-4101 da CPFL ENERGIA (2016, p. 73), “Os transformadores são fornecidos com os fusíveis de expulsão tipo “dual element” e limitadores de corrente, cujas capacidades nominais devem estar de acordo com o indicado no quadro 15 abaixo.

Quadro 15 - Fusíveis Padronizados para Transformadores em Pedestal

Potência Nominal do Transformador (kVA)	Correntes nominais dos fusíveis (A)			
	Circuitos Classe 15kV		Circuitos Classe 25kV	
	Fusível de expulsão	Fusível limitador de corrente	Fusível de expulsão	Fusível limitador de corrente
75	6 ⁽¹⁾	30	5 ⁽¹⁾	30
150	15 ⁽¹⁾	50	8 ⁽¹⁾	30
300	25 ⁽¹⁾	65	15 ⁽¹⁾	50
500	50 ⁽¹⁾	100	25 ⁽²⁾	65

(1) tipo: dual element (2) tipo: dual sensing

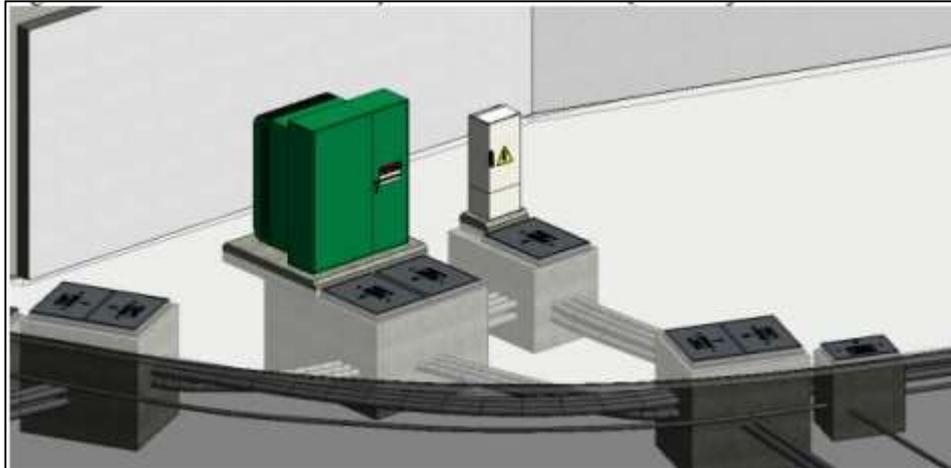
Fonte: CPFL ENERGIA, 2016, p. 45.

Sendo assim os transformadores devem possuir as seguintes características:

- a) Transformadores com potência de 500 kVA, classe de tensão 13.800/220-127V, composto por fusível de expulsão 50A e fusível limitador de corrente de 100 A.

Na figura 49 é possível observar a instalação de um transformador pedestal, na cor verde, ao lado está o quadro de distribuição e proteção, em volta as caixas de inspeção e dutos de passagens para os cabos de media tensão.

Figura 44 – Instalação de um transformador pedestal.



Fonte: Gomes e Inácio, 2018, p. 127.

3.4.4 Dimensionamento rede primária subterrânea

Os cabos utilizados são de classe 8,7/15 Kv para utilização de circuitos em 13,8 Kv, constituídos de condutores de cobre, isolamento de XLPE, blindados com fios de cobre e com cobertura de PVC, possuindo ainda encordoamento classe 2 e temperatura de serviço contínuo de 90° C.

O dimensionamento dos condutores da rede primária é feito inicialmente através da capacidade de condução de corrente dos mesmos, portanto, utiliza-se a potência total dos transformadores com fator de potência de 0,92 e, através da Equação (1) deste trabalho, obtém se:

$$I_C = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{825 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 13,8 \text{ KV}} \approx 35 \text{ A} \quad (1)$$

I_C = Corrente de condução

S = Potência do transformador

V = Tensão do sistema

O diâmetro dos cabos utilizados para a rede primária foi de 35 mm² em configuração de trifólio, com capacidade de condução de corrente de 135 A, de acordo com a ntd 1.04 da CEB apresentado na tabela abaixo e GED-4101, 2016 da CPFL ENERGIA (Quadro 16 e Quadro 17).

Quadro 16 - Condutores de cobre classe 15 kV padronizados.

SEÇÃO (mm ²)	CAPACIDADE CONDUÇÃO DE CORRENTE (A)	QUEDA TENSÃO (V/A.km)	
		F.P. 0,80	F.P. 0,92
35	135	1,10	1,18
95	230	0,49	0,49
185	328	0,31	0,29
240	378	0,26	0,24

Fonte: ntd 1.04 da CEB, 2016, p.

Quadro 17 - Correntes admissíveis de condutores de média tensão.

Tensão (kV)	Cabos	Projeto		Operação	
		Corrente (A)	Potência (MVA)	Corrente (A)	Potência (MVA)
13,8	35mm ² de Al	97	2,3	121	2,9
	35mm ² de Cu	125	3,0	156	3,7
	70mm ² de Al	142	3,4	178	4,3
	70mm ² de Cu	160	3,8	200 ⁽¹⁾	4,8
23,0	50mm ² de Al	106	4,2	132	5,3
	50mm ² de Cu	135	5,4	169	6,7

(1) A corrente não deve ser superior a 200A, que corresponde ao valor admissível dos acessórios desconectáveis.

Fonte: CPFL ENERGIA, GED 4101, 2017, p. 63.

Como a maior parcela de queda de tensão ocorre na rede aérea, a correção deve ser feita na rede aérea de distribuição, de qualquer forma não serão apresentados aqui os cálculos de queda de tensão, devido à complexidade dos cálculos. Dessa forma serão considerados para efeito de dimensionamento o cálculo da capacidade da condução de corrente. De acordo com isso a CPFL ENERGIA GED 4101 (2016) explica que:

Áreas (empreendimentos) com cargas inferiores a 2MVA normalmente são alimentadas por trechos pequenos de circuitos primários subterrâneos derivados de circuitos aéreos, onde ocorre a parcela principal de queda de tensão. Caso a queda de tensão não esteja dentro dos limites da faixa admissível, as medidas necessárias para correção serão feitas a partir da rede primária aérea. (CPFL ENERGIA, 2016, p. 63).

A REDEENERGIA NTD-RE-008 (2010) também se posiciona da mesma forma:

A máxima queda de tensão na rede primária, desde a subestação da Concessionária até o transformador que alimenta o circuito de BT subterrâneo, não deve ser superior a 3 %. Tendo em vista que as redes primárias subterrâneas, de empreendimentos típicos, são de pequena extensão, e que a quase totalidade da queda de tensão é causada pela rede aérea, da qual a rede subterrânea deriva, o projeto elétrico da rede

primária poderá dispensar o cálculo de queda de tensão, desde que o comprimento dessa rede não ultrapasse 3 km de extensão. (REDEENERGIA NTD-RE-008, p. 41).

A AES ELETROPAULO (2016), em seu fascículo sobre RDS, aborda a mesma perspectiva que a CPFL ENERGIA e REDEENERGA, como mostrado abaixo:

As redes primárias subterrâneas de loteamentos residenciais típicos normalmente são curtas e não alimentam grandes cargas, conseqüentemente, as quedas de tensões nessas redes são, normalmente, pequenas.

Se a tensão nesse circuito subterrâneo não estiver dentro dos limites da faixa admissível, as medidas necessárias para correção normalmente serão feitas a partir da rede primária aérea.

Em grandes empreendimentos, com comprimentos de circuitos primários subterrâneos superiores a 3 km, cálculos de quedas de tensões devem ser obrigatoriamente efetuados e os valores calculados não devem ser superiores a 3%. (AES ELETROPAULO, 2016, p.38).

Como verificado nas argumentações das concessionárias especialistas em RDS no Brasil, não há necessidade de realizar o cálculo de queda de tensão no trecho da rede primária, já que se trata de um trecho derivado da rede aérea. Na eventual situação de um trecho superior acima de 3 km, são necessários os devidos cálculos para uma maior segurança. No projeto de pesquisa, não foram, portanto, necessários os cálculos de queda tensão, onde se trata de um trecho pequeno de estudo.

O condutor de proteção utilizado foi de cobre, com isolamento de PVC, na cor verde, classe de tensão 750V e, com seção de 35mm², sendo este instalado em duto exclusivo, conectado à malha de aterramento de cada caixa em seu trajeto (CPFL ENERGIA GED 4101 2016, p. 60).

3.4.5 Dimensionamento dos circuitos secundários e ramal de entrada

A rede secundária foi projetada a 4 fios (3 fases + neutro), usando configuração em radial, derivados principalmente dos quadros de distribuição e proteção localizados nas imediações dos transformadores em pedestal.

Os cabos dos circuitos secundários foram projetados para serem instalados em dutos de PEAD diretamente enterrados e localizados nas calçadas, obedecendo a uma profundidade mínima de 600 mm, existindo as exceções para os casos quando a rede secundária atravessar

as ruas e avenidas com circulação de automóveis para considerar profundidade mínima de 800 mm.

Para conexão do ramal de entrada (Anexo D) dos consumidores, foram previstas nas caixas de passagem, instalações de 4 barramentos múltiplos isolados (BMI) (3 fases + neutro) com quatro saídas (Anexo E), para conexão entre BMI e o tronco, foram utilizados conectores do tipo H, além de fita autofusão e fita isolante para recomposição da isolação dos condutores.

Os cabos secundários seguiram os padrões da CPFL ENERGIA, com classe 0,6/1 KV, unipolares e constituídos de condutores de cobre. As bitolas dos cabos foram projetadas de acordo com a condução de corrente e queda de tensão no trecho. De acordo com potência dos transformadores analisados em campo, foram feitas divisões de circuitos para cada prédio no perímetro de estudo, sendo os três cabos fases com isolação de XLPE com cobertura de PVC e o cabo neutro com isolação e cobertura XLPE na cor azul. Sendo que a bitola dos cabos das fases e neutro estão com a mesma bitola.

A queda de tensão no trecho da rede secundária deve seguir o padrão de 3 %, como explicam as normas abaixo:

- N.T – 4101 – Rede de Distribuição Subterrânea para Condomínios – Projeto Elétrico da CPFL ENERGIA de dezembro de 2016 que especifica o seguinte no item 7.7.7 – No dimensionamento do circuito secundário deve ser considerado que a queda de tensão entre a saída do transformador e o ponto de entrega (barramentos isolados nas caixas de derivações) deve ser igual ou inferior a 3%.
- NTC 35 – Critérios de Projetos de Redes de Distribuição Subterrâneas da CELG D, a qual estabelece: “A máxima queda de tensão admissível entre o transformador e o ponto mais desfavorável do circuito é de 3 %”.
- NDU – 018 – Critérios Básicos de Projetos e Construções de Redes Subterrâneas em Condomínios da ENERGISA, a qual determina: “Queda de tensão máxima no circuito, entre a saída do transformador e a unidade consumidora, deve ser de 5%, sendo 3% referente à rede de distribuição e 2% referente ao ramal de entrada”.
- NTD-RE-008 – Projeto e Construção de Rede de Distribuição Subterrânea da REDEENERGIA, no qual especifica: “No dimensionamento do circuito secundário deve ser considerado que a queda de tensão entre a saída do transformador e

o ponto de entrega (barramentos modulares isolados- MBI nas caixas de derivações) deve ser igual ou inferior a 3%”.

- ES.PN.03.09.0001 – A queda de tensão máxima no circuito entre a saída do transformador e a derivação do ramal de entrada do cliente (caixa de passagem), deve ser no máximo de 3%.
- Manual de Conversão de Redes de Distribuição Aéreas em Subterrâneas em Locais Urbanizados da CPFL ENERGIA, no qual estabelece que: “Nos projetos de circuitos secundários/ramais secundários devem ser atendidos os valores máximos de comprimentos e de queda de tensão, tais como indicados a seguir:
 - Circuitos secundários:
 - ✓ Comprimento máximo: 200 metros para tensão nominal de 220 V e 350 metros para tensão nominal de 380 V;
 - ✓ Queda de tensão: 3% (projeto) ”.

Para os cálculos de queda de tensão a equação (2) é utilizada, no entanto neste trabalho de pesquisa os cálculos de queda de tensão não foram realizados, de modo que, as quedas de tensão para todos os circuitos da rede secundária foram consideradas como 3 %.

$$Z = R \cdot \cos \varphi + j \cdot X \cdot \sin \varphi \quad (6)$$

$$\Delta V(3F) = \sqrt{3} * L * 10^{-3} * \frac{|Z|}{n} * I_{3\phi}$$

$$\Delta V\%(3F) = \frac{\Delta V(3F)}{V} * 100 \quad (8) \quad (2)$$

Para a determinação da bitola dos condutores dos circuitos da rede secundária, foram utilizados o método da capacidade de condução de corrente de acordo com a equação (1) deste trabalho e o quadro 18.

Quadro 18 - Condutores de Baixa Tensão Padronizados, Cabos XLPE/EPR

SEÇÃO	CAPACIDADE CONDUÇÃO DE CORRENTE (A)	QUEDA TENSÃO (V/A.km)	
		F.P. 0,80	F.P. 0,92
6	46	5,64	6,41
10	61	3,38	3,81
25	101	1,42	1,57
35	122	1,05	1,15
50	144	0,80	0,87
70	178	0,59	0,62
95	211	0,45	0,47
120	240	0,38	0,38
150	271	0,33	0,33
185	304	0,28	0,27

Fonte: NTD - 1.04 CEB distribuição, 2016, p. 25

Para a rede secundária os prédios da área de estudo foram divididos em circuitos, onde foi fixado por prédio demanda de carga de 25 KVA (Anexo F), e atendimento por transformador de 14 prédios.

Para o cálculo de condução de corrente e queda de tensão o quadro 4 foi levado em consideração. Por exemplo, para o circuito C1 do transformador 1, temos 14 prédios, cada um com uma demanda de 25kVA, gerando uma potência total de 350 kVA, sendo considerado fator de potência unitário. Após a obtenção da potência, utiliza-se a Equação (1) para o cálculo da corrente:

$$I_C = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{350 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 13,8 \text{ KV}} \approx 15 \text{ A}$$

Com o auxílio do Quadro 4, verifica-se que, para uma corrente de 15 A e, quando utilizado condutor de cobre, sua seção deve ser de 6mm².

O mesmo raciocínio é utilizado para o transformador 2, onde foi dimensionado 14 prédios e mais a iluminação pública da área de estudo.

Um resumo dos circuitos secundários é apresentado no quadro 19.

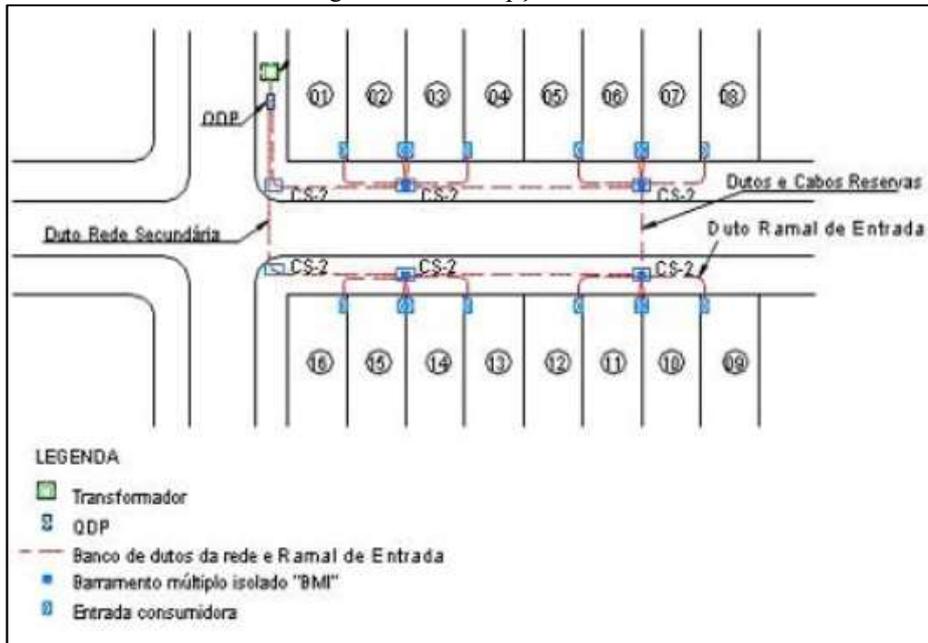
Quadro 19 – Dimensionamento dos circuitos secundários da RDS.

Trafo 1	Circuito	Quantidade Pontos/Lotes	D(VA)	I(A)	Cabo	Seção (mm ²)	Isolação
500 kva	C1	14	350000	15	Cu	10	XLPE
Trafo 2	Circuito	Quantidade Pontos/Lotes	D(VA)	I(A)	Cabo	Seção (mm ²)	Isolação
500 kva	C1	14	350000	15	Cu	10	XLPE
	QDPL	17	15747,36		Al	50	XLPE

Fonte: Autor do trabalho, 2019.

A concepção básica da rede secundária é mostrada na figura 45.

Figura 45 – Concepção básica de uma RDS.



Fonte: CPFL ENERGIA, 2017, p. 33.

O local escolhido para a passagem do ramal de entrada foi determinado com base no melhor posicionamento e economia para o projeto.

3.4.6 Iluminação

A iluminação seguiu os padrões das seguintes normas:

- ABNT NBR 5101- Iluminação pública;
- CEA NTD – 04 – Critérios para projetos de redes aéreas urbanas Convencionais (redes aéreas nuas);
- CEMIG ND-3.4 – Projetos de iluminação pública.

Foram utilizados postes de 8 metros de altura livre equipados com luminária LED com potência de 88 W, sendo que in loco, as luminárias possuem lâmpadas do tipo mista de 500 W.

Foi utilizado um circuito trifásico derivado a partir do QDP do transformador 2, onde cada fase atende uma determinada região do perímetro de estudo. A CEMIG D estabelece, em

sua especificação técnica 02.11 ED/CE-060b, que o menor fusível a ser utilizado para proteção dos circuitos de redes subterrâneas é de 100A, sendo, assim, para atender a capacidade de condução de corrente do fusível, foi necessário a utilização de um condutor de alumínio de, no mínimo, 50mm² por fase. A partir dessa distribuição, foram feitos os cálculos para dimensionamento dos circuitos de acordo com a capacidade de condução de corrente e queda de tensão, métodos esses análogos aos critérios já adotados para os circuitos secundários, sendo considerado para a queda de tensão o valor máximo de 10% ao final do circuito, conforme estabelecido na ND-3.4, o Quadro 55 apresenta os resultados obtidos.

Ainda, para a interligação entre o QDP e o QDPM, foi instalado um circuito trifásico, utilizando condutor de cobre de 25 mm², instalados em dutos de 2” de PEAD.

3.4.7 Localização e dimensionamento do quadro de distribuição e proteção.

Para o dimensionamento do quadro de distribuição e proteção as normas da CPFL ENERGIA foram utilizadas como mostrado em seguida.

Para dimensionamento do QDP, segundo os critérios da GED-4101 da CPFL ENERGIA, foram analisadas a capacidade de condução de corrente e a quantidade de circuitos a serem atendidos. A partir da corrente calculada para os circuitos da rede secundária, foram dimensionados os fusíveis para proteção, sendo que a corrente de projeto não deve ser superior a 90% da capacidade nominal do fusível.

Para proteção contra sobrecorrente dos circuitos secundários, foram utilizados fusíveis do tipo NH (Anexo G), de acordo com a GED-3902 da CPFL ENERGIA, conforme especificado no Quadro 20, instalados nas seccionadoras verticais no QDP.

Quadro 20 - Corrente nominal do fusível do tipo NH

Corrente Nom. Máxima (A)	Tamanho	Códigos dos Materiais
63	000	11-000-039-804
100	000	11-000-039-764
125	00	11-000-039-765
125	1	11-000-039-766
160	1	11-000-039-767
200	1	11-000-039-768
224	2	11-000-039-769
250	2	11-000-039-770
315	2	11-000-039-801
355	3	11-000-039-802
400	3	11-000-039-803

Fonte: GED- 3902 CPFL energia, 2014, p.03.

As chaves seccionadoras (Anexo H) foram dimensionadas seguindo os padrões das normas GED-3901 e GED - 4101 da CPFL ENERGIA, de modo que a corrente da chave não pode ser inferior a corrente do fusível. Para a obtenção da corrente nominal da chave deve-se multiplicar a capacidade de condução de corrente por um fator de ajuste, mostrado no quadro 21, de acordo com a quantidade de chaves no QDP. As chaves e fusíveis dimensionados para cada circuito é mostrado no quadro 22.

Quadro 21 – Fator de Ajuste das correntes da chaves.

Número de chaves	Fator de ajuste
2-3	0,9
4-5	0,8
6-9	0,7
≥ 10	0,6

Fonte: GED-4101, cpfl energia, 2016,

Quadro 22 - Dimensionamento dos fusíveis e chaves seccionadoras.

Trafo	Circuito	Quantidade Pontos/Lotes	D(VA)	I(A)	Cabo	Seção (mm ²)	Isolação	Fusíveis (A)	Chaves seccionadoras(A)
500 kva	C1	14	350000	15	Cu	10	XLPE	63	160
Trafo 2	C1	14	350000	15	Cu	10	XLPE	63	160
500 kva	QDPL	17	15747, 36		Al	50	XLPE	63	160

Fonte: Autor do trabalho, 2019.

O tamanho do QDP foi dimensionado, seguindo os critérios estabelecidos na GED-3826 da CPFL ENERGIA para espaçamentos do módulo de entrada, fixação de barramentos, espaço reserva e chaves seccionadoras. A partir da obtenção dos tamanhos mínimos necessários para cada QDP, foi utilizada o Quadro 23 deste trabalho para definir o modelo de cada quadro, conforme observado no Quadro 23.

Quadro 23 – Dimensões do quadro de distribuição e proteção

Item	Tipo	Dimensões (mm)		Massa Máxima (kg)
		Externa (A)	Entre Orifícios para Fixação (B)	
1	DIN-00	460 a 465	360 ± 2	69
2	DIN-0	590 a 595	495 ± 2	80
3	DIN-1	785 a 790	690 ± 2	90

Fonte: GED-3826, CPFL ENERGIA, 2017, p.19.

O modelo utilizado para o QDP no projeto foi DIN-00 (Anexo I), com as chaves para os respectivos circuitos e mais chaves reservas para possíveis manobras.

Para interligação do QDP aos transformadores (Anexo J) de acordo com a norma GED-4101, foram utilizados condutor de cobre de seção 240mm², sendo 4 condutores por fase, isolamento XLPE/EPR e 2 condutores para o neutro, isolamento em PVC, conforme especificado na Quadro 24 deste trabalho, instalados em duto de 4” de PEAD. Ainda, para a interligação entre o QDP e o QDPM, foram utilizados condutores de cobre de 5mm², instalados em dutos de 2” de PEAD.

Quadro 24 – Saídas dos transformadores para ligação ao QDP.

Potência	Cabos por Fase	Cabo Fase	Cabos por Neutro	Cabo Neutro
75kVA	1	120mm ² de Cu XLPE/EPR	1	120mm ² de Cu PVC(0,6/1kV) /XLPE
		185mm ² de Al XLPE/EPR		185mm ² de Al PVC(0,6/1kV) /XLPE
150kVA	2	120mm ² de Cu XLPE/EPR	1	120mm ² de Cu PVC(0,6/1kV) /XLPE
		185mm ² de Al XLPE/EPR		185mm ² de Al PVC(0,6/1kV) /XLPE
300kVA	2	240mm ² de Cu XLPE/EPR	1	240mm ² de Cu PVC(0,6/1kV) /XLPE
	4	120mm ² de Cu XLPE/EPR	2	120mm ² de Cu PVC(0,6/1kV) /XLPE
		185mm ² de Al XLPE/EPR		185mm ² de Al PVC(0,6/1kV) /XLPE
500kVA	4	240mm ² de Cu XLPE/EPR	2	240mm ² de Cu PVC(0,6/1kV) /XLPE

Fonte: GED-4101, CPFL ENERGIA, 2016, p. 49.

3.4.8 Poste de transição Aéreo-Subterrâneo

A interligação da rede aérea, com a subterrânea é realizada através do poste de transição que estará recebendo os equipamentos necessários para a estrutura RDS. De acordo com a norma GED-4101 da CPFL ENERGIA (2016, p. 64), “a interligação da rede subterrânea com a rede aérea é feita em postes, denominados postes de transição, onde são instalados terminais dos cabos subterrâneos”. A norma ND-3.5 da CEMIG D (2016, p.5-4), também afirma que “A transição da rede aérea para rede subterrânea deve ser feita em um poste com instalação de terminais modulares externos, para-raios de média tensão em óxido de zinco, etc.”.

É possível verificar através das concessionárias citadas que qualquer que seja a instalação da rede subterrânea, advinda de uma rede aérea, é necessário a instalação de postes chamados de transição de modo a receber toda a estrutura necessária, para criar um ponto seguro que irá rebaixar a rede, criando assim a subterrânea.

A transição para a rede subterrânea não é feita de qualquer forma, é necessário que os postes estejam adequadamente equipados, pois qualquer falha nesse ponto estará comprometendo toda a rede subterrânea. Nesse sentido, segundo a norma NE-147E da CELESC D (2017, p. 34), devem ser instalados no poste de transição os seguintes equipamentos de proteção:

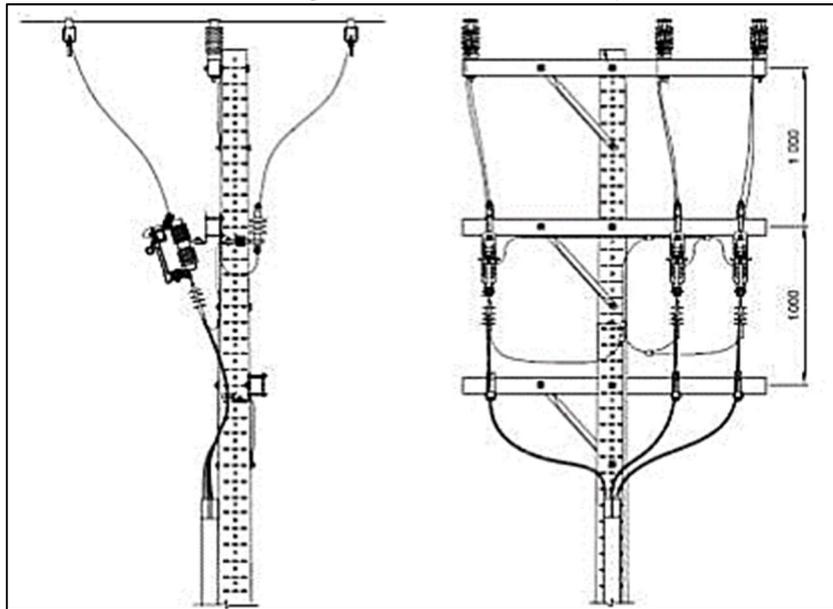
- a) Chaves fusíveis (uma por fase), pára-raios poliméricos em óxido de zinco e terminais unipolares nas extremidades dos condutores isolados, para circuitos com capacidade instalada total de transformadores menor que 1500 kVA (13,8kV) e menor que 2500kVA (23,1kV);
- b) Religadores trifásicos automáticos, ajustados para uma única operação, para circuitos com capacidade instalada total de transformadores igual ou superior a 1500kVA (13,8kV) ou 2500 kVA (23,1kV). Os religadores devem ser instalados em estruturas de derivação, anteriores à estrutura de transição aérea/subterrânea.

Segundo a norma GED-4101 da CPFL ENERGIA (2016, p. 64), devem ser instalados no poste de transição os seguintes equipamentos de proteção:

- a) Chaves fusíveis (uma por fase), pára-raios de óxidos metálicos sem centelhadores e terminais unipolares nas extremidades dos condutores isolados, de acordo com o documento GED-3224 (15kV ou 25kV), para circuitos com capacidade instalada total de transformadores menor que 750kVA;
 - b) Religadores trifásicos automáticos, ajustados para uma única operação, antecedidos em poste anterior, de chaves seccionadoras tripolares (abertura simultânea das 3 fases), para circuitos com capacidade instalada total de transformadores igual ou superior a 750kVA.
- Nota: Os religadores devem ter dispositivos para abertura por falta de tensão em uma ou duas fases.

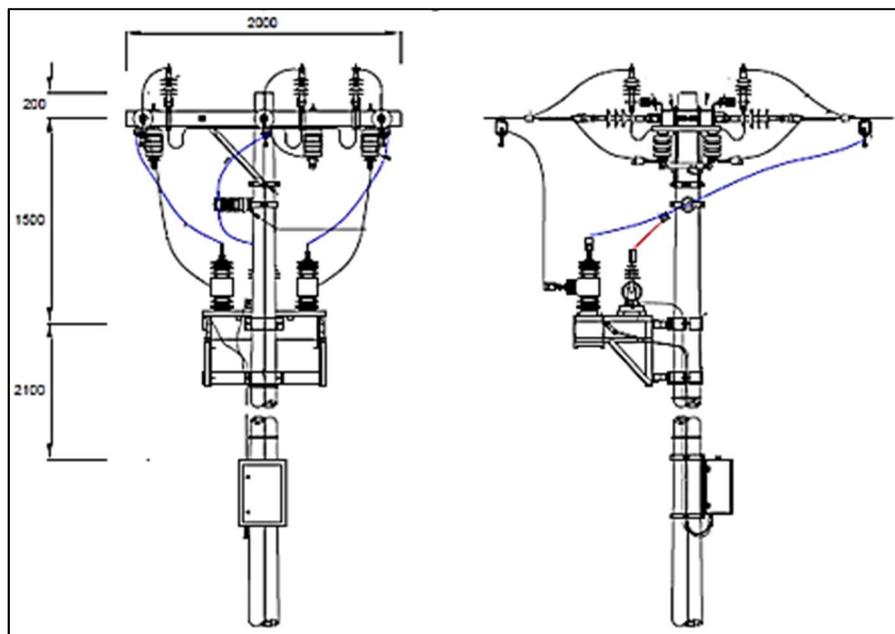
Nas figuras (46) e (47) estão apresentadas as estruturas de transição e derivação.

Figura 46 – Estrutura de transição.



Fonte: CELESC D, NE-147-E, 2017.

Figura 47 – Estrutura de derivação.



Fonte: CELESC D, NE-147-E, 2017.

Para o poste de transição de acordo com a figura (51), foi utilizado no projeto poste duplo t, com 11 metros de altura, estrutura N1 subterrâneo, foram dimensionados a chave fusível de 200 A e elo fusível de 40 K de acordo com a quadro (25), para-raios de 12 KV, com corrente nominal de descarga de 10KA de acordo com a norma ND-5.3 da CEMIG-D, como mostrado no quadro 26. Os materiais completos da estrutura de transição constam no Anexo L.

Quadro 25 – Dimensionamento da chave e elo fusível.

POTÊNCIA DE TRANSFORMAÇÃO (kVA)	TENSÃO NOMINAL			
	13,8 kV		23,1 kV	
	CHAVE (A)	ELOS (H, K)	CHAVE (A)	ELOS (H, K)
30	100	2H	100	1H
45	100	3H	100	2H
75	100	5H	100	3H
112,5	100	6K	100	5H
150	100	6K	100	5H
225	100	8K	100	6K
300	100	12K	100	8K
400	100	15K	100	10K
500	100	20K	100	12K
600	100	25K	100	15K
750	200	30K	200	20K
1000	200	40K	200	25K
1500	200	65K	200	40K

Fonte: NE-145E CELESC D.

Quadro 26 – Dimensionamento do pára-raio.

Características dos pára-raios	13,8kV	23,1kV	34,5kV
Tensão nominal (kV)	12	21	30
Corrente nominal (kA)	10	10	10
Tensão residual máxima para corrente íngreme (10kA - 1µs de frente) - kV	48	84	120
Tensão residual máxima para corrente de descarga Nominal (10kA - 8/20) - kV	43	76	108

Fonte: Nd-5.3 DA CEMIG D, p.4-7, 2016.

No poste de derivação de acordo com a figura 52, que antecede o poste de transição, foi utilizado no projeto o poste duplo T, de 11 metros de altura, estrutura N3, religadores de acordo com as especificações da norma, 22.000-PE/LS-5594b da CEMIG D, quadro 27.

Quadro 27 - Especificações técnicas do religador.

Requisitos do Equipamento			
Tensão nominal	15,5 kV	27 kV	38 kV
Frequência nominal	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Tensão suportável nominal de impulso atmosférico	110 kV _{crest}	125 kV _{crest}	170 kV _{crest}
Tensão suportável nominal a frequência industrial – 1 min. (a seco)	50 kV _{rms}	60 kV _{rms}	70 kV _{rms}
Tensão suportável nominal a frequência industrial – 1 min. (sob chuva)	45 kV _{rms}	50 kV _{rms}	60 kV _{rms}
Corrente nominal de regime contínuo	630 A _{rms}	630 A _{rms}	630 A _{rms}
Corrente suportável nominal de curta duração – 1 s	12,5 kA _{rms}	12,5 kA _{rms}	12,5 kA _{rms}
Capacidade de interrupção nominal em curto-circuito simétrico	12,5 kA _{rms}	12,5 kA _{rms}	12,5 kA _{rms}
Tensão nominal do controlador (alimentação e abertura/fechamento)	125 V _{cc}	125 V _{cc}	125 V _{cc}
Tensão do mecanismo de operação (bobinas, solenoides, atuadores magnéticos de fechamento e abertura) ¹	125 V _{cc}	125 V _{cc}	125 V _{cc}
Tensão nominal de alimentação de circuitos de aquecimento, anti-condensação	127 V _{CA}	127 V _{CA}	127 V _{CA}
Tensão de entradas e saídas binárias	125 V _{cc}	125 V _{cc}	125 V _{cc}
Capacidade de interrupção nominal de linhas em vazio	2 A	5 A	5 A
Capacidade de interrupção nominal de cabos em vazio	10 A	25 A	40 A
Sequência nominal padrão de operação	O – 0,5s – CO – 2s – CO – 5s – CO		

Fonte: ET 22.000-PE/LS-5594b da CEMIG D, 2015.

3.4.9 Terminais desconectáveis e indicadores de defeito

Os acessórios terminais são utilizados para conectar o final de um cabo a outro elemento da rede, transformador, célula, chaves, linhas aéreas e outros. Essas terminações podem ser classificadas em: terminais internos, terminais externos e acessórios desconectáveis (NAKAGUISHI; HERMES, 2011, p. 67).

No projeto foi utilizado a norma da CPFL ENERGIA GED 4101 (2016, p. 66) que estabelece o seguinte:

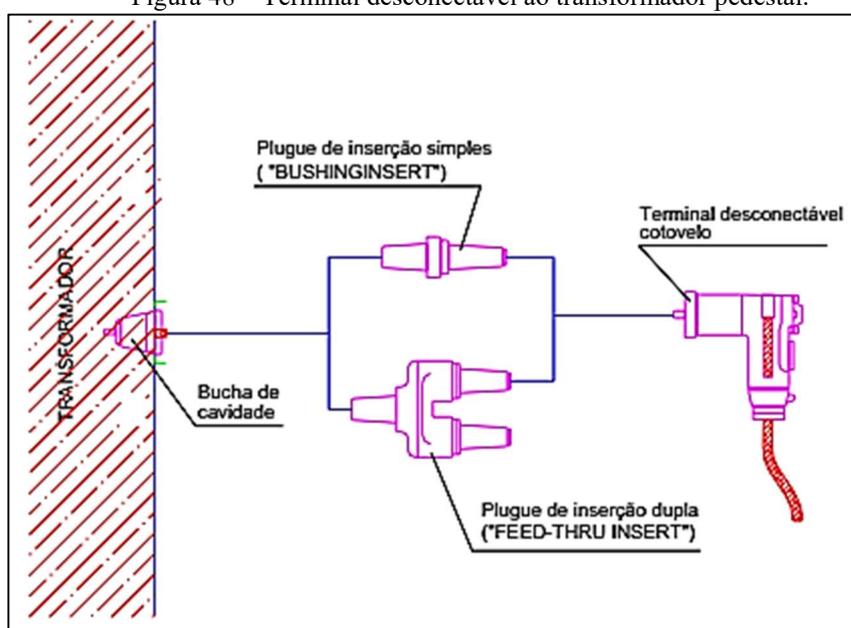
- a) Fins de circuitos ou em locais estratégicos para execução de manobras em contingências;
- b) Pontos intermediários dos circuitos onde há derivações ou previsões para utilização das mesmas;
- c) Pontos onde há mudanças de seções de condutor;
- d) Conexões de equipamentos (transformadores, chaves);
- e) Pontos estratégicos para execução de manobras em contingências. (CPFL ENERGIA GED 4101, 2016, p. 66).

Outra norma da CPFL ENERGIA utilizada foi a GED 4043 (2016, p. 2) que explica que:

Esta especificação técnica estabelece os requisitos mínimos para o fornecimento de acessórios isolados desconectáveis, operação sem carga, para uso em cabos de potência, com condutores de cobre ou alumínio, para tensões de 15kV a 25kV, e corrente nominal de 200A e 600A, a serem utilizados em redes subterrâneas. (CPFL ENERGIA, GED 4043, 2016, p. 2).

Os acessórios desconectáveis projetados consideram correntes nominais de 200A, classe de tensão de 15/25kV. Na figura 48 é apresentado a conexão de um transformador pedestal.

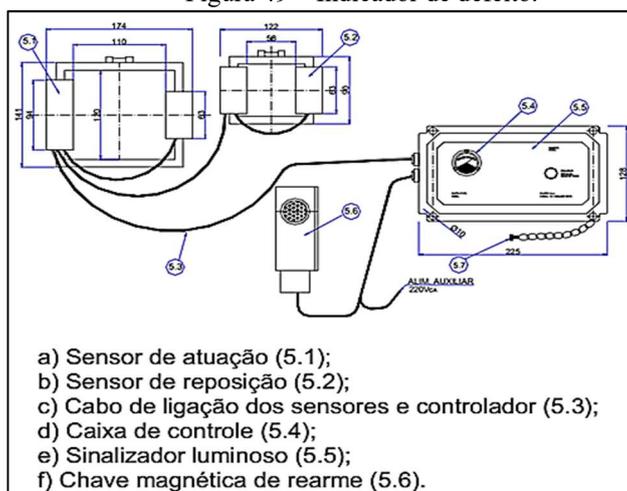
Figura 48 – Terminal desconectável ao transformador pedestal.



Fonte: GED 4101 CPFL ENERGIA, 2016, p. 69.

Os indicadores de defeito (figura 49) seguem o padrão da norma GED-4063 da CPFL ENERGIA, projetados somente nos transformadores em pedestal, para operação de curto-circuito acima de 400 A.

Figura 49 – Indicador de defeito.



Fonte: GED 4063 CPFL ENERGIA, 2012, p. 1-2.

3.4.10 Aterramento

Nas redes subterrâneas, conforme GED-4101 da CPFL ENERGIA (2016, p. 75), devem ser aterrados:

- a) As blindagens dos condutores primários em todas emendas e extremidades (terminais, emendas fixas, desconectáveis, conexões de equipamentos);
- b) Os acessórios desconectáveis (terminal descontável cotovelo e reto, terminal básico isolante);
- c) Terminal de neutro dos transformadores;
- d) Equipamentos (terminais de terra);
- e) Barramento múltiplo isolado de neutro de circuitos secundários devem ser aterrados em todas as caixas em que forem instalados.

Nota: a) Deve ser instalada haste de aterramento nestas caixas;

b) A Tampa de ferro articulada da caixa de passagem (CS-2) deve ser ligada no aterramento da mesma com condutor de cobre de 35mm². (CPFL ENERGIA, GED-4101 da, 2016, p. 75).

Assim como a CPFL ENERGIA (2016) afirma, Gava (2011) também estabelece o mesmo raciocínio:

Todas as emendas, fixas ou desconectáveis, devem ser aterradas nos poços de inspeção ou caixas de passagem que, em suas construções, devem considerar instalações de hastes de aterramento, de acordo com o especificado pela concessionária. Os transformadores em pedestal, também devem ser aterrados.

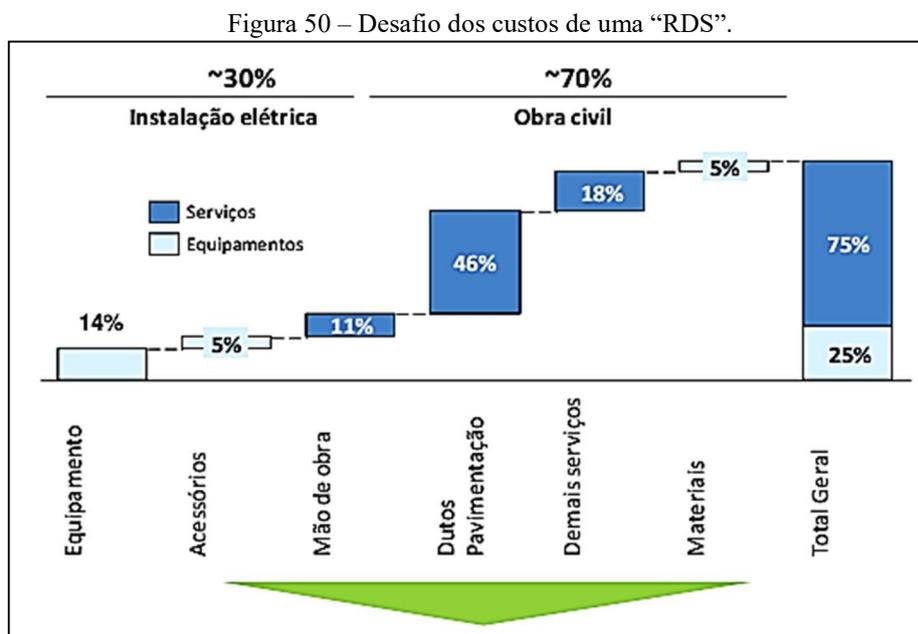
Estabelecendo que os transformadores em pedestal devam ter seus aterramentos feitos considerando seu condutor de aterramento (120 mm² de cobre, coberto), a haste (*coperweld*), o conector tipo "*wrench-lok*" e as caixas de inspeção. A resistência de aterramento admissível, tanto nos poços de inspeção como nas

instalações dos transformadores, não deverá ser superior a 25 ohms. Os quadros de distribuição também devem ser aterrados, utilizando o esquema de aterramento dos transformadores, quando localizados próximos aos mesmos. (GAVA, 2011, p.45-46).

Toda instalação elétrica deve possuir aterramento adequado de modo a assegurar uma melhor proteção do sistema, qualquer parte metálica deve ser devidamente aterrada, respeitando as normas vigentes, como a NBR 5410, que descreve claramente sobre o aterramento.

3.5 Análise da viabilidade econômica de uma rede de distribuição subterrânea

O custo final de uma “RDS” está relacionado ao projeto elétrico e ao projeto civil. De acordo com a AES ELETROPAULO (2013, p. 27), “aproximadamente 70% deste custo de conversão é relacionado às obras civis”. (Figura 51).



Fonte: AES ELETROPAULO, 2013, p. 27.

Apesar do investimento inicial ser alto em “RDS”, esse aspecto pode ser compensado pelo fato da rede está livre de danos que na maioria das vezes a rede aérea está sujeita. É o que afirma Mori (2017):

Entretanto, segundo fontes de mercado, este investimento inicial se paga em até cinco anos. Além disso, a rede subterrânea não está sujeita a efeitos externos, como chuva, poluição e colisões de veículos em postes ou na fiação aérea, o que reduz os custos de manutenção permitindo aos cabos vida útil comprovada de até mais de 40 anos. Já na opção aérea, os fatores externos levam a uma necessidade de troca de cabos em períodos de até dois anos após a instalação. (MORI, 2017, p. 02).

O investimento inicial também poderá sofrer interferências de outros agentes como a configuração da rede e a utilização dos equipamentos. Nesse sentido Gastaldello (2012) explica o seguinte:

Nos últimos anos, as redes subterrâneas têm apresentado importantes avanços para diminuição de custos, como a utilização de transformadores em pedestal, redes em covas rasas, eliminação do uso de protetores de rede através da aplicação de chaves de transferência em sistemas primários seletivos, a redução do custo dos protetores de rede com a utilização de tecnologia nacional, cabos secos, cabos de alumínio, etc. As redes aéreas, por outro lado, vêm se sofisticando, melhorando o desempenho do sistema através da utilização de novas tecnologias, o que aumenta os seus custos. Dentre essas novas tecnologias estão os religadores e os seccionadores automáticos, cabos cobertos, alimentadores compactos e para-raios de dióxido de carbono. (GASTALDELLO, 2012, p. 29).

Azevedo (2010), apresenta o mesmo raciocínio que Gastaldello:

Os maiores custos das redes subterrâneas são os representados pelos transformadores, cabos isolados, conexões da rede primária e os protetores de rede. Os protetores de rede, por sua vez, devido à falta de fabricantes nacionais e, pelos altos custos de importação tornavam proibitiva a sua aplicação. (AZEVEDO, 2010, p. 33)

Apesar das discussões a respeito do alto investimento necessário para se construir uma “RDS”, a diferença de investimento de anos atrás para os dias de hoje é evidente, o que se constata é que os valores de investimentos dependendo de como “RDS” é instalada, podem se equiparar a rede aérea. “Efetivamente, o custo das redes subterrâneas, embora superiores vêm se aproximando do custo das redes aéreas”. (GASTALDELLO, 2012, p. 28).

A tipologia de rede empregada também pode ser outro aspecto que pode definir o custo final de uma “RDS”. Os diferentes tipos de redes interferem de modo mais forte, pois uma “RDS” pode possuir seus componentes totalmente enterrados, como pode haver a opção

pelo uso de seus componentes sobre a terra, do tipo pedestal. Lima (2016), apresenta essa ideia:

As redes subterrâneas podem ter seus custos diferenciados de acordo com as suas tipologias empregadas. Podem ser definidas em: parcialmente enterradas ou totalmente enterradas em sistema radial ou reticulado. As redes parcialmente enterradas são entendidas como aquelas que possuem algum tipo de equipamento e/ou elemento tipo pedestal ou aéreo. (LIMA, 2016, p. 39).

Em 2010, a COPEL realizou um estudo comparativo dos diversos tipos de redes “RDS”, sendo elas totalmente enterradas ou parcialmente enterradas, mostrados nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Comparativo entre redes enterradas

Tipo de rede	Densidade de carga típica	Custo aproximado/Km	Custo/kV A	DEC e FEC quantitativo	Observações
Rede Reticulada ou Network	Maior que 3.000 kVA/km ou 48 MVA/km ²	R\$ 12 milhões	R\$ 800,00	0 a 0,2	Rede com câmaras subterrâneas para abrigo dos transformadores e rede de baixa tensão
Áreas urbanas – totalmente enterradas	Maior que 1.500 kVA/km ou 24 MVA/km ²	R\$ 5 milhões	R\$ 1.500,00	0,5 a 10	Tipicamente construída com cabos acomodados em dutos e equipamentos acomodados em câmaras e caixas subterrâneas

Fonte: COPEL, 2010.

Tabela 7 – Comparativo entre redes parcialmente enterradas

Tipo de rede	Densidade de carga típica	Custo aproximado/km	Custo/kVA	DEC e FEC quantitativo	Observações
Áreas urbanas com equipamentos semienterrados ou tipo pedestal	Entre 400 e 1.500 kVA/km	R\$ 3,2 milhões	R\$ 1.600,00	0,7 a 1,5	Necessidade de liberação de espaços públicos e/ou privados para a instalação de equipamentos
Áreas urbanas com equipamentos em	Entre 200 e 1.500 kVA/km	R\$ 2,5 milhões	R\$ 1.800,00	1,2 a 2,0	Necessidade de liberação de espaços públicos para a instalação de postes com equipamentos

poste					
Rede Radial com recursos para condomínios	Entre 300 e 800 kVA/km	R\$ 1,5 milhões	R\$ 2.000,00	2,0 a 2,5	Necessidade de espaços no condomínio. Tipicamente com equipamentos semienterrados ou pedestal
Rede Radial com recursos em áreas especiais (parques de preservação ambiental, ilhas etc.)	Entre 50 e 200 kVA/km	R\$ 600 mil	R\$ 3.000,00	2,2 a 2,7	É necessária a rede subterrânea por questões ambientais. Tipicamente com equipamentos semienterrados e cabos diretamente enterrados
Rede Radial com recursos em áreas especiais (parques de preservação ambiental, ilhas)	Entre 50 e 200 kVA/km	R\$ 450 mil	R\$ 2.500,00	2,5 a 3,0	É necessária a rede subterrânea por questões ambientais. Tipicamente com equipamentos semienterrados e cabos diretamente enterrados

Fonte: COPEL, 2010.

Para o estudo comparativo das redes totalmente enterradas é possível verificar que o custo de implantação da rede reticulada ou network é o dobro do custo para se implantar a rede para áreas urbanas.

Para o estudo de custo para redes parcialmente enterradas, a rede com uso de equipamentos em pedestal foi o mais caro.

Outro aspecto importante desse estudo realizado pela COPEL (2010), é que quanto maior o investimento, menor será DEC e FEC das redes. Características essas muito importantes na hora de se optar por uma “RDS”, já que futuramente os índices de confiabilidade irão ser decisivos na redução de multas pagas pelas concessionárias.

Outro levantamento de comparativo de custos sobre “RDS” foi realizado por Nakaguishi e Hermes (2011), para as redes totalmente enterradas e parcialmente enterradas, a tabela 8 abaixo, mostra os resultados obtidos.

Tabela 8 – Comparativo entre diferentes tipos de redes realizado pelo autor.

Tipo de Rede	Carga(MVA)	Custo (R\$/Km)
Rede subterrânea reticulada	48	12 milhões
	24	9,56 milhões
	12	7,83 milhões
	6	6,56 milhões

Rede subterrânea com equipamentos em pedestal	48	6,3 milhões
	24	5 milhões
	12	4 milhões
	6	3,28 milhões
	45	4,9 milhões
	30	3,92 milhões
	15	3,2 milhões
	7,5	2,64 milhões
Rede subterrânea com equipamentos em poste	40	3,83 milhões
	26	3,05 milhões
	13	2,5 milhões
	6	2,06 milhões

Fonte: Nakaguishi e Hermes, 2011.

Além das pesquisas de concessionárias, existem outras pesquisas de autores que obtiveram alguns resultados sobre o enterramento das redes e que também mostram uma variação de valores.

Sales (2014, p.03), afirma que “um recente projeto de Pesquisa e desenvolvimento estimou que o enterramento custaria cerca de R\$ 4,5 milhões por quilômetro de rede”.

Um estudo realizado por COUTO, LIMA e VELASCO (2006, p. 683), mostrou que o custo de implantação de uma “RDS”, foi em média cerca de 436.585,04 por quilometro. De acordo com o autor os valores envolveram os custos de aberturas de valas, recapeamento e todos os equipamentos utilizados. De todo o valor de investimento, cerca de R\$ 342.973,96 estão associados as obras civis, representando cerca de 78,5 % do valor total para implantar a “RDS”.

Os estudos apresentados mostram o quanto pode variar o valor final de enterramento de uma rede, porém para se escolher a melhor opção são necessários vários estudos de forma antecipada e uma conversa com todos os possíveis envolvidos

A partir dos estudos apresentados anteriormente é possível estimar que o estudo de caso trabalhado iria custar de 2 milhões a 4 milhões de reais, incluindo a parte civil e elétrica.

4. RESULTADOS OBTIDOS

A realização deste estudo possibilitou o planejamento para a confecção de um projeto elétrico de uma RDS no Campus Marco Zero do Equador em Macapá (Apêndice B), mostrando os aspectos históricos, desde o surgimento da rede no início do século XX até os principais equipamentos que envolvem uma RDS.

Durante a pesquisa foi possível mostrar as vantagens de implantação da rede, frente a rede de distribuição aérea que ainda predomina em todo o Brasil. A RDS analisada de forma correta pode transformar toda uma cidade se bem instalada,

O seu alto custo ainda é o seu maior entrave, para o investimento na rede, porém como abordado no trabalho, a diferença de custo em relação a aérea já diminuiu bastante, em relação há dez ou quinze anos atrás.

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a análise de projeto de implantação de uma rede de distribuição subterrânea na UNIFAP, em substituição de uma rede aérea convencional existente. Além disso, também contribuiu para o entendimento e aprofundamento sobre a RDS, entendendo sua importância, as maneiras de implantação e de que forma pode melhorar o desempenho e confiabilidade do sistema elétrico. Durante o trabalho foi possível realizar levantamento de campo sobre a carga do local de estudo e análise do sistema de distribuição atual aéreo. Outra análise importante foi a verificação dos projetos com os prédios existentes e futuras construções como o hospital universitário que durante a confecção deste trabalho se encontrava em andamento.

O estudo sobre o tema redes de distribuição subterrâneas vem sendo cada vez mais o centro de estudos motivados principalmente pela melhora na confiabilidade e segurança em redes de distribuição. A rede aérea atualmente muito utilizado em sua maioria em todo o Brasil, se mostra esgotado em muitos aspectos e que geram motivos de pedidos de mudanças pela população.

O objetivo geral da pesquisa foi propor um planejamento para a construção de uma rede de distribuição subterrânea de energia elétrica, descrevendo os tipos de materiais utilizados, maneiras de implantação e operação no Campus Marco Zero do Equador da Universidade Federal do Amapá, foi de fato concretizado, mediante a apresentação dos projetos básicos de implantação do sistema de distribuição elétrico, procedimentos técnicos para a realização do projeto, bem como um orçamento para implantação da rede.

O problema central da pesquisa foi encontrar um modo de planejamento para implantação da RDS, problema esse que foi respondido apresentado as fases para a realização de um projeto elétrico básico da rede.

Durante o trabalho a grandiosidade de uma RDS é constatada, pois se verifica a dificuldade de se projetar um sistema que seja todo enterrado e que seja implantado de modo que mais tarde o sistema não de despesas que não foram planejadas, já que diferente de outros sistemas a RDS implantada de forma equivocada, pode futuramente comprometer a segurança e confiabilidade, que são as características que mais se destacam nesse tipo de rede. A dificuldade para se equilibrar e planejar o sistema elétrico, com outros sistemas, como esgoto e água é muito grande, já que muitas vezes não se tem disponível as plantas de todos os sistemas que estão enterrados no local, problema esse que pode ser resolvido com uma

conversa com todos os envolvidos, o que na maioria dos casos normalmente não é possível devido a falta de acesso aos responsáveis.

O observador foi o principal instrumento de pesquisa utilizado, para obter os dados necessários para a pesquisa. Em loco, foram observados dados de carga, o perímetro que seria estudado para o projeto. Fotos do local foram também analisadas, mapas e projetos em CAD disponibilizados pela UNIFAP, ajudaram a ter uma ideia do que iria ser realizado. Para análise dos dados foram feitos diagramas, quadros e tabelas para melhor compreensão. O software AUTICAD, foi utilizado para confeccionar o projeto final da RDS, necessário para amostra final de que a execução final do projeto foi efetivada.

Entre as dificuldades encontradas, o acesso as informações de carga da UNIFAP e mapas da área de estudo foram determinantes para a conclusão da pesquisa, já que a instituição demorava a responder as solicitações, principalmente nas atualizações de informações de carga, já que muito tempo foi gasto para a confecção de toda a pesquisa. A procura de material específico foi um dos maiores problemas, já que a falta de desse material, dificultava a compreensão sobre os diversos aspectos da RDS. Atualmente existe somente um livro em língua portuguesa, que trate de maneira específica sobre o tema, lançado em 2016. Outros conteúdos como TCC's que foram disponibilizados em 2017 e 2018 ajudaram a finalizar a pesquisa por ter a mesma direção de pesquisa. Porém a dificuldade para compreender o tema é grande, já que existe uma grande complexidade envolvida sobre o tema, já que muitos agentes estão envolvidos para implementar o projeto e tempo é necessário para que um projeto de grande porte é necessário.

A pesquisa foi direcionada inteiramente para a confecção de um projeto elétrico de uma RDS, sendo que a estrutura civil, primordial para a rede, não foi projetada para este trabalho, contudo foi abordado os principais elementos que envolvem a rede civil. Posteriormente um estudo poderá ser desenvolvido para estrutura civil desta pesquisa, e assim complementar a ideia desta monografia. O estudo se centrou em uma parcela do local de estudo, desta forma os próximos estudos poderão focados em todo o espaço da UNIFAP, já que novos prédios foram construídos durante a execução desta pesquisa. Ou mesmo um estudo mais complexo de ambos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia Civil podem ser executados para esta área. Uma ideia que poderia ser analisado para o curso de Engenharia Elétrica, seria a implementação de cursos, seminários e incentivos voltados para a RDS, sendo esta pesquisa a pioneira no ramo da RDS na UNIFAP.

BIBLIOGRAFIA

ABRADEE. **Visão Geral do Setor.** Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setoreletrico/visao-geral-do-setor>>. Acesso em: 10 de setembro de 2017

ABRADEE - Associação Brasileira de Energia Elétrica. 2017. Disponível em: <http://www.abradee.com.br>. Acesso em: 20 jan. 2017.

AES ELETROPAULO – ELETRICIDADE DE SÃO PAULO. Aplicação Prática de Indicadores de Falha em Redes Subterrâneas da AES ELETROPAULO. In: Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, 19. São Paulo: SENDI, 22-26, nov. 2010. **Anais...** p. 1-6. Disponível em: <http://www.cgti.org.br/publicações/wp-content/uploads/2016/03/Aplicac%CC%A7a%CC%83o-Pra%CC%81tica-de-Indicadores-de-Falta-em-Redes-Subterra%CC%82neas-da-AES-ELETROPAULO.doc>. Acesso em: 04 ev. 2017.

AMORIM, A.A; BARBOSA, D.M.J; ZUBEN, F.V. Análise da Implantação de Fiação Subterrânea na Unicamp. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**. Campinas. V.6, n.1, p. 24-27, junho.2010. Disponível em: <>. Acesso em: 27 set. 2014.

ANEEL, 2010. Resolução Normativa n.º 414, de 09 de setembro de 2010. **Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 set. 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 04/07/2015.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Aprovado Aprimoramento sobre Investimentos em Redes Subterrâneas**. 18 nov. 2016. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aprovado-aprimoramento-sobre-investimentos-em-redes-subterraneas/656877/pop_up?_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_viewMode%3Dprint%26_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_languageId%3Dpt_BR&ei=fjbmeFop&lc=pt-BR&s=1&m=17&host. Acesso em: 27 jan. 2017.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional– PRODIST**. Versão de 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82>. Acesso em: 20 fev. 2015.

ARAÚJO, A.N. **Análise do Trabalho em Espaços Confinados: O Caso da Manutenção de Redes Subterrâneas**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/>. Acesso: 26 out. 2016.

AZEVEDO, F.H. **Otimização de Rede de Distribuição de Energia Elétrica Subterrânea Reticulada através de Algoritmos Genéticos**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/bitstream/handle/1884/24884/DISSERTACA>

[%20FERNANDO%20AZEVEDO%202010.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#). Acesso em: 10 junho 2015.

BARRETO, G.A. **Estudo de Viabilidade de um Sistema de Monitoramento de Baixo Custo para os Sistemas de Distribuição Reticulados Subterrâneos**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-05102010-161547/publico/Gustavo_A_Barreto_mestrado.pdf. Acesso em: 20 jan. 2017.

BOCCUZZI, C. V. et al. **Implantação de Redes Subterrâneas em Condomínios Residencial**. Eletricidade Moderna, v. 25, n. 275, p. 90 -100, 1997.

BOTELHO, S; CORRÊA, U.; ESTRADA, E; OLIVEIRA, V; SILVEIRA, L. **Arquitetura de Navegação Autônoma de Linhas Subterrâneas de Distribuição de Energia**. Vetor, Rio Grande, v.18, n.1, p. 32-45,2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Silvia_Botelho/publication/229519216_Arquitetura_de_navegacao_autonoma_de_linhas_subterraneas_de_distribuio_de_energia/links/0a85e53288f955b2ac000000.pdf. Acesso em: 08 out. 2014.

BRÁZ, NELSON MIGUEL CALDEIRA. **Intervenção em Redes Elétricas de Distribuição de Energia**. 91 f. Relatório de Estágio (Mestrado em Engenharia Elétrica), Instituto Superior de Engenharia, Coimbra, 2011. Disponível em: http://www.files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/teses/Tese_Mest_Nelson-Bras.pdf. Acesso em: 07 jan. 2019.

BRUNHEROTTO, P. A.; OLIVEIRA, J. J. S., 2013. **Redes Subterrâneas no Mundo - História e Números**. Disponível em: http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed84_fasc_redes_subterraneas_cap1.pdf. Acesso em: 23 out. 2016.

CABRAL, S.H.; PEREIRA, E.; ULIANA, P. **Monitoramento de Transformadores de Rede Subterrânea de Distribuição**. Revista O Setor Elétrico. Ed. 52. Maio de 2010. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/2016/2010/06/11/monitoramento-de-transformadores-de-rede-subterranea-de-distribuicao/>. Acesso em: 27 jan. 2017.

CAVALCANTE, FÁBIO ROCHA. **Estudo de viabilidade técnico-econômico da qualidade de fornecimento de energia elétrica para a Vila de Jericoacoara**. 187 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação), Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2018. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/35056/1/2018_tcc_frcavalcante.pdf. Acesso em: 24 nov. 2018.

CEB – Companhia Elétrica de Brasília. Procedimentos para Operação do Sistema Subterrâneo 13,8/0, 380-0, 220 KV. 1º edição. 2013. 108 f.

COPEL – COMPANHIA PARAENSE DE ENERGIA. **Utilização e Aplicação de Redes de Distribuição Subterrâneas**. 1º edição, 2010. 48 p. Disponível em: <http://www.copel.comhpcopel/root/sitearquivos2>. Acesso em: 02 out. 2014.

CORREIA, T. S. **Aspectos Econômicos e Ambientais da Implantação de Redes Subterrâneas de Energia Elétrica**. 72 f. Monografia (Especialização em Gerenciamento Ambiental), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP, São Paulo, 2016. Disponível em: http://escolasuperior.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/60/2016/06/Talita-de-Souza-Correia_Aspectos-eco%C3%B4micos-e-ambientais-da-implanta%C3%A7%C3%A3o-de-redes-subterr%C3%A2neas-de-energia-el%C3%A9trica.pdf. Acesso em: 11 mar. 2017.

COSSI; A.M.; GOUVEIA, B.M. Um Estudo Sobre Redes Subterrâneas de Distribuição de Energia Elétrica. **An. Sciencult**, Paranaíba, v.4, n.1, p.29-36. 2012. Disponível em: <https://anaisonline.uems.br/index.php/sciencult/article/viewFile/3486/3459>. Acesso em: 08 mar. 2017.

COUTO, H.T.Z; LIMA, A.M.L.P; VELASCO, G.D.N. Análise Comparativa dos Custos de Diferentes Redes de Distribuição de Energia Elétrica no Contexto da Arborização Urbana. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.4, p. 679-686, abr. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n4/31690>. Acesso em: 15 maio 2015.

CPFL ENERGIA. **Manual de Conversão de Redes de Distribuição Aéreas em Subterrâneas em Locais Urbanizados**. 255 f. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: https://www.cpfl.com.br/energias-sustentaveis/inovacao/projetos/Documents/MANUAL%25202016_CPFL.pdf. Acesso em: 10 mar. 2017.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 10ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CUNHA, A.P; VAZ, L.E.P. **Redes de Distribuição Subterrâneas de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: Synergia Editora, 2014. 228 p.

CUNHA, João. **Redes Subterrâneas: A Implantação Correta e Segura de Redes Subterrâneas no Brasil**. Nexans. p. 1-4. Disponível em: http://www.nexans.com.br/Brazil/2016/20160719_Nexans_ArtigoRedesSubterrâneas.pdf. Acesso em: 19 jul. 2016.

DIAS, D.S.; SILVA, M.F. Como Escrever Uma Monografia: Manual de Elaboração com exemplos e exercícios. 1ª edição. São Paulo: Atlas, 2010. 152 f.

DOULET, A. **Distribuição de energia elétrica e redes subterrâneas – Cabos`09**, 3 de outubro de 2009. Disponível em: http://www.jicable.org/Other_Events/cabos09/content/Cabos'09%20P1.0.P.pdf. Acesso em: 08 out. 2014.

ENGEPARC ENGENHARIA LTDA. **Arranjos de sistemas de distribuição elétrica para instalações de médio e grande portes**. Disponível em: http://www.engeparc.com.br/cariboost_files/7-Sistemas_Distribuicao.pdf. Acesso em: 04 mai 2019.

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-20102010-165349/publico/Dissertacao_Fabio_Gabriel_Oliveira.pdf. Acesso em: 17 jul. 2016.

Evento AGERGS: Encontro Estadual de Qualidade de Energia, 1, 2013, Rio Grande do Sul. **Expansão do Sistema Subterrâneo no País**. Brasília: AES ELETROPAULO, 2013. 31 p. Disponível em: http://www.agergs.rs.gov.br/upload/AESSul_03_IEncEstQualidadeEnergia.pdf. Acesso em: 20 set. 2016.

ENERCOM – Materiais Elétricos. Disponível em: <http://www.enercom.com.br>. Acesso em: 01 mai. 2017.

ELETROPAULO – ELETRICIDADE DE SÃO PAULO. **Desenvolvimento de Padrões para Redes Subterrâneas Híbridas**. São Paulo. 2001/2002. f. 53. Disponível em: <http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/2008111741304-55.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

Especificação técnica - Religadores automáticos para subestações. 22.000- PE/LS 5594b. Disponível em: <http://www.celesc.com.br>. Acesso em: 30 dez. 2018.

Especificação técnica – Projeto e construção de rede distribuição subterrânea. ES.PN.03.09.0001. Disponível em: <http://www.edp.com.br>. Acesso em: 20 jun. 2018.

FERNANDES, M.A. **Estudo Comparativo Técnico/Financeiro entre Linhas de Transmissão Aéreas e Subterrâneas, em Grandes Centros Urbanos**. 126 f. Trabalho de Graduação (Engenharia Elétrica), Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2003. Disponível em: http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/engenharia/tcc/estudo_linhas_aereas_sub_2003.pdf. Acesso em: 20/11/2016.

FILHO, J. M. **Instalações Elétricas Industriais**. 9º Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

GARCIA, D.A.A. **Metodologia de Diagnóstico Automático de Falhas de Curto Circuito em Alimentadores Primários de Sistemas de Distribuição Reticulados tipo Spot**. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-11122006-140213/publico/DouglasDeAlexandreGarcia.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2017.

GASTALDELLO, D. S. Estudo Computacional de Localização de Faltas em Redes Subterrâneas de Distribuição de Energia Elétrica. In: Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações, 10. São Paulo: DINCON, 28-1, ago. / set. 2011. **Anais...** p. 611-614. Disponível em: <http://www.sbmec.org.br/dincon/2011/files/articles/156.pdf>. Acesso em: 08 out. 2014.

GASTALDELLO, D. S. **Metodologia de Localização de Defeitos em Redes Subterrâneas Integrado PSCAD/EMTDC e Sistemas Inteligentes**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru, 2012. Disponível em: <http://www.sbmec.org.br/dincon/2011/files/articles/156.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2017.

GAVA, P. **Benefícios da Rede de Distribuição Subterrânea**. 64 f. Trabalho de Graduação (Engenharia Elétrica), Universidade São Francisco, Itatiba, 2011. Disponível em: <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2089.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2017.

GOMES, WILLIAM MOREIRA; INÁCIO, EDUARDO CLASEN. **Redes de Distribuição Subterrâneas de Energia Elétrica: Comparativo entre os requisitos das concessionárias CELESC D, CPFL ENERGIA e CEMIG D utilizando os modelos BIM**. 154 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação), Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2018. <http://www.riuni.unisul.br/handle/12345/5248>. Acesso em 01 out 2018.

GOOGLE. **Google Imagens**. Disponível em: <http://www.google.com.br>. Acesso em: 25 abril 2017.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <http://www.googleearth.com.br>. Acesso em: 15 mar. 2017.

GOUVÊA, M. R.; BELVEDERE, E. C.; OLIVEIRA, J.J.; MASCIGRANDE, P.E.; BRUNHEROTO, A.P.; COSTA, R.F. Desenvolvimento de Padrões para Redes Subterrâneas Híbridas. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/desen_redes.pdf. Acesso em: 20 jan. 2017.

IEEE Std. C57.12.44 (2014) - IEEE Standard Requirements for Secondary Network Protectors.

Instalações elétricas em redes subterrâneas. **Revista O setor elétrico**. Junho de 2018. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/instalacoes-em-redes-subterraneas/>. Acesso em: 07 jan. 2019.

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C.C.B.; ROBBA, E.J. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. 2º ed. Revisada. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

KINDERMANN, G. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 2. ed. do Autor. Florianópolis, 2014.

LANDMAN, R. L. **Underground secondary AC networks, a brief history**. New Jersey, 2007.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos da metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LIMA, A.D.B. **Estudo da Viabilidade de Implantação das Redes de Distribuição Subterrâneas: Aspectos Gerais e Ambientais**. 60 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/140203/000866782.pdf>. Acesso em: 26 out. 2016.

LIGHT. **Rede de Distribuição Subterrânea**. Abril de 2011.

LIGHT. **Especificação para Projetos e Construção de Infraestrutura Civil da Rede de Distribuição Subterrânea (Câmaras, Cabines, Caixas e Dutos)**. 27 f. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.light.com.br/Repositorio/PROCT%20-%202014.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2017.

LMDM Consultoria Empresarial. **Estudo: A Transformação das Redes de Distribuição de Energia Aéreas em Subterrâneas**. 24 f. Curitiba, 2011. Disponível em: <http://www.lmdm.com.br/wp-content/uploads/2014/10/Estudo-RedesA%C3%A9reas-x-Subterr%C3%A2neas.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2015.

MALAGOLI, C.V.S. **Redes subterrâneas em loteamentos e condomínios particulares**. Disponível em: http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed89_fasc_redes_subterraneas_cap6.pdf. Acesso em: 26 out. 2016.

MARTINS, J. Por Baixo da Terra. **Revista O Setor Elétrico**, abril de 2012. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-empresa/842-por-baixo-da-terra.html/>. Acesso em: 20 set. 2016.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2010.

Martins, Gilberto de Andrade. **Estudo de caso: Uma estratégia de pesquisa**. São Paulo: Atlas. 2006.

MIT – 163808 DA COPEL - Atividades de Construção e Projeto de Redes de Distribuição Subterrâneas. Disponível em: <http://www.copel.com>. Acesso em: 28 jun. 2017.

MOREIRA, B. Rede da Discórdia. **Revista O Setor Elétrico**. Novembro de 2016. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/2016/2016/11/10/rede-da-discordia/>. Acesso em: 05 fev. 2017.

MORI, M. Cabos Subterrâneos: Uma Questão de Eficiência e Não Apenas Estética. **Revista O Setor Elétrico**. Janeiro de 2017. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/2016/2016/11/10/rede-da-discordia/>. Acesso em: 27 jan. 2017.

NAKAGUISHI, M.I; HERMES, P.D. **Estudo Comparativo Técnico/Financeiro para Implantação de Redes de Distribuição Subterrâneas**. 100 p. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.2011. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/199.pdf>. Acesso em: 07 out. 2014.

NBR 14039.2005 - **Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV**. ABNT, maio de 2005.

NBR 6251.2013 – **Cabos de Potência com Isolação Extrudada para Tensões de 1 KV a 35 KV**. ABNT.

NBR

ND – 2.3 da CEMIG – Instalações Básicas de Redes de Distribuição Subterrânea. Disponível em: <http://www.cemig.com.br> . Acesso em: 28 jun. 2017.

ND - 3.3 da CEMIG – Projetos de Redes de Distribuição Subterrâneas. Disponível em: <http://www.cemig.com.br> . Acesso em: 28 jun. 2017.

ND – 3.4 da CEMIG – Iluminação pública. Disponível em: <http://www.cemig.com.br> . Acesso em: 27 Dez. 2018.

ND – 5.3 da CEMIG - **Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão Rede de Distribuição Aérea ou Subterrânea.** Disponível em: <http://www.cemig.com.br> . Acesso em: 30 Dez. 2018.

NEVES, D.V.S; SANTOS, K.C.B.A. **Redes Elétricas Subterrâneas em Condomínio de Médio Porte na Cidade de Vitória da Conquista, Bahia: um estudo de caso.** C&D-Revista Eletrônica da Fainor, Vitória da Conquista, v.8, n.2, p.158-168, jul. / dez. 2015. Disponível em: <http://srv02.ainor.com.br/revista/index.php/memorias/article/download/391/255>. Acesso em: 05 fev. 2017.

NOGUEIRA, J.F.S. **Comissionamento de Cabos Subterrâneos de Média Tensão em Parques Eólicos.** 74 p. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica), Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2010. Disponível em: <http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2010.1/JORGE%20FELIPE%20NOGUEIRA.pdf>. Acesso em: 07 out. 2014.

Norma Técnica - ES.PN.03.09.0001 - **Projeto e Construção de Distribuição Subterrânea.**2012. Disponível em: <http://www.bandeirante.com.br>. Acesso em: 22 mar. 2017.

Norma Técnica – 35 da CELG - **Projetos de Redes de Distribuição Subterrâneas.**2015. Disponível em: <https://www.celg.com.br>. Acesso em:23 jun. 2017.

Norma Técnica – 155019 da CEMAR - **Projetos de Redes de Distribuição Subterrâneas.**2012. Disponível em: <http://www.cemar116.com.br>. Acesso em:22 mar. 2017.

Norma Técnica – RDS – Rede de Distribuição Subterrânea para Condomínios – Projeto Elétrico – GED 4101. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em:13 agos. 2017.

Norma Técnica – RDS – Rede de Distribuição Subterrânea para Condomínios - Projeto Civil (S) – GED 4102. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em:28 jun. 2017.

Norma Técnica – RDS – Rede de Distribuição Subterrânea - Simbologia para Projeto (S) - GED 4103. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 28 jun. 2017.

Norma Técnica – Fornecimento em Tensão Secundária de Distribuição - Ramal de Entrada Subterrâneo - GED 10126. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 28 jun. 2017.

Norma Técnica – Rede de Distribuição Subterrânea para Loteamento Aberto - Projeto Elétrico (S) - GED 16991. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 28 jun. 2017.

Norma Técnica - Acessórios Isolados Desconectáveis para Cabos de Potência nas Tensões de 15 e 24.2 kV (S) - GED-4004. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 02 jan. 2019.

Norma Técnica - Indicador de Defeito em Média Tensão Classes 15 e 24.2 kV (S) - GED-4063. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 02 jan. 2019.

Norma Técnica – Chave Seccionadora Tripolar para Quadro de Distribuição e Proteção - GED-3901. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 02 jan. 2019.

Norma Técnica – Fusível Tipo NH para Quadro de Distribuição e proteção - GED-3902. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 02 jan. 2019.

Norma Técnica – Quadro de Distribuição e Proteção – QDP - Padronização - GED-3826. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 02 jan. 2019.

Norma Técnica – Transformador de Distribuição Trifásico Pedestal - GED-3824. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 02 jan. 2019.

Norma Técnica – Transformador de Distribuição Trifásico Pedestal - Padronização - GED-3825. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 02 jan. 2019.

Norma técnica – Postes de concreto armado para redes de distribuição - E-313.0010 .Disponível em: <http://www.celesc.com.br>. Acesso em: 30 dez. 2018.

Norma Técnica - Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição- N-321.0001. Disponível em: <http://www.celesc.com.br>. Acesso em: 30 dez. 2018.

NTD-04 – da CEA - Critérios para projetos de redes aéreas urbanas Convencionais (redes aéreas nuas). Disponível em: <http://www.cea.com.br>. Acesso em: 15 jul. 2015.

NTD - 1.04 da CEB – Critérios de Projeto e Padrões de Construção de Rede de Distribuição Subterrânea. Disponível em: <http://www.ceb.com.br> . Acesso em: 28 jul. 2017.

NTD - 3.02 da CEB- Especificações de Transformadores para o Sistema Subterrâneo. Disponível em: <http://www.ceb.com.br>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

NUNES, N.S. **Cálculo de Parâmetros de Cabos Subterrâneos para Redes de Distribuição**. 82 f. Dissertação (Engenharia Eletrotécnica e de Computadores), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007. Disponível em: <http://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137444420/dissertacao.pdf>. Acesso em: 08 out. 2014.

OLIVEIRA, F.G. **Estudo de Instalações de Linhas Subterrâneas de Alta Tensão com Relação a Campos Magnéticos**. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica),

Orientação Técnica - Fornecedores de Materiais para Redes Subterrâneas (S) - GED 5551. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 28 jun. 2017.

Padrão Técnico - Estruturas Básicas para Rede de Distribuição Subterrânea - Montagem (S) - GED 4104. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 28 jun. 2017.

Padrão Técnico - Instalações Elétricas para Rede de Distribuição Subterrânea - Montagem (S) - GED 4105. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 28 jun. 2017.

Padrão Técnico - Obras Civas para Rede de Distribuição Subterrânea - Montagem (S) - GED 4106. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 28 jun. 2017.

Padrão Técnico - Barramento Isolado 0.6Kv - GED 3877. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 28 jun. 2017.

PAULINO, M. E. C. **Princípios Básicos de Transformadores de Potência**. Disponível em: http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/ed-96_Fasciculo_Cap-I-Manutencao-de-transformadores.pdf. Acesso em: 15 mar. 2017.

PIRELLI. Fios e Postes desapareçam! **Revista Pirelli Club**. n.12, p. 8-12. 2000. Disponível em: http://www.prysmianclub.com.br/revista/PClub_12/materia_de_capa.htm. Acesso em: 07. Mai. 2015.

PRODANOV, C. C. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico** / Cleber Cristiano Prodanov, Ernani Cesar de Freitas. – 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SALES, Claudio. **A complexidade do enterramento de fios**. Canal energia. Dezembro de 2014. Disponível em: http://www.acendebrasil.com.br/media/artigos/20141215_CanalEnergia_Acomplexidadedoenterramentodefios.pdf. Acesso em: 27 set. 2016.

SANTOS.J.S. **Adequação do Sistema de Distribuição Subterrâneo de Porto Alegre (Transferência dos Consumidores da Rede Velha de BT para o Sistema Network de Distribuição Subterrâneo de Porto Alegre)**. 140 f. Projeto de Diplomação (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2010. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/33044/000788206.pdf>. Acesso em: 27 set. 2014.

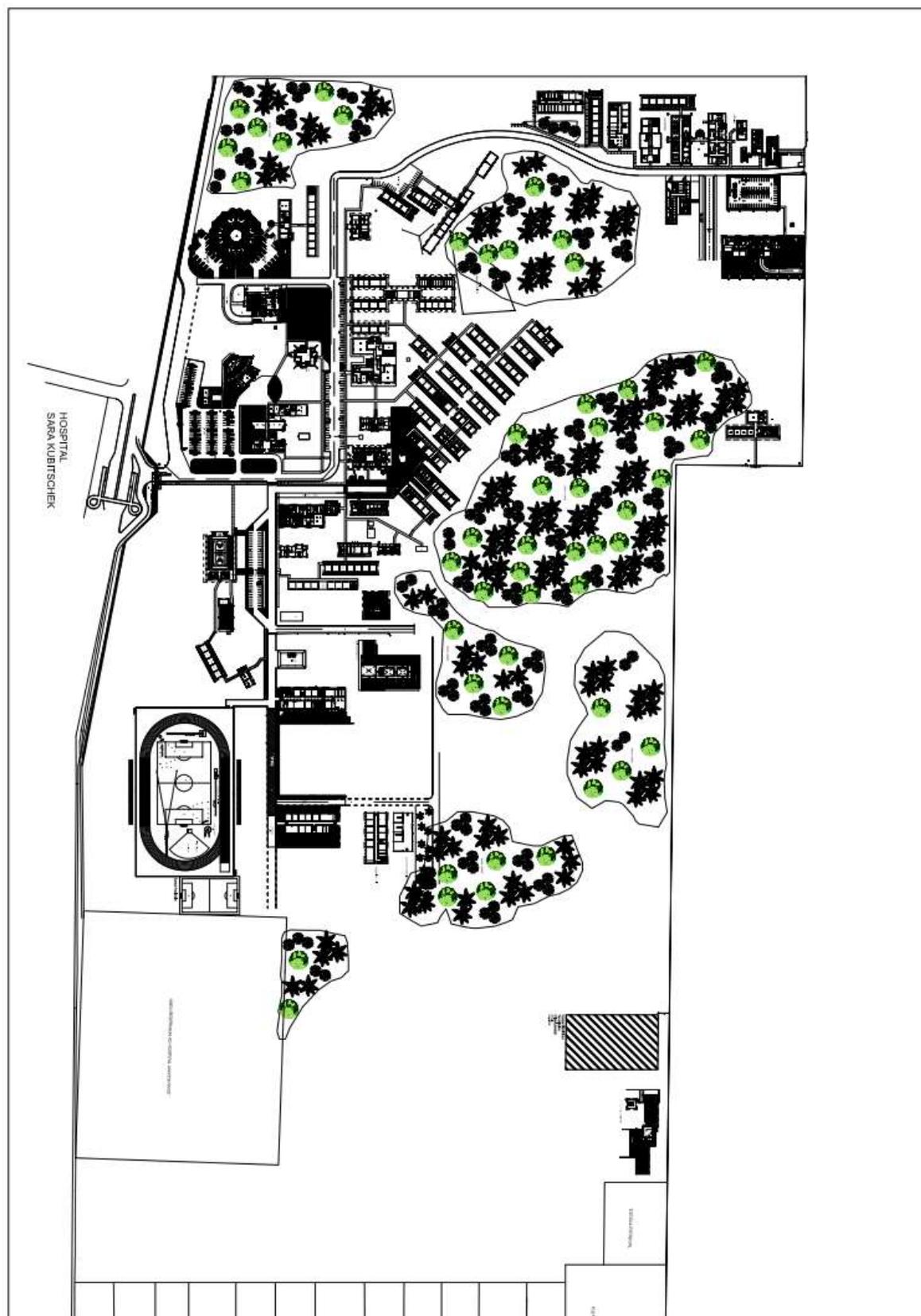
Sistemas Subterrâneos de Distribuição: aspectos regulatórios. Desenvolvido por Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Palestra_5_CEMIG.pdf. Acesso em 29 nov. 2015.

VELASCO, G.D.N. **Arborização Viária x Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica: Avaliação dos Custos, Estudo das Podas e Levantamento de Problemas Fitotécnicos**. 117 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em:

http://www.uesb.br/flower/alunos/pdfs/arborizacaoviaria_rede%20eletrica.pdf. Acesso em: 08 out. 2014.

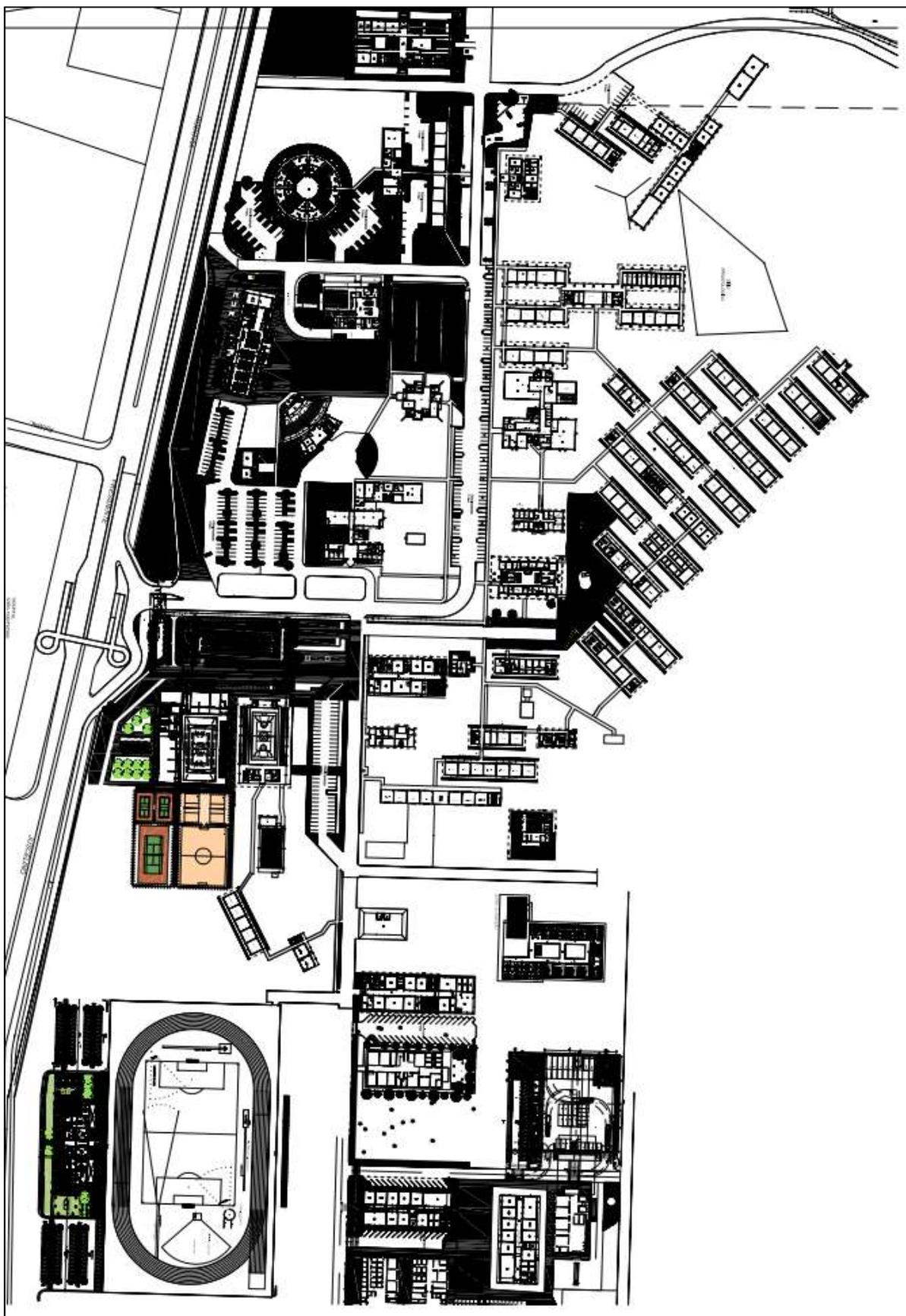
YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ANEXO A – PLANTA BAIXA DA UNIFAP.



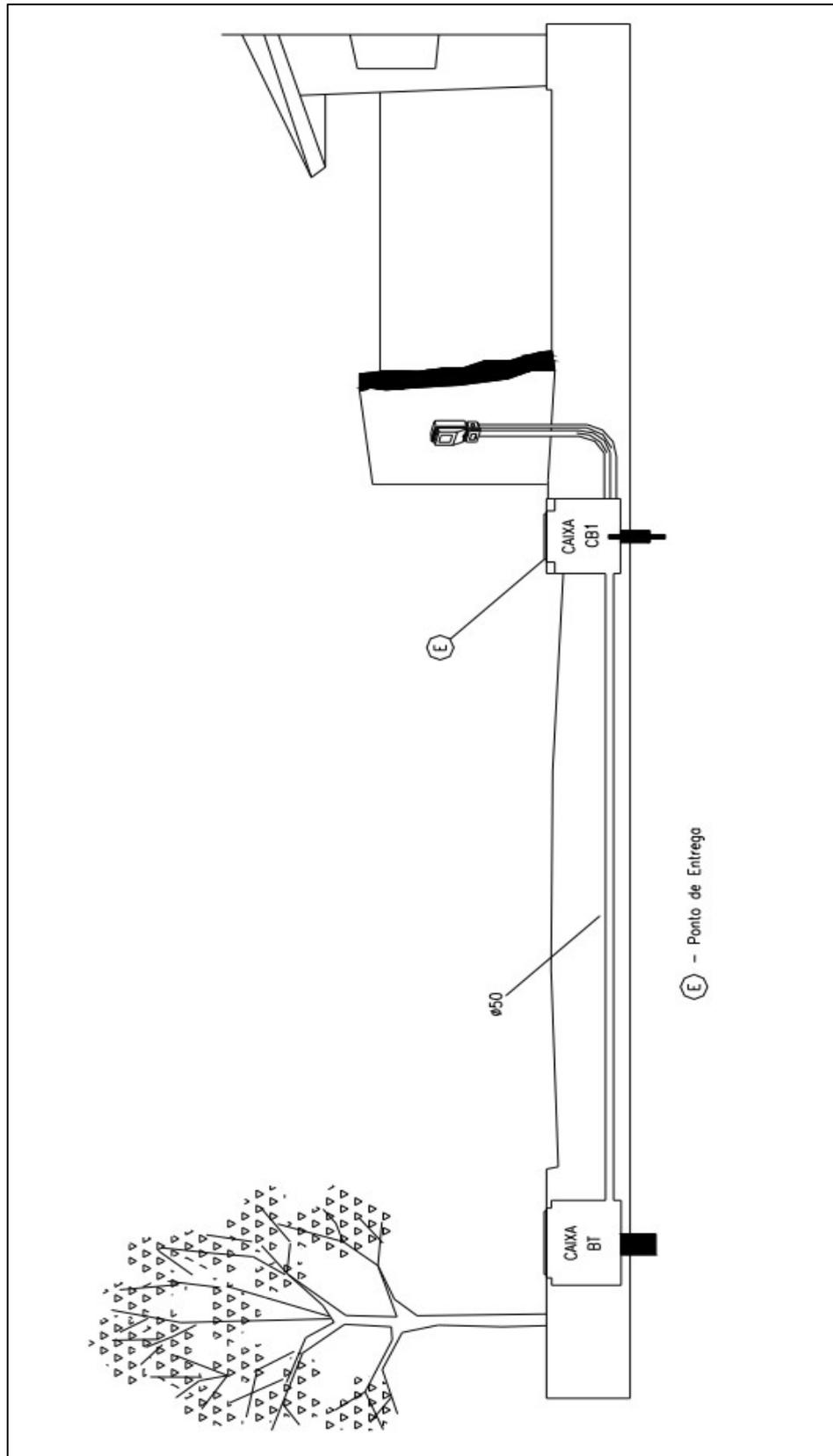
Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ, 2019.

ANEXO B – PLANTA DE PLANEJAMENTO DA UNIFAP.



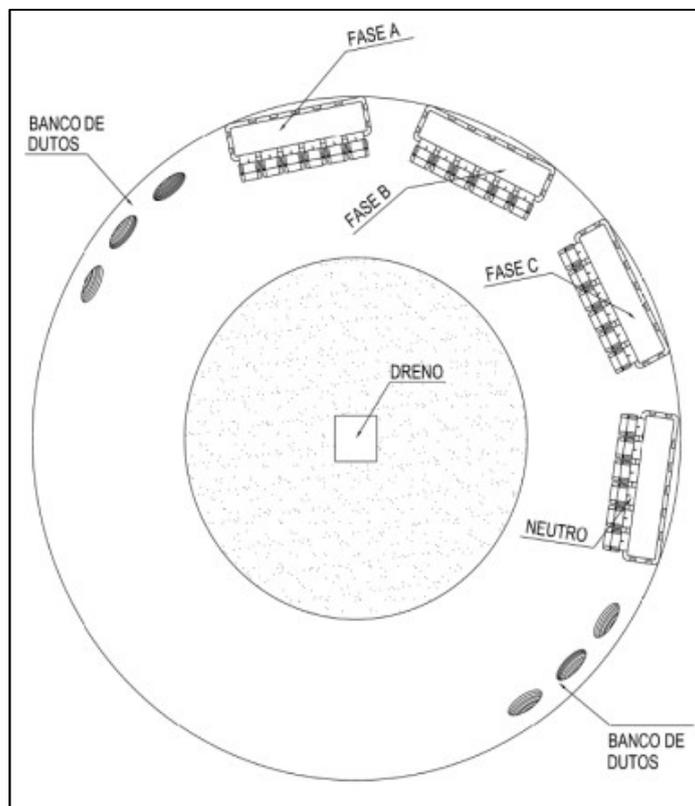
Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ, 2019.

ANEXO D – RAMAL DE ENTRADA SUBTERRANEO



FONTE: NT.15.019 CEMAR, 2012, p.71.

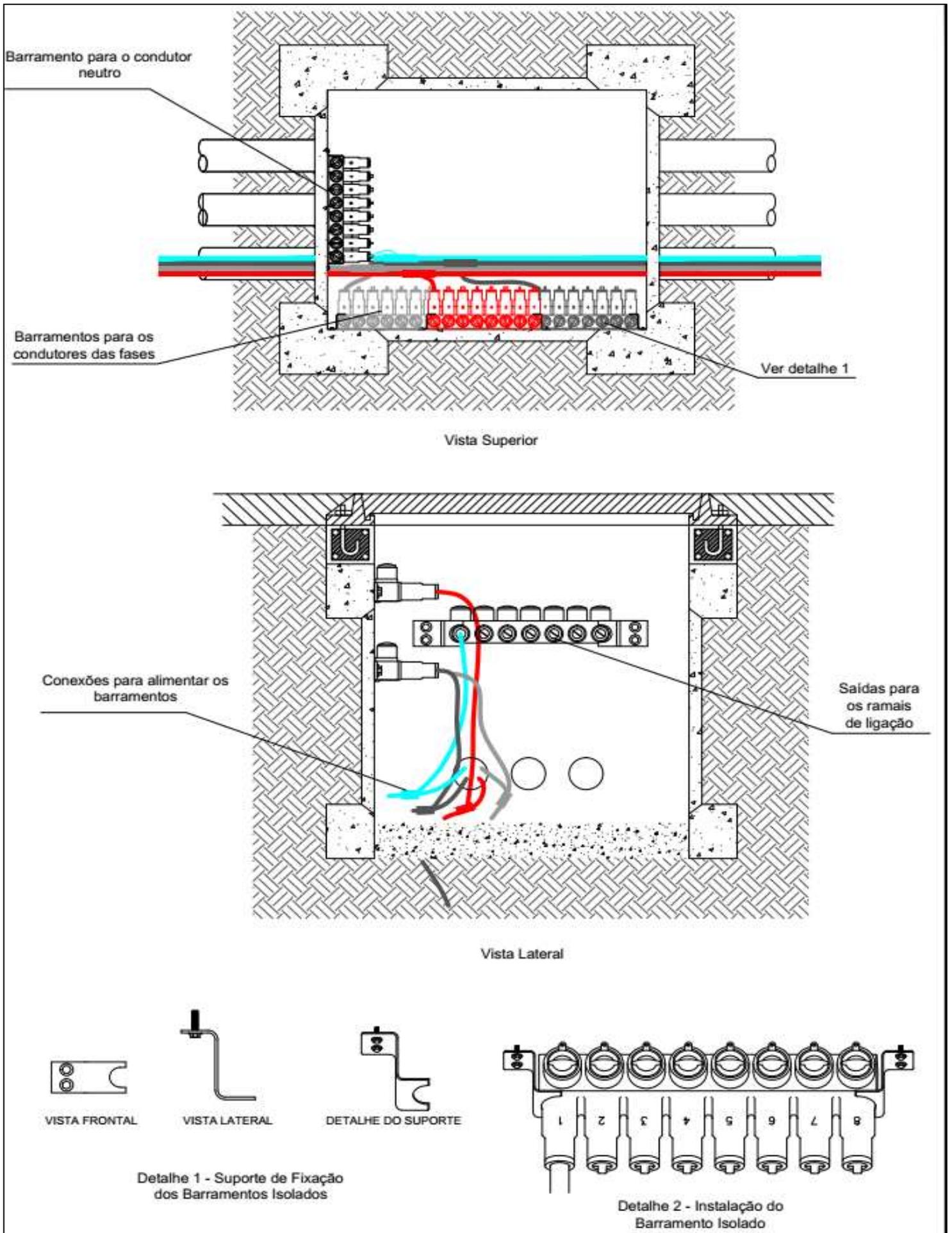
ANEXO E- INSTALAÇÃO DO BMI COM 4 SAÍDAS NA CAIXA DE INSPEÇÃO.

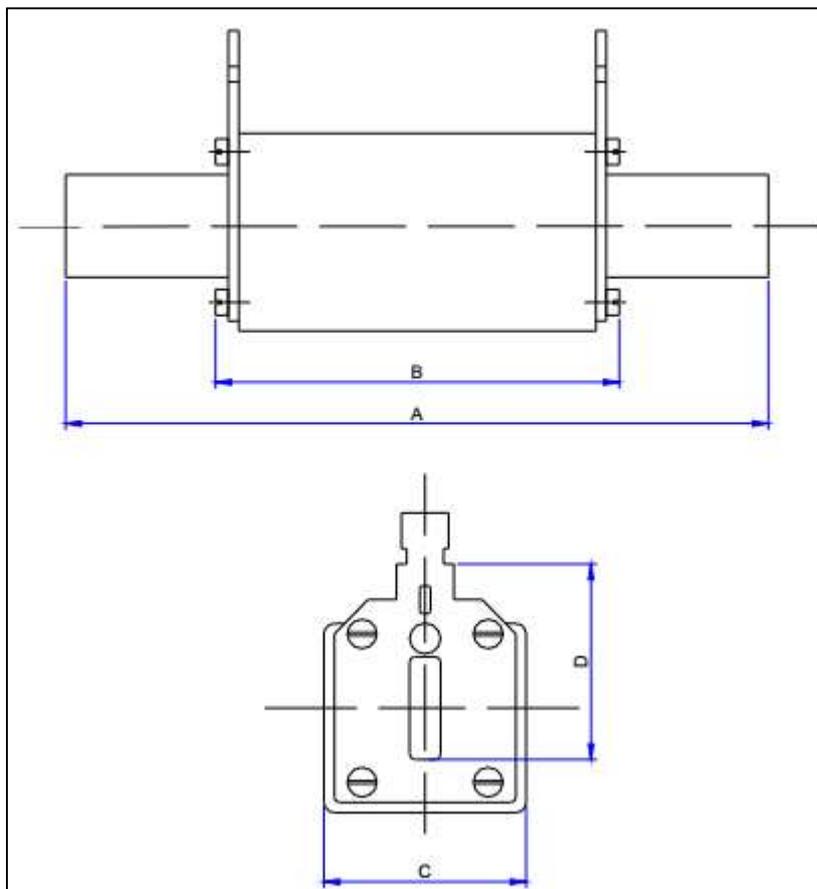


Fonte: NTD - 1.04 da CEB distribuição, 2014, p. 77.



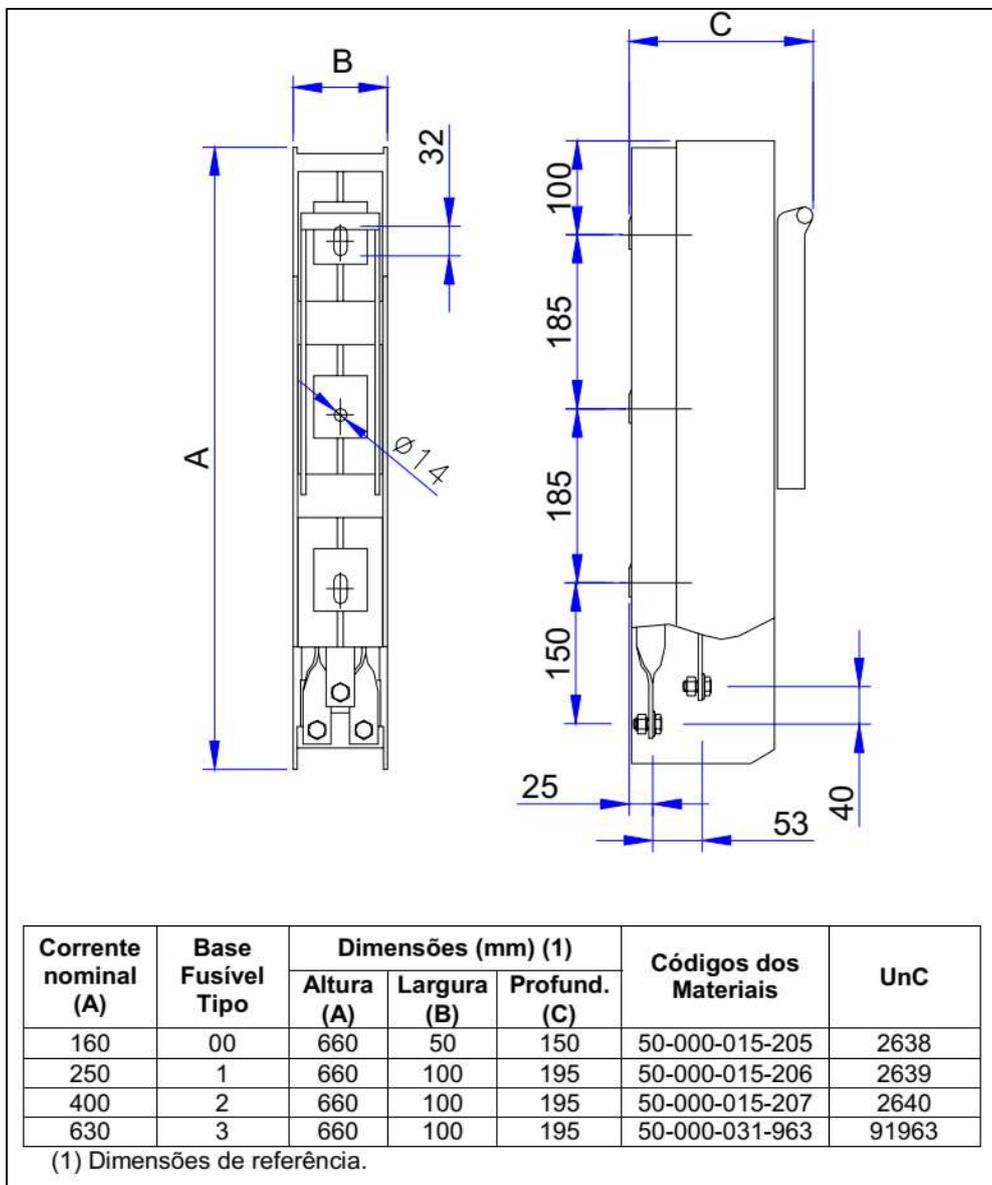
Fonte: www.enercom.com.br, 2019.



ANEXO G – FUSÍVEL DO TIPO NH.

Fonte: GED 3902 CPFL ENERGIA, 2014, p. 03.

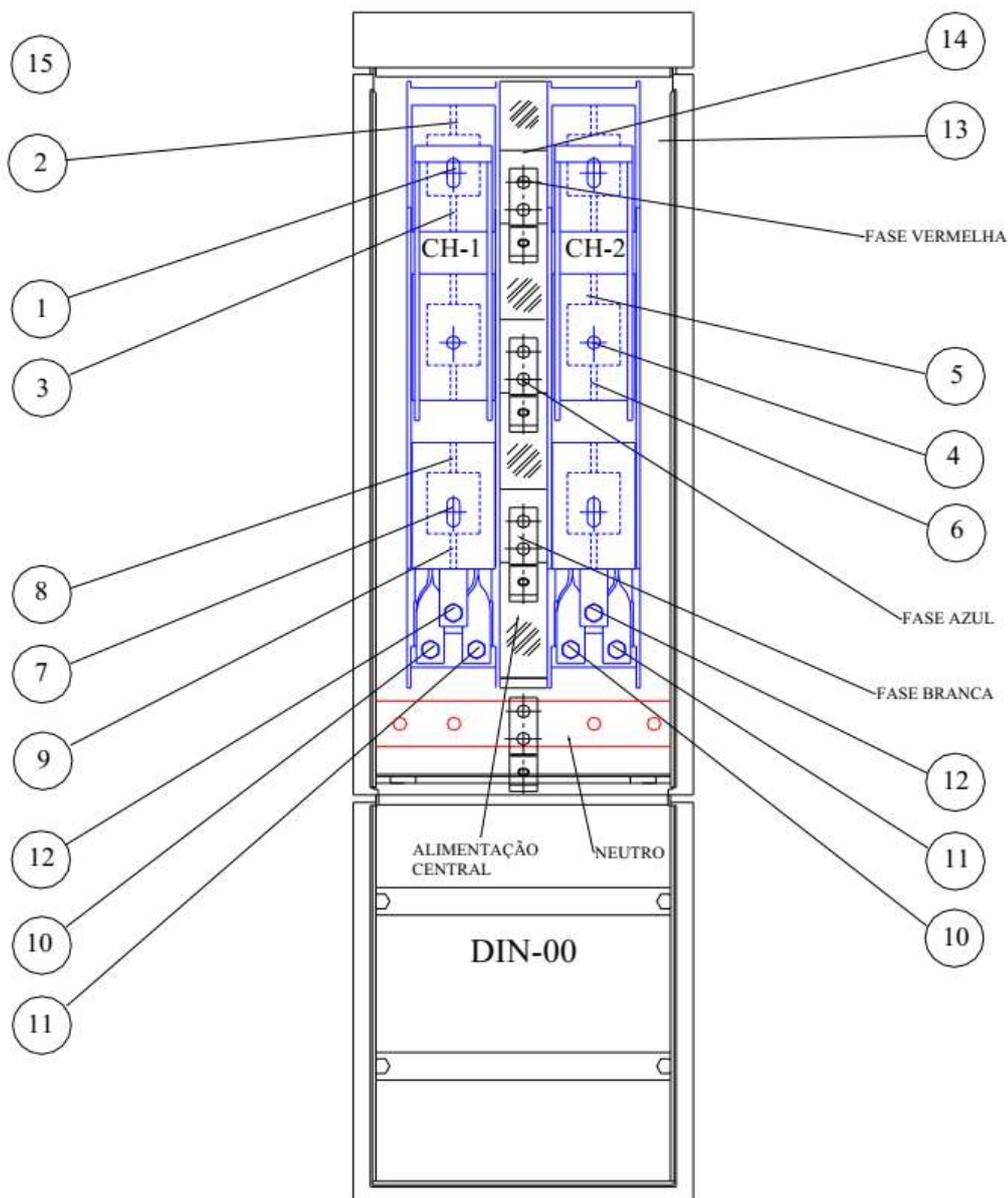
ANEXO H – CHAVE SECCIONADORA TRIPOLAR PARA QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO E PROTEÇÃO.



Fonte: GED 3101 CPFL ENERGIA, 2012, p.03

ANEXO I – QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO, TIPO DIN-00.

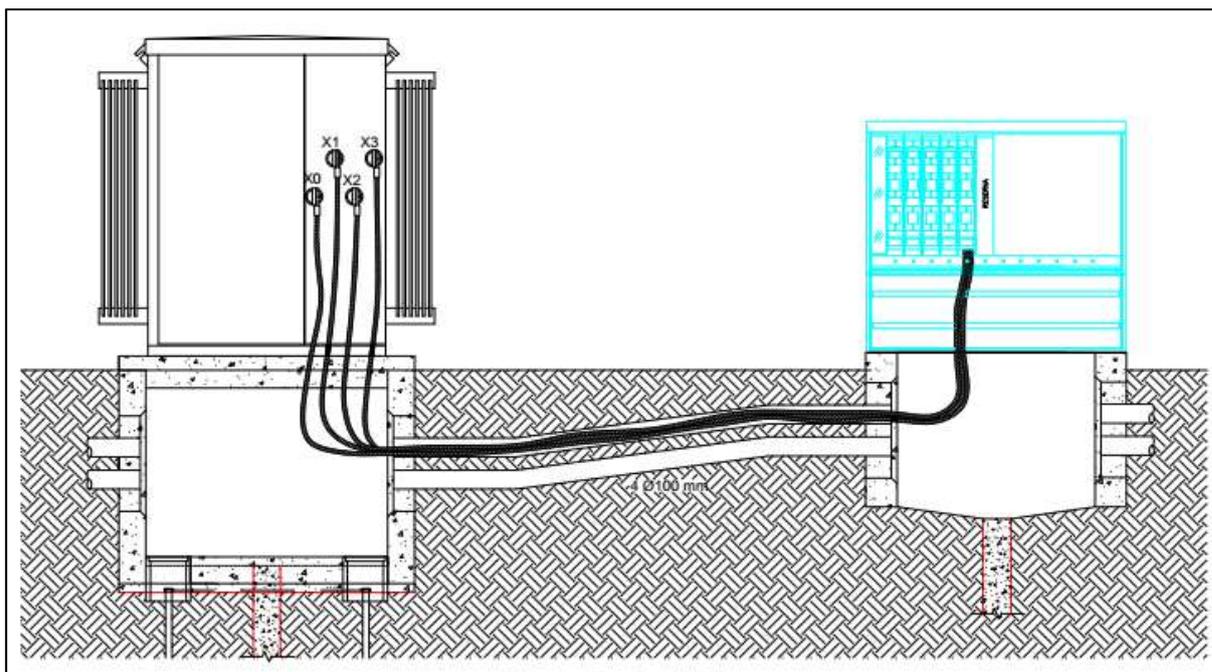
Desenho 5-1/4: Montagem para Ensaio de Verificação dos Limites de Elevação de Temperatura (DIN-00).



Montagem: 2 derivações com chaves CH-1 e CH-2.

CH-1 e CH-2: Chaves seccionadoras de 400A equipadas com fusíveis NH de 400A (tipo gL/gC e tamanho 2).

Corrente aplicada nas chaves CH-1 e CH-2: 360A/fase em cada chave.

ANEXO J – INSTALAÇÃO DE TRANSFORMADOR E QDP CORTE A-A

FONTE: NTC 35 CELG D, 2016, p. 93.

ANEXO L - MATERIAIS DA ESTRUTURA DE TRANSIÇÃO.

NOTAS:					
1 - Utilizar cabo coberto de cobre 15 kV conforme especificação E-313.0075;					
2 - Utilizar cabo coberto de cobre 16 mm ² - 15 kV (Cód. 30377), conforme especificação E-313.0075;					
3 - Dimensões em milímetros.					
ITEM	QUANT.	DESCRIÇÃO	ITEM	QUANT.	DESCRIÇÃO
A-02	08	ARRUELA QUADRADA	I-05	03	ISOLADOR PILAR
A-33	03	SUPORE PARA MUFLA ou CABO ISOLADO	O-4	06	ADAPTADOR ESTRIBO
E-09	03	CHAVE-FUSÍVEL	O-02	04	CONECTOR CUNHA RAMAL
E-15	03	ELO FUSÍVEL	O-10	06	GRAMPO DE LINHA VIVA
F-19	03	MÃO FRANCESA PERFILADA	O-33	03	TERMINAL ESPADA A COMPRESSÃO
F-22	01	MANILHA SAPATILHA	O-43	03	TERMINAL PARA USO EXTERNO (mufla)
F-30	09	PARAFUSO DE CABEÇA QUARDADA	M-01	01	ALÇA PRÉ-FORMADA DE DISTRIBUIÇÃO
F-38	03	PINO PARA ISOLADOR PILAR	P-02	01	POSTE DE CONCRETO DE SEÇÃO DT
F-47	09	SUPORE L	R-01 OU R-02	03	CRUZETA DE CONCRETO 2.100m OU CRUZETA DE AÇO 2.000mm

Fonte: CELESC D, NE-147-E, 2017.

**APÊNDICE A – FOTOS RETIRADAS DO LOCAL DE ESTUDO, ATRAVÉS
DA OBSERVAÇÃO REALIZADA NO LOCAL.**



Fonte: Autor do trabalho, 2019.



Fonte: Autor do trabalho, 2019.



Fonte: Autor do trabalho, 2019.

APENDICE B- PROJETO ELETRICO DA RDS

