



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Departamento de Engenharia Elétrica



Proposta de Trabalho de Conclusão do Curso

**Proposta de Reforma na Rede de Distribuição de Energia  
Elétrica no Campus Campina Grande da UFCG**

ANTÔNIO EDER FONSÊCA SOUZA DA SILVA

Campina Grande, Paraíba

Abril 2010.

S586p Silva, Antônio Eder Fonsêca Souza da.  
Implementação o otimização de um velocímetro laser doppler em óptica integrada. / Antônio Eder Fonsêca Souza da Silva. - Campina Grande - PB: [s.n], 2010.

50f.

Orientador: Professor Me. Leimar de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso - Monografia; (Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Engenharia Elétrica e Informática.

1. UFCG - rede de energia elétrica. 2. Distribuição unificada - Energia elétrica UFCG. 3. Rede de distribuição primária aérea. 4. Chaves de distribuição. I. Oliveira, Leimar de. II. Título.

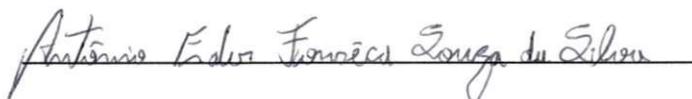
CDU:621.3(043.1)

**Elaboração da Ficha Catalográfica:**

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

# Proposta de Reforma na Rede de Distribuição de Energia Elétrica do Campus Campina Grande da UFCG

*Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento parcial às exigências para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.*



Antônio Eder Fonsêca Souza da Silva (Aluno)



Msc. Leimar de Oliveira (Orientador)

Campina Grande – PB

Abril 2010

## **Agradecimentos**

Agradeço a DEUS pela saúde, sabedoria e a pela presença constante em minha vida.

Aos meus pais, Manoel Inácio da Silva e Aidil Fonseca Souza da Silva, pelo imenso amor, confiança e por todo apoio necessário à minha formação.

Aos meus irmãos, Guto, Marquinhos, Dinha, Tela e Lila; pela união e por todos conselhos dados.

A minha namorada, Érica, pelo carinho e compreensão.

Aos amigos, que graças a Deus são muitos, e que de forma direta ou indireta, me ajudaram e compartilharam grandes momentos vividos esses anos.

A todos os professores, pelos ensinamentos prestados em todo o curso. Em especial ao professor Leimar, pela orientação e confiança na realização desse trabalho.

Aos engenheiros e técnicos eletricitas da prefeitura universitária, pelas importantes dicas e fornecimento de informações para a realização desse trabalho.

## **Resumo**

Buscando-se um melhor fornecimento de energia elétrica para os blocos do campus Campina Grande da Universidade Federal de Campina Grande, principalmente no que se refere à confiabilidade da rede de distribuição de energia elétrica, foi criado um projeto propondo uma reforma na rede primária de alimentação do campus. Para isso, foi necessária a análise da rede de distribuição de energia elétrica instalada no campus. O projeto foi elaborado com base nas Normas de Distribuição Unificadas (NDU's), fornecidas pela concessionária de energia elétrica.

## **Abstract**

Seeking a better electric energy supply to all the buildings of the Federal University of Campina Grande's campus, specially as regards about the trusting bases of the distribution system, it was created a project proposing a new arrangement on the primary feeding system on campus. As it is, was necessary do a research and analysis of the current distribution system installed. The elaborated project was based on the Unified Distribution Norms (UDN's), applied by the electric energy concessionary.

# Sumário

<b>Lista de figuras .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Lista de Quadros .....</b>	<b>X</b>
<b>1 – Introdução.....</b>	<b>11</b>
1.1 Importância do trabalho.....	11
1.2 Objetivos.....	11
1.3 Metodologia.....	12
1.4 Cronograma.....	12
<b>2 – Sistema de Distribuição.....</b>	<b>13</b>
2.1 Introdução Teórica.....	13
2.2 Rede de Distribuição Primária Aérea.....	14
2.3 Arranjos da Rede de Distribuição.....	14
2.4 Chaves de Distribuição.....	15
2.5 Avaliação da Rede do Campus.....	16
2.6 Normas de Distribuição Unificadas.....	18

<b>3 – Projeto de Reforma na Rede Elétrica do Campus.....</b>	<b>19</b>
3.1 Funcionamento.....	19
3.2 Especificações.....	24
3.2.1 Entrada da Rede .....	24
3.2.2 Cabina de Medição .....	26
3.2.3 Postes .....	27
3.2.4 Estruturas da Rede .....	29
3.2.5 Espaçadores .....	38
3.2.6 Condutores .....	38
3.2.7 Equipamentos .....	40
3.2.8 Dimensionamento do Elo Fusível .....	42
<b>4 – Considerações Finais.....</b>	<b>45</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>46</b>
<b>Anexo A – Lista de Material das Estruturas.....</b>	<b>47</b>
<b>Anexo B – Planta da Rede Proposta.....</b>	<b>50</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura 2.01</b> - Chave Fusível na entrada do setor B.....	15
<b>Figura 2.02</b> - Chave de manobra à óleo.....	16
<b>Figura 2.03</b> - Ramal da Chave Fusível CH1.....	16
<b>Figura 2.04</b> - Ramal da Chave Fusível CH3.....	17
<b>Figura 3.01</b> - Infiltração na Cabina de Medição.....	19
<b>Figura 3.02</b> - Derivação do Alimentador.....	20
<b>Figura 3.03</b> - Remoção de Rede Primária do Setor C.....	22
<b>Figura 3.04</b> - Remoção de Rede Primária do Setor A.....	23
<b>Figura 3.05</b> - Ilustração do Projeto Proposto.....	24
<b>Figura 3.06</b> - Estrutura de Mufla Ramal de Ligação para Entrada Subterrânea.....	25
<b>Figura 3.07</b> - Cabine de Medição e Proteção.....	27
<b>Figura 3.08</b> - Afastamento entre Fachadas e Condutores.....	28
<b>Figura 3.09</b> - Estrutura N1.....	30
<b>Figura 3.10</b> - Estrutura N3-2.....	31
<b>Figura 3.11</b> - Estrutura CE 1.....	32
<b>Figura 3.12</b> - Estrutura CE 1A.....	33
<b>Figura 3.13</b> - Estrutura CE 2.....	34

<b>Figura 3.14</b> - Estrutura CE 3.....	35
<b>Figura 3.15</b> - Estrutura CE 4.....	36
<b>Figura 3.16</b> - Estrutura CE 2-3.....	37
<b>Figura 3.17</b> - Locação dos Espaçadores.....	38
<b>Figura 3.18</b> - Cabo de Alumínio CA.....	39
<b>Figura 3.19</b> - Cabo Protegido XLPE.....	39
<b>Figura 3.20</b> - Estrutura do Pára-raios.....	40
<b>Figura 3.21</b> - Estrutura com Chave – Fusível.....	41
<b>Figura 3.22</b> - Seccionadora Tripolar.....	41

## Lista de Quadros

**Quadro 3.01** – Nº de Transformadores e Ramais por setor.....21

**Quadro 3.02** – Elo Fusível x Correte Nominal.....43

## Introdução

### 1.1 Importância do Trabalho

As alterações de um sistema de distribuição, normalmente são ocasionadas pela expansão da rede de alimentação quando há um crescimento de determinada região e sua demanda aproxima-se dos limites de operação, ou simplesmente quando se deseja obter um novo arranjo na rede a fim de torná-la mais eficiente. Essas alterações podem acarretar na instalação e reforma de trechos de alimentadores, entre outras operações.

Na elaboração de um novo projeto de uma rede de distribuição alguns aspectos importantes devem ser considerados, como as limitações no orçamento, a possibilidade de expansão da rede, além da minimização das perdas elétricas, dos custos das instalações e das manutenções desta. E o resultado mais esperado desse novo projeto é que se tenha um sistema de distribuição de boa qualidade de energia elétrica e de grande confiabilidade na rede de energia.

### 1.2 Objetivos

Propor uma nova configuração da rede de distribuição de energia elétrica para o campus Campina Grande da UFCG. Estando a rede de distribuição de energia elétrica do campus muito passível de defeitos, o objetivo desse trabalho é propor uma reforma para torná-la mais confiável, seletiva e que forneça o devido suporte elétrico para a ampliação do campus.

### 1.3 Metodologia

Através da análise da rede de distribuição de energia presente no campus, serão encontradas as principais falhas no arranjo deste sistema. A partir desta análise, será proposta uma nova configuração no arranjo da rede de energia. Esse novo projeto será elaborado baseado nas Normas de Distribuição Unificadas (NDU's) necessárias, que são fornecidas pela concessionária de energia local (Energisa S/A). Para a representação do projeto será utilizada como ferramenta computacional o programa gráfico AutoCAD® 2007 da Autodesk.

### 1.4 Cronograma

ETAPAS	SEMANAS														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Revisão bibliográfica sobre os Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica.	■	■	■	■	■										
	■	■	■	■	■										
Levantamento da Rede de Distribuição do Campus da I UFCG				■	■	■	■	■							
				■	■	■	■	■							
Representação computacional e análise da Rede de Energia atual.								■	■	■	■				
								■	■	■	■				
Proposta de reforma e representação computacional da nova Rede de Energia.											■	■	■	■	■
											■	■	■	■	■
Elaboração do relatório		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■



Previsto



Executado

# Sistema de Distribuição

## 2.1 Introdução Teórica

Podemos dividir um sistema de potência em três partes: geração, transmissão e distribuição, sendo que neste último fazemos uma subdivisão considerando o nível de tensão trifásica de operação como critério. Portanto um sistema de distribuição de energia elétrica é caracterizado pela divisão em dois setores: sistema de distribuição primário ou em média tensão que abrange desde as subestações abaixadoras até os transformadores. E o sistema de distribuição secundário ou em baixa tensão que vai da saída dos transformadores até a entrada elétrica dos consumidores.

Dentro dos centros urbanos, as redes elétricas primárias e secundárias geralmente são trifásicas podendo ser subterrâneas ou aéreas. Nas redes subterrâneas primárias a passagem dos condutores que alimentam os transformadores é subterrânea, podendo estes, serem instalados em câmaras subterrâneas, cabinas ou postes. Já na rede aérea primária, os condutores passam pelos postes e alimentam os transformadores montados em postes ou em cabinas. As ligações aos consumidores que é feita através do ramal de entrada, em tensão primária ou secundária, podem ser aéreas ou subterrâneas.

No campus Campina Grande da UFCG, os transformadores são alimentados por rede elétrica de alimentação primária trifásica aérea com tensão de 13,8 kV. Já nos blocos, as tensões fornecidas pelo secundário dos transformadores são de 380 e 220 V, com predominância da primeira.

## 2.2 Rede de Distribuição Primária Aérea

A rede de distribuição primária aérea pode ser convencional, com os fios dispostos lado a lado na parte de cima do poste obedecendo aos espaçamentos entre os condutores, que dependerá do nível de tensão. Ou então pode ser compacta, com os fios encapados, portanto mais resistentes às interferências do ambiente, e separados por espaçadores, sendo bem mais próximos que os da rede convencional.

A rede de distribuição aérea de energia elétrica é um dos maiores empecilhos para a arborização das cidades. A pesquisadora Giuliana Del Nero Velasco (VELASCO, 2005) em sua dissertação de mestrado, defendida na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), da USP de Piracicaba, reuniu custos da instalação e manutenção de três tipos de redes elétricas e avaliou o impacto em cada uma. Segundo ela, na rede compacta, a exigência de manutenção da rede é menor e gera gastos, em média, 79,5% menores. Outro importante aspecto da rede compacta também foi avaliado, "Por ocuparem menos espaço, diminui a área cortada em cada árvore e também o número de plantas que precisam ser podadas, contribuindo para a preservação." concluiu.

## 2.3 Arranjos da Rede de Distribuição

As três configurações básicas para as redes de distribuição primária são o Sistema Radial, Sistema Radial Seletivo e o Sistema em Anel.

- **Sistema Radial:** trata-se do arranjo mais simples, onde os alimentadores tomam normalmente direções distintas em razão das próprias características de distribuição das cargas, sendo geralmente antieconômico o estabelecimento de pontos de interligação da rede. Portanto, normalmente é utilizado em áreas de baixa densidade de cargas, principalmente rurais.
- **Sistema Radial Seletivo:** Nesse arranjo, há a existência da interligação normalmente aberta, entre alimentadores adjacentes. Estes devem ser projetados de forma que exista certa reserva de capacidade em cada circuito, para a absorção de carga de outro circuito na eventualidade de defeito. São geralmente empregados em áreas urbanas.

- **Sistema em Anel:** Trata-se de um arranjo onde o alimentador geral tem a forma de anel, sendo protegido por um único disjuntor geral. Chaves seccionadoras de operação manual são instaladas no arranjo, sendo que duas delas são instaladas onde o alimentador geral é submetido a derivações. Na necessidade de isolar algum trecho da rede, manipulam-se coordenadamente as chaves do alimentador geral para que uma maior quantidade de centros de carga permaneça em funcionamento.

## 2.4 Chaves de distribuição

- **Chave Fusível:** Dispositivo mecânico destinado à proteção contra sobrecorrentes em circuitos e/ou equipamentos da rede de distribuição.



Figura 2.01 – Chave Fusível na entrada do setor B.

- **Chave de Manobra:** Dispositivo de manobra mecânico, utilizado para abertura e/ou fechamento de circuitos elétricos primários. Algumas chaves de manobra apresentam uma importante característica de abertura sob carga, utilizando ou óleo, ou gás SF<sub>6</sub>, ou vácuo como meio de extinção de arco elétrico.

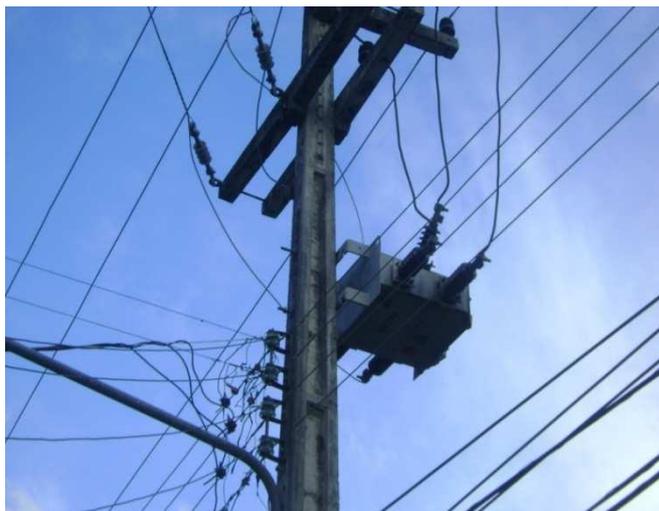


Figura 2.02 – Chave de manobra à óleo.

## 2.5 Avaliação da Rede do Campus

Tendo em mãos a planta de toda rede de distribuição do Campus Campina Grande da UFCG, todo funcionamento da rede foi avaliado e encontrado alguns pontos em destaque. Primeiramente notou-se que há uma grande dependência da região B com a chave fusível CH1 instalada próxima a Atecel, pois quase toda alimentação fornecida a esse setor, com exceção do transformador T18, passa por essa chave.

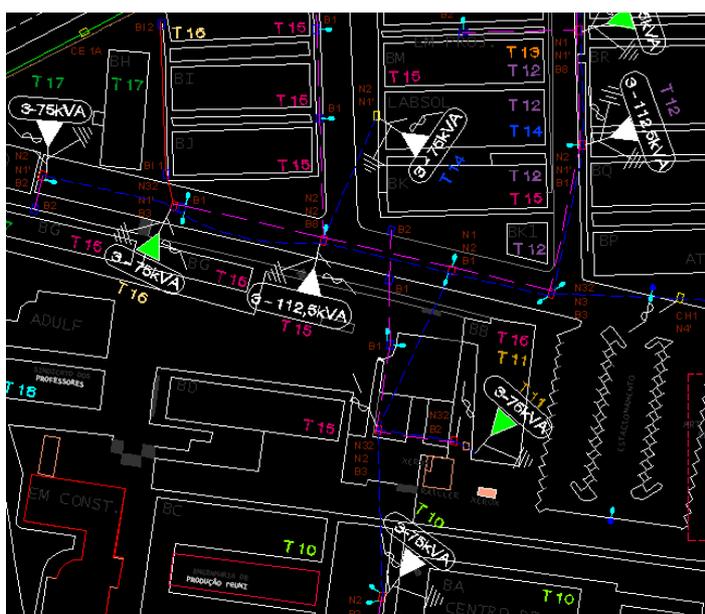


Figura 2.03 – Ramal da Chave Fusível CH1.

Essa mesma característica de vulnerabilidade também é observada de parte do setor C e toda região D com a chave fusível CH3 instalada após a chave blindada.



Figura 2.04 – Ramal da Chave Fusível CH3.

Foi observado que externamente ao campus, há uma rede compacta em alta tensão, instalada desde um poste próximo ao campo de futebol até um poste próximo a um dos portões de acesso ao setor B, desse último ponto, a rede tem continuidade na parte interna do campus e se encerra em um poste próximo a creche. Esta mesma rede compacta possui seis ramais de derivação, dos quais três são encontrados nos postes 11,12 e 13. Esses ramais possuem estrutura pronta para alimentar os respectivos transformadores T32, T38 e o T40, mas não o fazem. Outros dois alimentam três transformadores, onde um derivado do poste 8 alimenta os transformadores T20 e T21 e o outro originado do poste 14, alimenta o

transformador T42. O sexto e último ramal da rede compacta é derivado do poste 9 e caracterizado por ser nele que há a alimentação da rede compacta pela rede convencional.

## **2.6 Normas de Distribuição Unificadas**

Na Paraíba, o agente titular de concessão ou permissão Federal para prestar o serviço público de distribuição de energia elétrica é a concessionária ENERGISA, que em seu próprio site fornecem as Normas de Distribuição Unificadas. As NDUs são documentos que contêm todas as especificações para o fornecimento de energia elétrica da concessionária e formalizam o modelo tecnico-operacional de todas as cinco distribuidoras do Grupo Energisa, estando dividido em doze documentos.

- NDU 001 - Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária – Edificações Individuais ou Agrupadas até 3 Unidades Consumidoras
- NDU 002 - Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária
- NDU 003 – Fornecimento de Energia Elétrica a Agrupamentos ou Edificações de Uso Coletivo acima de 3 Unidades Consumidoras
- NDU 004 – Instalações Básicas para Construção de Redes de Distribuição Urbana
- NDU 005 – Instalações Básicas para Elaboração de Projetos de Redes de Distribuição Rural
- NDU 006 – Critérios Básicos para Elaboração de Projetos de Redes de Distribuição Urbanas
- NDU 007 - Critérios Básicos para Elaboração de Projetos de Redes de Distribuição Rural
- NDU 008 - Transformadores para Redes Aéreas de Distribuição
- NDU 009 – Critérios para Compartilhamento de Infra- Estrutura da Rede Elétrica de Distribuição
- NDU 010 – Padrões e Especificações de Materiais da Distribuição
- NDU 011 – Homologação de Fornecedores de Equipamentos e Materiais
- NDU 012 – Critérios e Procedimentos Básicos para Inspeção e Manutenção de Redes de Distribuição.

# Projeto de Reforma na Rede Elétrica do Campus

## 3.1 Funcionamento da Rede Projetada

Após o levantamento da rede de distribuição de energia do Campus Campina Grande da UFCG e feita sua avaliação com o auxílio da planta projetada, concluiu-se que a solução técnica-economicamente viável a ser executada será fechar uma rede de distribuição de energia elétrica em anel aproveitando-se do arranjo da rede compacta já existente. Com isso, os transformadores existentes no campus serão alimentados por ramais derivados desse anel fechado, o que tornará a rede de distribuição do campus bem mais confiável que a já existente, acabando com os pontos de vulnerabilidade encontrados na rede atual.

Primeiramente será construída uma nova cabine de medição ao lado da já existente, em função desta se encontrar num alto grau de deterioração. Tanto que na cabine atual foram encontrados internamente pontos de infiltração de água e colônias de cupins. A nova cabine terá o mesmo ponto de derivação existente e obedecerá todas as normas estabelecidas pela concessionária de energia.



**Figura 3.01 – Infiltração na Cabina de Medição.**

No segundo poste subsequente ao ramal de saída da nova cabine haverá a continuação do alimentador da rede, que será derivado, e formará dois caminhos distintos. O primeiro, dando seqüência a nova rede, percorrerá a direção do setor A e B, onde neste último será interligada ao extremo da rede compacta já existente que fica próxima a creche. Já o segundo caminho irá em direção ao setor E, onde no outro limite da rede compacta, próximo ao campo de futebol, será interligada a rede já existente.



Figura 3.02 – Derivação do Alimentador.

A escolha dos dois caminhos foi feita através de análise criteriosa, avaliando especialmente a possibilidade de construções de novos blocos no campus e também o efeito que a rede proposta terá ao meio ambiente. Com isso foram percorridos caminhos que evitassem possíveis remoções desnecessárias na rede bem como o desmate das vegetações, especialmente em frente à universidade onde há grande concentração de árvores.

Portanto a rede de distribuição primária projetada será compacta em anel percorrendo todos os setores (A, B, C, D e E) do campus. Na extremidade de cada setor, será instalada uma chave seccionadora tripolar com abertura sob carga. Portanto serão seis chaves desse tipo em todo anel, limitando todos os cinco setores do campus. Duas dessas chaves serão instaladas nos postes que recebem a rede derivada após a saída da cabine. Sendo que uma

delas se encontrará aberta no funcionamento normal da rede, e será fechada conforme a necessidade de operação.

Essa característica tornará a rede mais eficiente já que o isolamento de uma região não comprometerá a alimentação das demais. Ou seja, numa eventual situação em que seja necessário o corte no fornecimento de energia de determinado setor, a abertura sob carga das duas chaves seccionadoras que o limitam, e o fechamento da chave normalmente aberta, que recebe uma das derivações da rede elétrica logo após a saída da cabine, possibilitará o isolamento desse setor sem comprometer a alimentação dos demais.

Aproveitando-se da configuração da rede, cada região terá ramais de entrada derivados do anel para alimentar os transformadores. Serão criados oito novos ramais, dois no setor A, três no B, um no C, um no D e um no E. Eles se juntarão com os seis demais já existentes e mencionados aqui, totalizando quatorze que fornecerão energia elétrica a todos os transformadores da universidade.

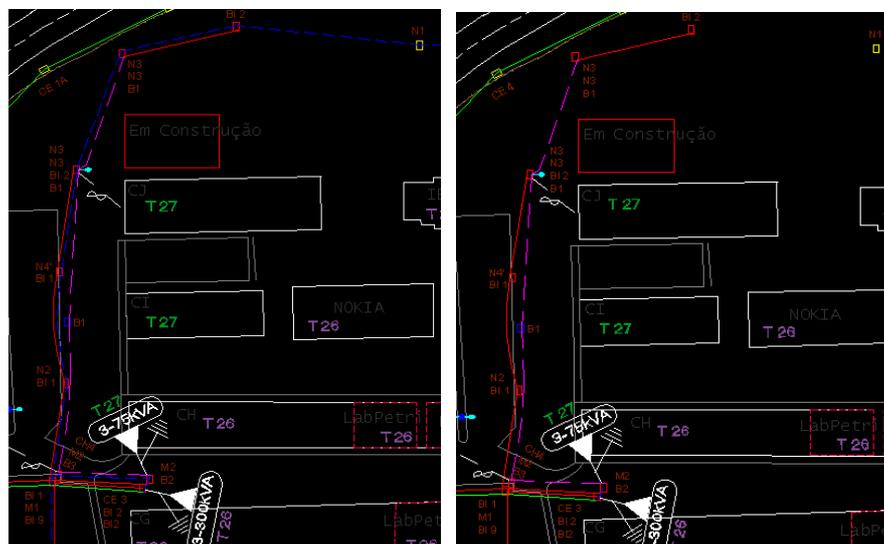
<b>SETOR</b>	<b>Nº de Trafos</b>	<b>Nº DE RAMAIS</b>
<b>A</b>	8	2
<b>B</b>	10	3
<b>C</b>	8	3
<b>D</b>	15	5
<b>E</b>	1	1

**Quadro 3.01 – Nº de Transformadores e Ramais por setor.**

O principal objetivo desses ramais é que dependendo da eventualidade, não sendo necessário o corte no fornecimento de energia de todo setor, poderá ser isolado apenas um dos seus ramais. Sendo assim fica claro que além da divisão do sistema em setores, que é feita através das seis chaves seccionadoras que abrem em carga; haverá uma subdivisão que dependerá do número de ramais existentes em cada setor. Na derivação do alimentador em

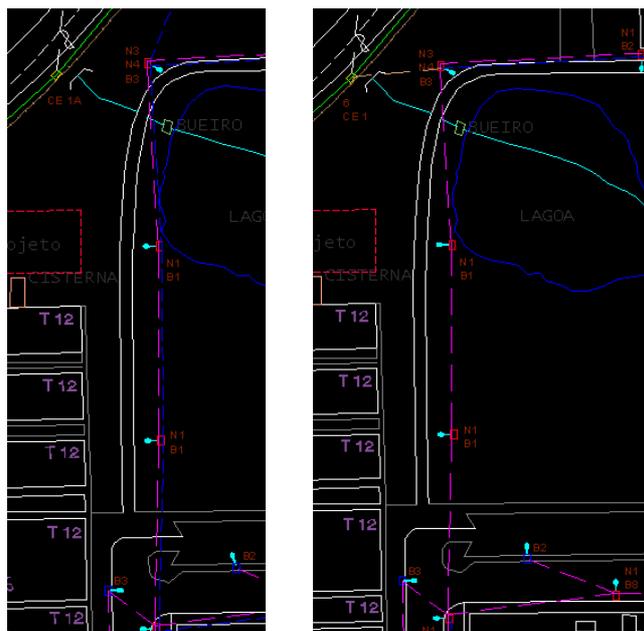
anel para os ramais, deverá ser instalada uma chave fusível que terá seu elo fusível dimensionado de acordo com a soma das potências dos transformadores que se encontram em cada ramal.

Nessa nova configuração projetada, algumas redes convencionais de média tensão já instaladas poderão ser retiradas sem comprometer o fornecimento de energia do campus. Com isso, haverá o melhoramento da estética da rede de energia, já que reduzirá o número de condutores passando por esta. Como destaque de redes primárias que serão removidas temos a longa rede que transita do setor C para o D.



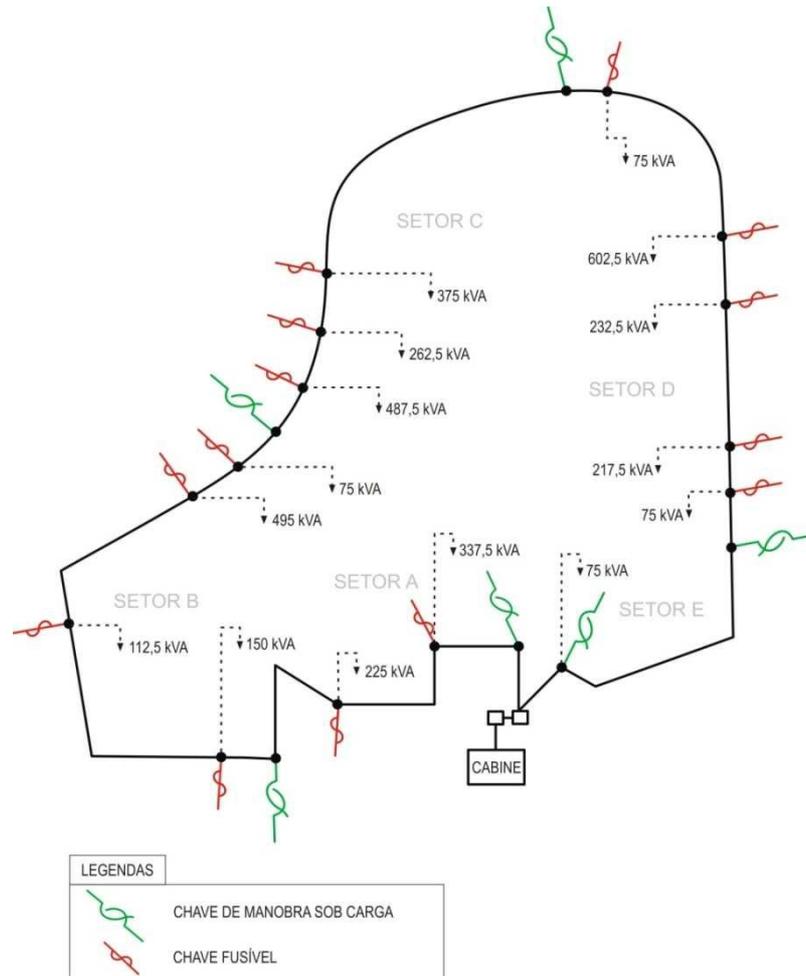
**Figura 3.03 – Remoção de Rede Primária do Setor C.**

Bem como parte da rede do setor A que alimenta o transformador T19.



**Figura 3.04 – Remoção de Rede Primária do Setor A.**

Uma observação a acrescentar, é que nessa nova configuração, o transformador T19 que alimenta a biblioteca (Bloco AD) antes pertencente ao setor A, será agora alimentado por um ramal derivado do poste 6 pertencente à região B. Já os demais transformadores continuarão sendo energizados por ramos derivados do setor ao qual pertencem.



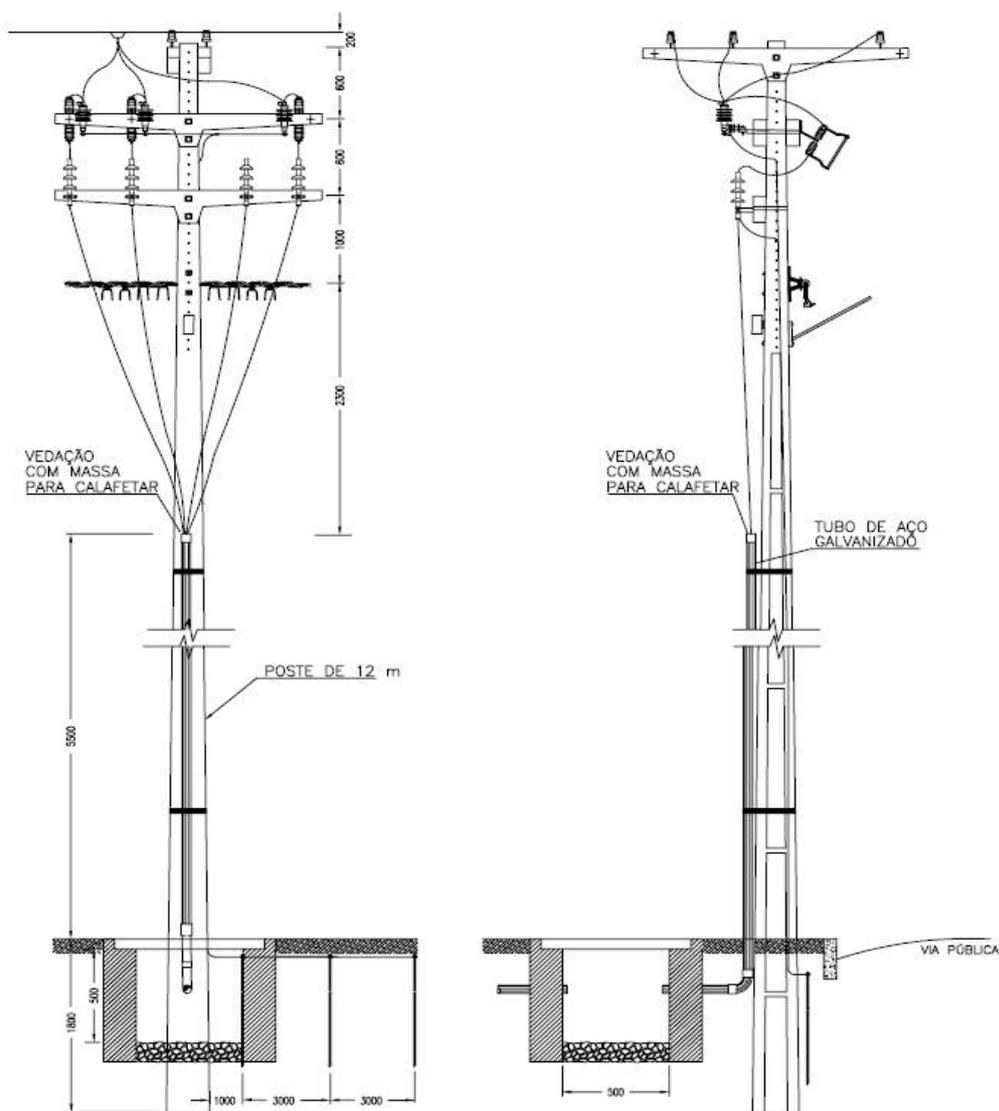
**Figura 3.05 – Ilustração do Projeto Proposto.**

## 3.2 Especificações do Projeto

A concessionária Energisa S/A, agente titular de permissão federal para prestar o serviço público de distribuição de energia elétrica, alimenta a Universidade Federal de Campina Grande com tensão primária de (13.800/7.960) V. A partir das Normas fornecidas pela concessionária, o projeto é especificado.

**3.2.1 Entrada da Rede:** O campus terá um único ramal de ligação aéreo, formado pelo ponto de entrada da rede onde é derivado o alimentador da concessionária de energia elétrica, na área externa do campus. Essa derivação é feita através de chaves fusíveis e condutores unipolares de alumínio nus que ao encontrar o primeiro poste do campus terá

formado o ramal de ligação. A grade metálica que limita a propriedade da UFCG e por onde o ramal de ligação passa por cima deve ser aterrada. Ainda no mesmo poste serão instalados pára-raios de distribuição polimérico em ZnO para proteção contra sobretensões e seu condutor de ligação para a malha de aterramento será de cobre nu. Já nas extremidades dos condutores serão utilizadas muflas terminais e cabos (XLPE, 15 kV) unipolares, rígidos e próprios para locais não abrigados. Através do eletroduto de aço galvanizado na descida da rede até a primeira caixa de passagem, inicia-se o ramal de entrada subterrâneo, que terá saída já dentro da cabine de medição.



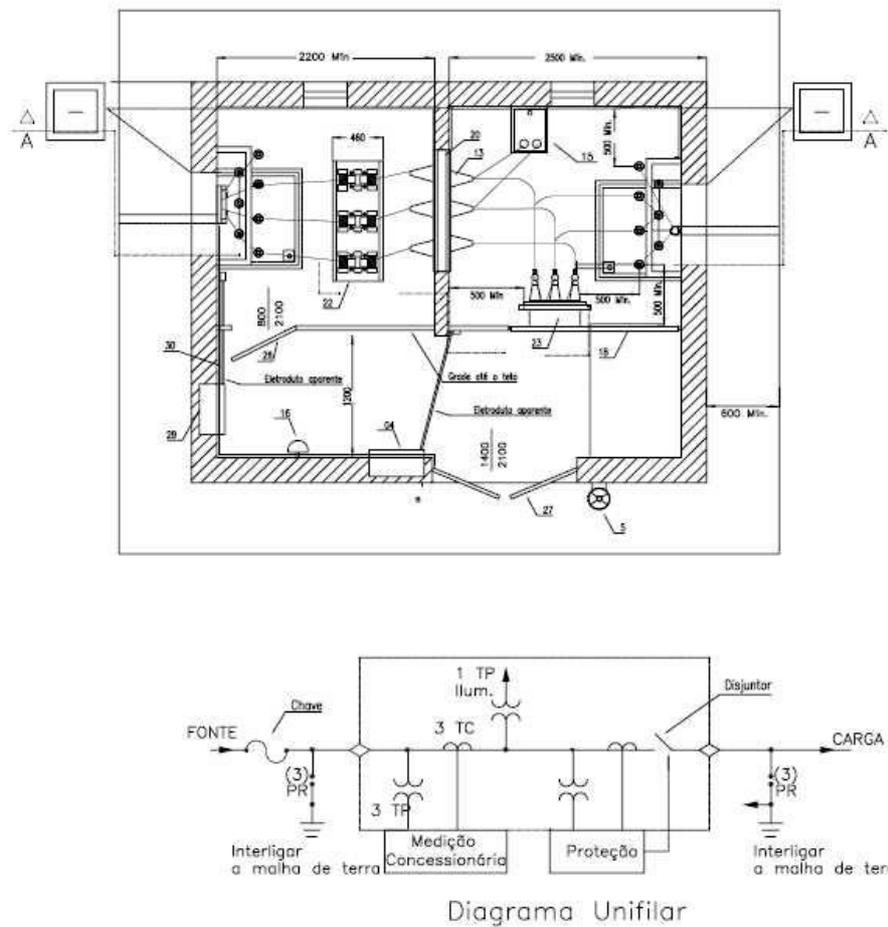
**Figura 3.06 - Estrutura de Mufla Ramal de Ligação para Entrada Subterrânea.**

Fonte: NDU 002 – Energisa.

**3.2.2 Cabina de Medição:** A cabina será localizada ao lado da atual e preservará critérios técnicos e de segurança, sendo construída em local de livre e fácil acesso, em condições adequadas de iluminação, ventilação e segurança. Também terá impermeabilidade total contra a infiltração d'água, com paredes, teto e piso construídos em alvenaria, com revestimento de materiais não sujeitos a combustão. Sua porta será metálica, abrirá para fora, terá dimensão tal que permita a passagem folgada do maior equipamento dentro dela (mínimo de 1,20 x 2,10 m) e terá afixada placa com a indicação “PERIGO DE MORTE - ALTA TENSÃO”. Na cabina haverá um sistema de iluminação artificial, alimentado em corrente contínua ou alternada, e seu corredor para acesso e manobra de equipamentos com espaço livre de no mínimo, 1,20 m de largura. Todos os três cubículos serão isolados com tela de arame galvanizado 12 BWG, com malha de no máximo 10 mm; onde a grade do cubículo que serão instalados os equipamentos de medição (TP, TC, medidores), será equipada com dispositivo para colocação de lacre da Concessionária, e terão acesso exclusivo da Concessionária. Os eletrodutos de aço galvanizado contendo a fiação secundária dos TC's e TP's até a caixa de medição serão instalados externamente nas paredes da subestação. Para a medição serão fornecidos e instalados pela concessionária alguns equipamentos:

- Três transformadores de potencial de relação  $13.800/\sqrt{3} - 115$  V.
- Três transformadores de corrente.
- Um medidor eletrônico.

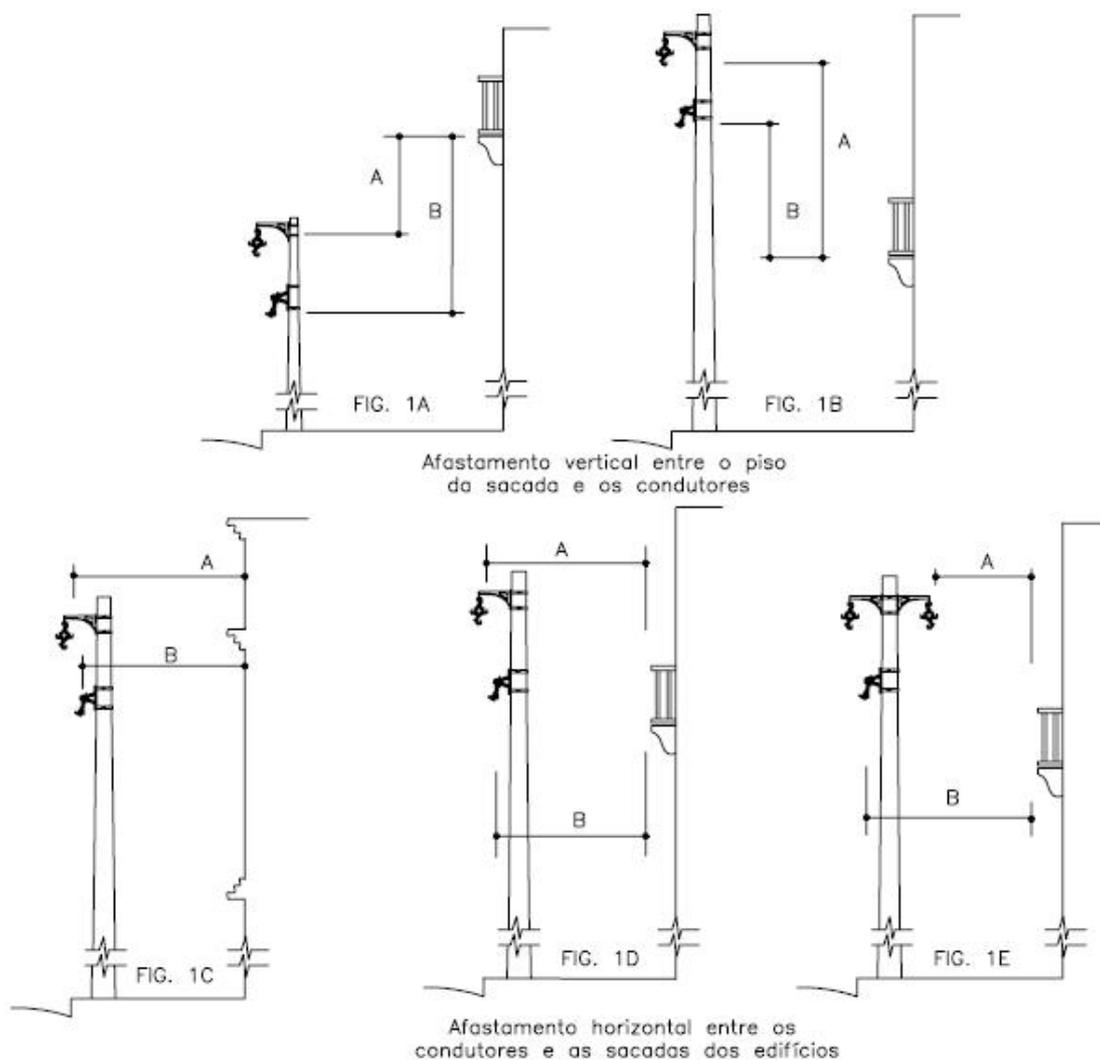
Para proteção, será instalado disjuntor de alta tensão do tipo de acionamento automático na abertura e com capacidade de interrupção simétrica mínima de 350MVA na tensão de 13.800 V, com corrente nominal mínima de 350 A. Para que se tenha o desligamento automático do disjuntor que será a vácuo, é exigida no mínimo, a proteção de sobrecorrente cujo ajuste será em função da demanda solicitada no projeto.



**Figura 3.07 - Cabine de Medição e Proteção.**

**Fonte: NDU 002 – Energisa.**

**3.2.3 Postes:** Os postes instalados serão dispostos unilateralmente, em concreto do tipo duplo T e percorrerão caminhos adequados à distribuição proposta no projeto, que foram escolhidos procurando-se minimizar os efeitos causados ao meio ambiente e evitando-se tubulações subterrâneas. As distâncias entre a rede elétrica e as fachadas foram avaliadas prevendo futuras ampliações destas e o futuro afastamento das redes elétricas, evitando condições inseguras, bem como gastos futuros com remoção e interrupções de energia.



AFASTAMENTOS MÍNIMOS (mm.)

FIG N°	SÓ PRIMÁRIO		SÓ SECUND.	PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO		
	A			PRIMÁRIO SECUND.		B
	15 kV	35 kV	15 kV	35 kV	—	
1A	1000	1200	500	1000	1200	—
1B	3000	3200	2500	—	—	2500
1C	1000	1200	1000	1000	1200	—
1D	1500	1700	1200	1500	1700	1200
1E	1500	1700	1200	1500	1700	—

**Figura 3.08 - Afastamento entre Fachadas e Condutores.**

**Fonte: NDU 004 – Energisa.**

Os vãos entre eles serão de quarenta metros, pois mesmo sendo somente a rede de alta tensão que será instalada a princípio e os vãos máximos pudessem ser os oitenta metros estabelecidos pela norma, pensa-se na possibilidade de eventualmente ser também instalada

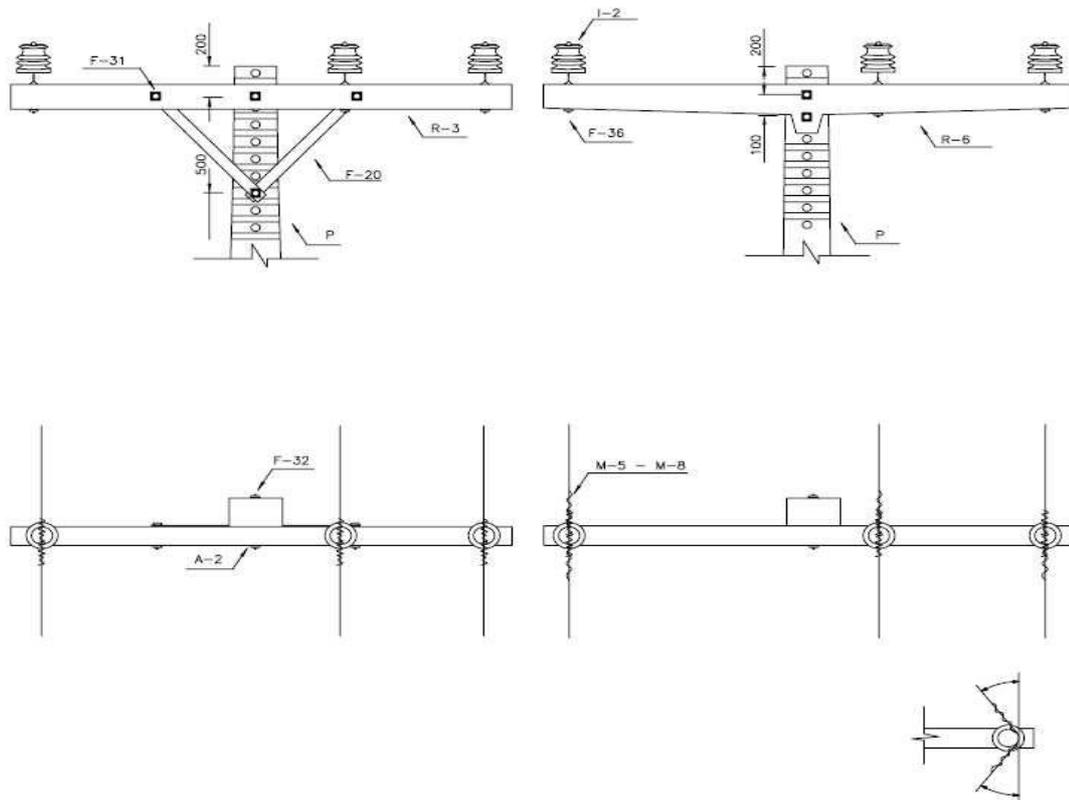
nesses postes uma rede trifásica de baixa tensão. E pela mesma norma os vãos entre postes que contenham rede primária e secundária trifásicas, deverão ter no máximo quarenta metros.

No total serão instalados vinte e sete postes, todos com 12 m de altura, onde os dois da entrada e saída da cabine que receberão a rede convencional terão essa altura devido a derivação subterrânea; já os outros terão os mesmos 12 m por receberem a rede compacta.

**3.2.4 Estruturas:** As estruturas convencionais para as redes de distribuição primárias utilizadas no projeto são para rede convencional e compacta. Com duas estruturas para a rede convencional (N3-2 e N1) que se encontrarão nos dois postes das derivações da cabine e as seis estruturas da rede compacta (CE1, CE1A, CE2, CE3, CE4 e CE2-3) para os demais postes do projeto.

- **Estrutura N1**

Usadas em tangências, podendo também ser empregadas em ângulos representados nos desenhos abaixo, neste caso, a instalação dos condutores nos isoladores deverá ser feita lateralmente.



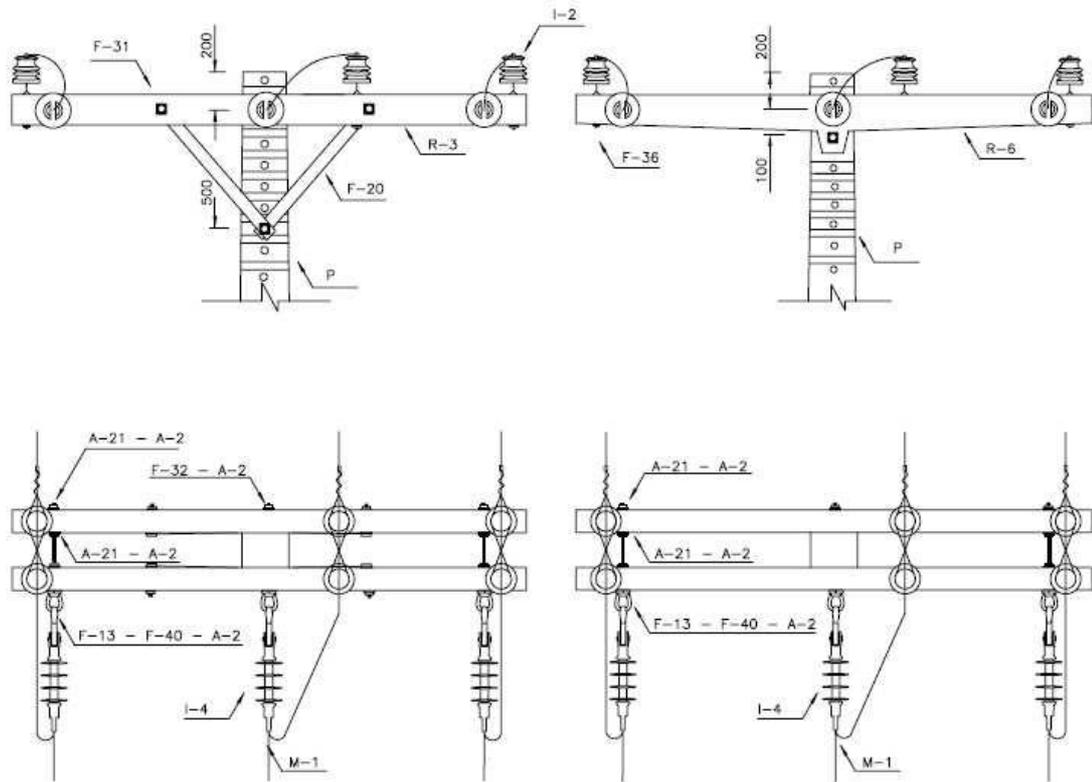
CONDUTORES (AWG, MCM)	ÂNGULOS	CONDIÇÃO NECESSÁRIA
2	$0^\circ \leq \alpha + \beta \leq 60^\circ$	$\alpha_{max}$ ou $\beta_{max} = 45^\circ$
1/0	$0^\circ \leq \alpha + \beta \leq 40^\circ$	—
4/0	$0^\circ \leq \alpha + \beta \leq 20^\circ$	—
336,4	$0^\circ \leq \alpha + \beta \leq 10^\circ$	—

**Figura 3.09 – Estrutura N1.**

**Fonte: NDU 004 – Energisa.**

- **Estrutura N3-2**

Usadas em mudanças de bitola, quando pelo menos um dos condutores é de 2 AWG e na mudança de cabos de CA para cabos CAA, conforme os desenhos abaixo.

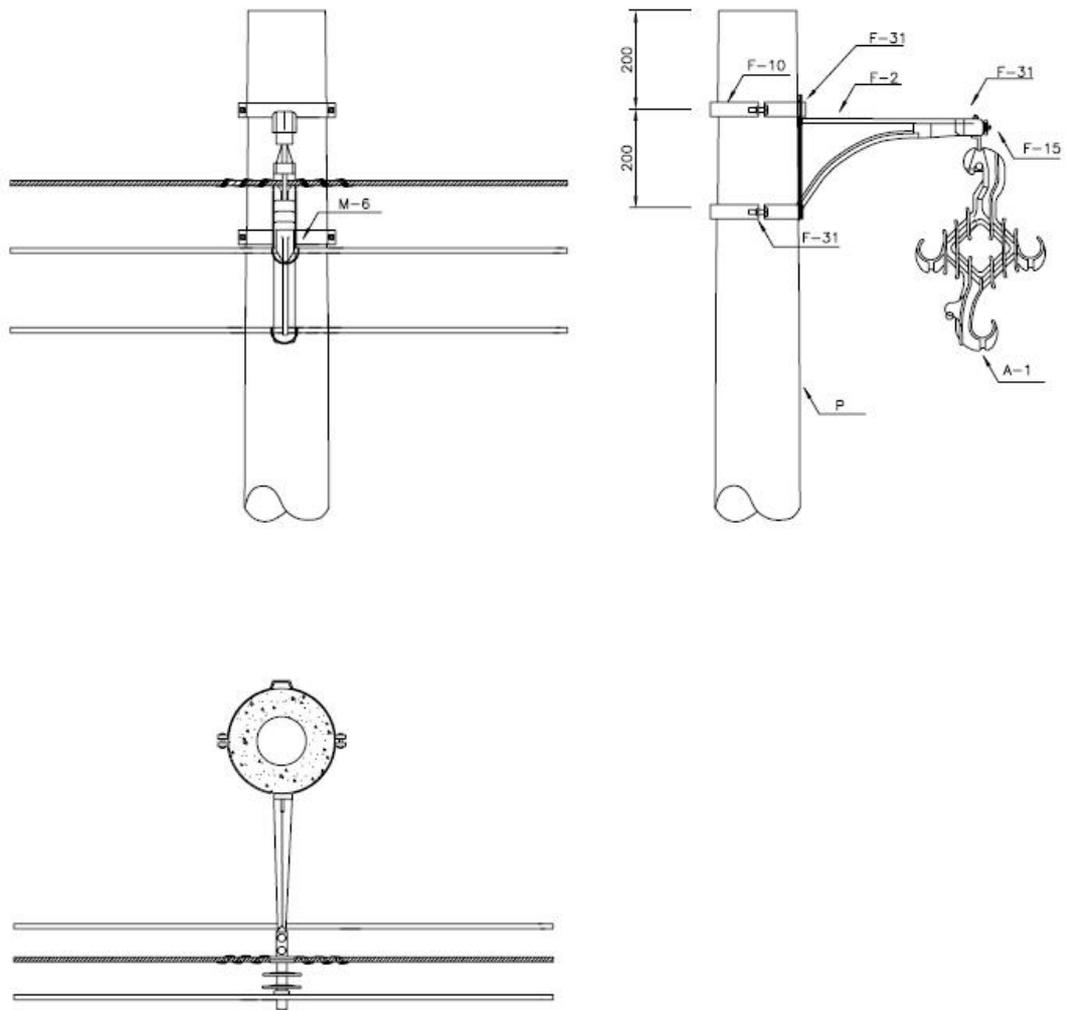


**Figura 3.10 – Estrutura N3-2.**

Fonte: NDU 004 – Energisa.

- **Estrutura CE 1**

Usada em tangências ou em ângulos de até 6° do lado oposto do poste, conforme desenho abaixo.

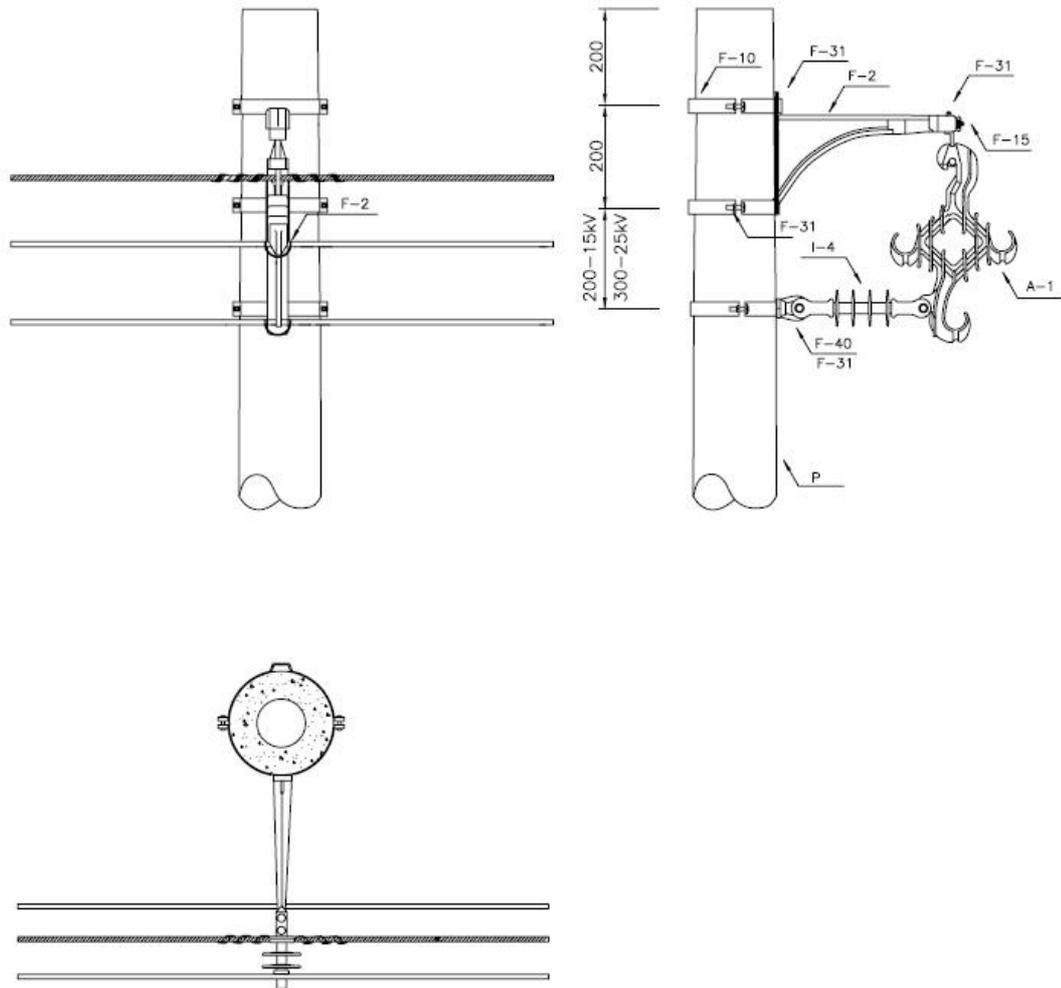


**Figura 3.11 – Estrutura CE 1.**

Fonte: NDU 004 – Energisa.

- **Estrutura CE 1A**

Usada a cada 200m de vãos em tangência com braço anti-balanço ou com ângulo de deflexão de até 6°, conforme abaixo.

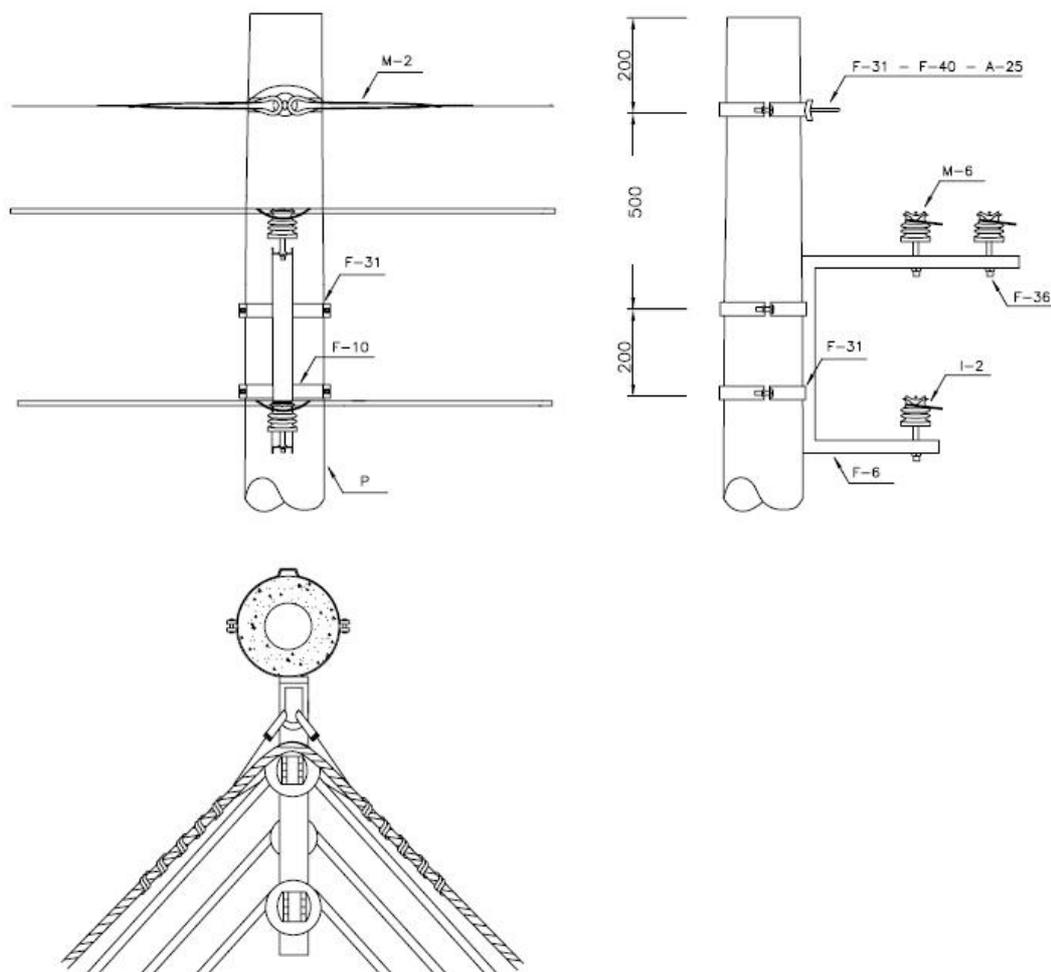


**Figura 3.12 – Estrutura CE 1A.**

Fonte: NDU 004 – Energisa.

- **Estrutura CE 2**

Usada em deflexão com ângulos compreendidos entre 6° e 60°, conforme o desenho.

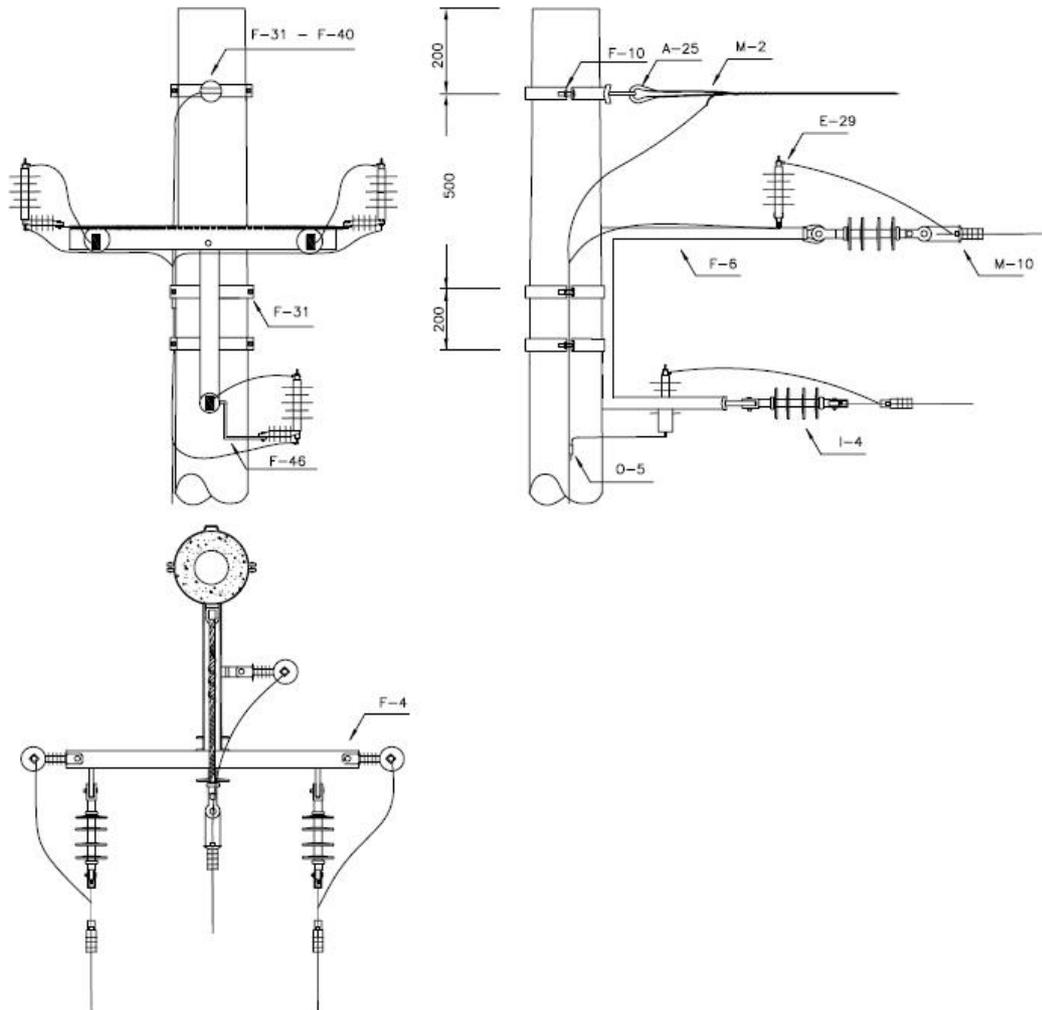


**Figura 3.13 – Estrutura CE 2.**

Fonte: NDU 004 – Energisa.

- **Estrutura CE 3**

Usada em fim de linha, conforme o desenho abaixo.

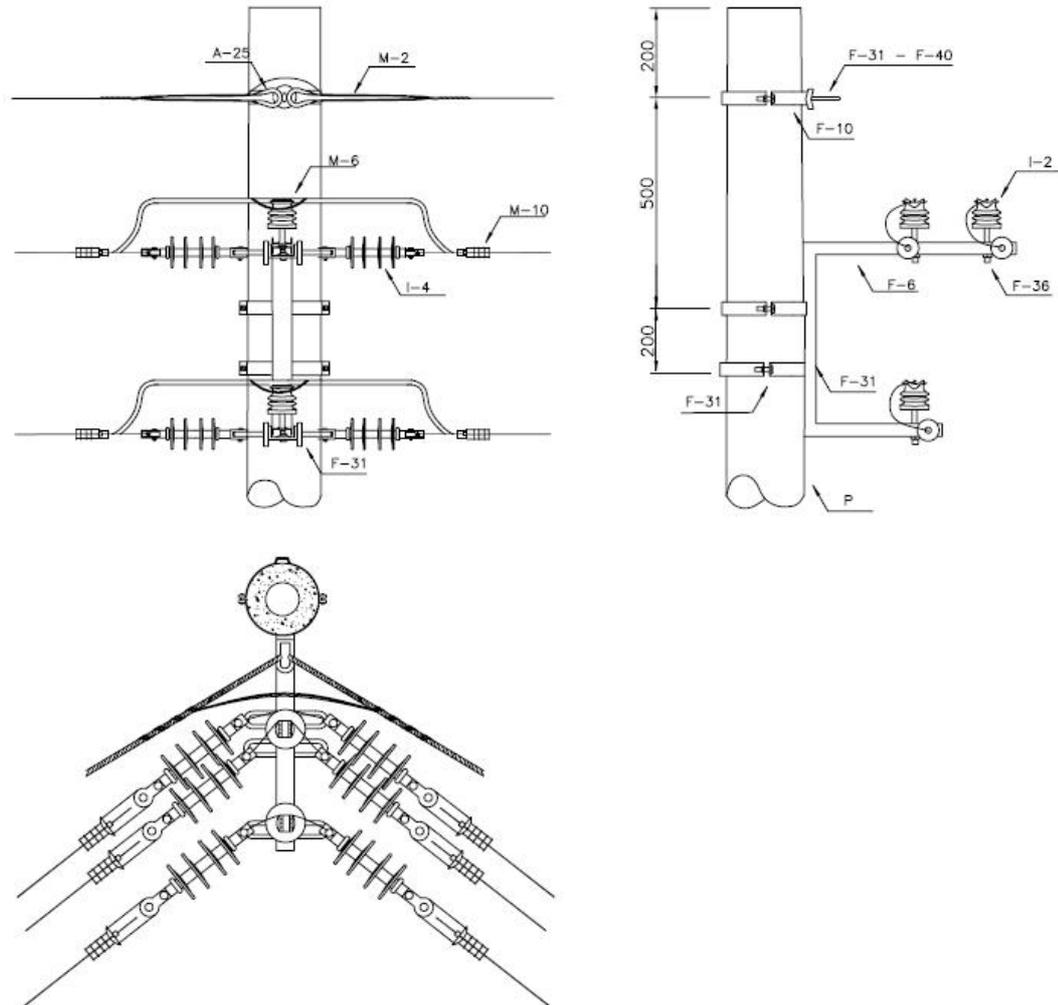


**Figura 3.14 – Estrutura CE 3.**

Fonte: NDU 004 – Energisa.

- **Estrutura CE 4**

Usada em deflexão com ângulos de até 90° ou quando houver necessidade de ancoragem de rede, conforme desenho.

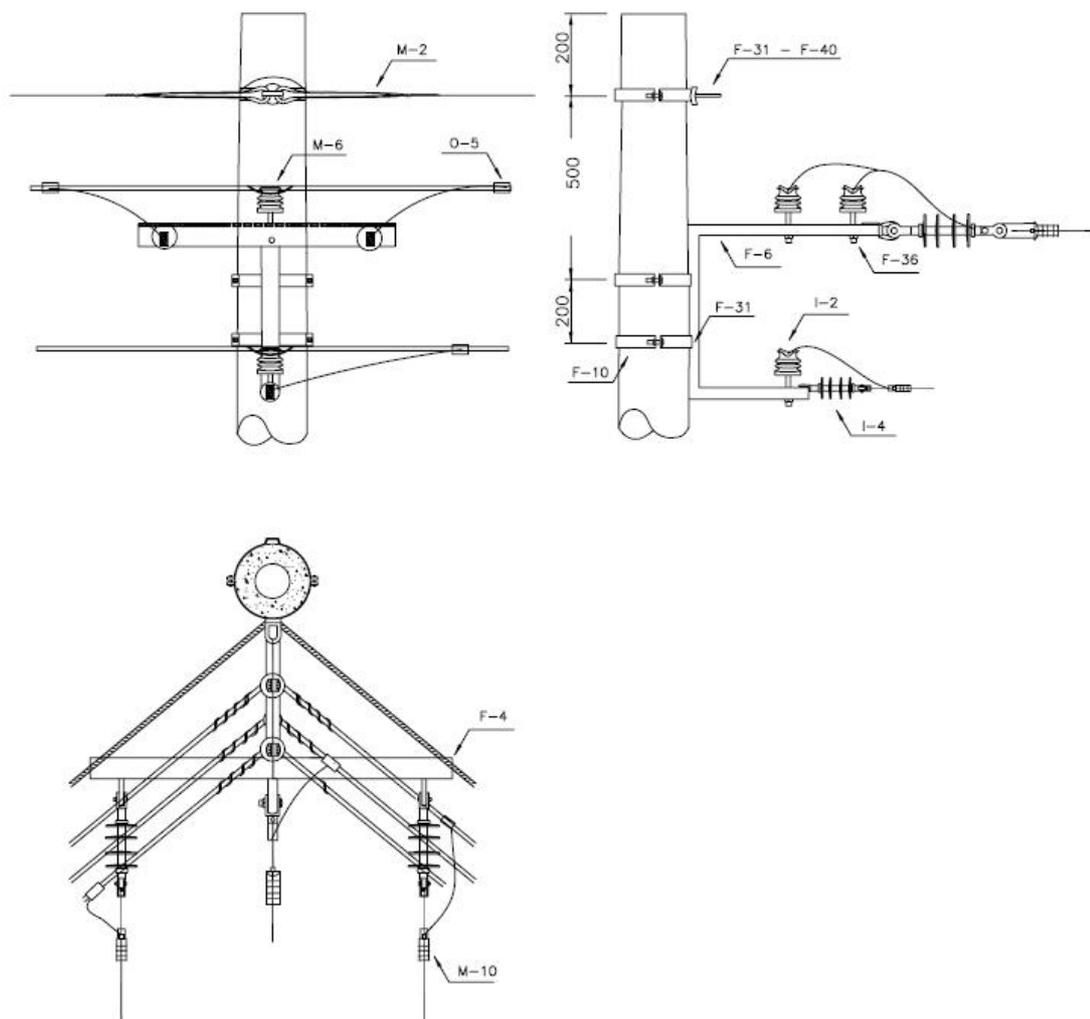


**Figura 3.15 – Estrutura CE 4.**

Fonte: NDU 004 – Energisa.

- **Estrutura CE 2-3**

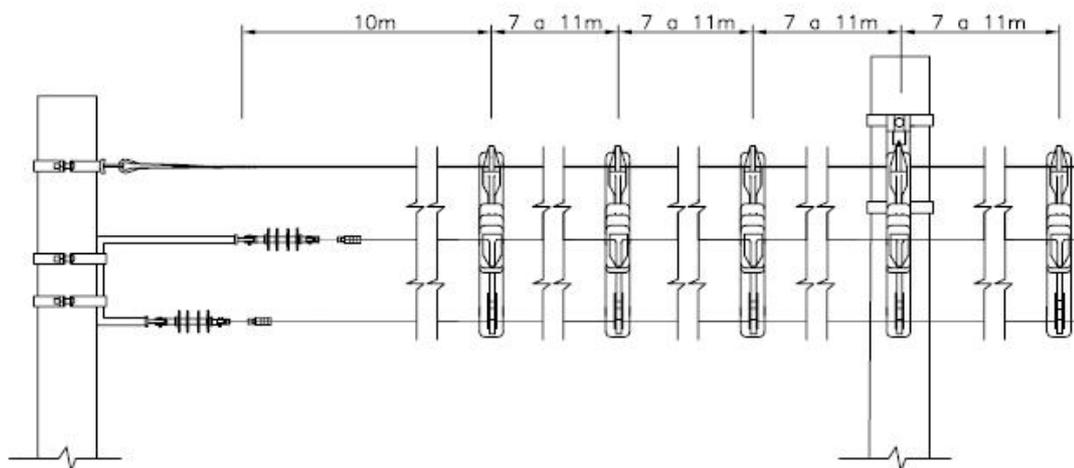
Usada em derivação de circuito em situação de tangência ou deflexão, conforme desenho abaixo.



**Figura 3.16 – Estrutura CE 2-3.**

Fonte: NDU 004 – Energisa.

**3.2.5 Espaçadores:** Serão dispostos em intervalos de 10 metros ao longo dos vãos e também em final e transição de linha, sendo que no primeiro caso as distâncias podem ser de 7 a 11 metros.



**Figura 3.17 – Localização dos Espaçadores.**

Fonte: NDU 004 – Energisa

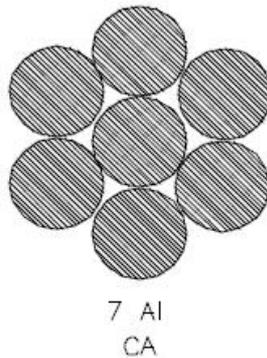
**3.2.6 Condutores:** Com uma potência total de 3.797,5 kVA, que é a soma das potências de todos transformadores do campus, teremos uma corrente nominal de 158,87 A calculada pela fórmula:

$$N = \sqrt{3} \times V_l \times I_n$$

Com  $N = 3.797.500 \text{ VA}$  e  $V_l = 13.800 \text{ V}$ .

Porém a rede primária do campus apresenta demanda muito baixa, já que o medidor encontrado na cabine marca um valor de corrente média de  $I_m = 65 \text{ A}$ . Com isso, verifica-se que os condutores utilizados na rede primária do campus estão conduzindo valores de correntes muito aquém de sua ampacidade. A seguir, são apresentadas as características dos condutores utilizados no projeto. Tanto para a rede convencional, compacta e aterramentos. Sendo também denominada de rede primária, podendo ser encontrada por dois tipos diferentes:

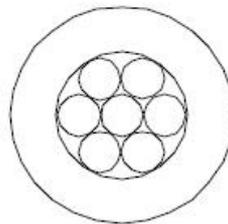
- **Rede Convencional:** Trifásica a quatro fios com o neutro multiterrado e conectado à malha de terra da subestação. Possui nível de tensão nominal de (13.800 / 7.960) V com condutores nus (desencapados) de alumínio e dispostos lado a lado na parte de cima dos postes, com bitola de 2 AWG, secção de 33.63 mm<sup>2</sup> e ampacidade de 168 A.



**Figura 3.18 – Cabo de Alumínio CA.**

Fonte: NDU 006 – Energisa

- **Rede Compacta:** Trifásica a quatro fios com o neutro multiterrado e conectado à malha de terra da subestação. Possui nível de tensão nominal de (13.800 / 7.960) V com condutores protegidos (XLPE) e próximos, separados por espaçadores e com secção de 50 mm<sup>2</sup>, 7 fios, ampacidade de 225 A.

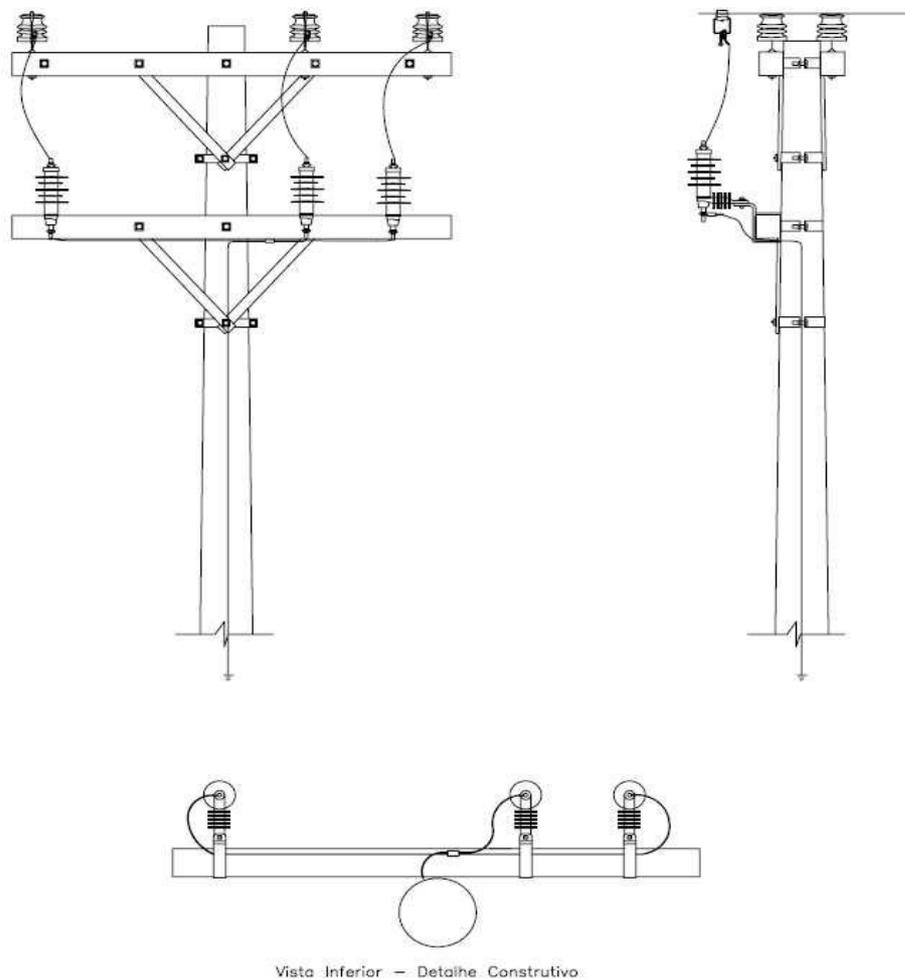


**Figura 3.19 – Cabo Protegido XLPE.**

Fonte: NDU 006 – Energisa

**3.2.7 Equipamentos:** dos equipamentos utilizados no projeto, merecem destaque os instalados nas estruturas convencionais da rede.

- **Pára-raios:** Serão instalados devido a transição da rede aérea para subterrânea, sua ligação a rede primária deverá ser feita através do cabo 50mm<sup>2</sup> protegido e conectado ao mesmo através de Conector Terminal a Compressão. O pára-raios central deverá ser aterrado através de cabo terra e os laterais deverão ser interligados através de um único cabo, conectado ao cabo terra. O barramento deverá passar entre os suportes dos mesmos e a cruzeta, por baixo desta.



**Figura 3.20 - Estrutura do Pára-raios.**

Fonte: NDU 004 - Energisa

- **Chave Fusível:** Em grande parte é utilizada para proteger um transformador. Porém neste caso, será instalada para proteção dos ramais que derivam do alimentador em anel, sendo que o elo-fusível será dimensionado de acordo com a corrente máxima de ramal.

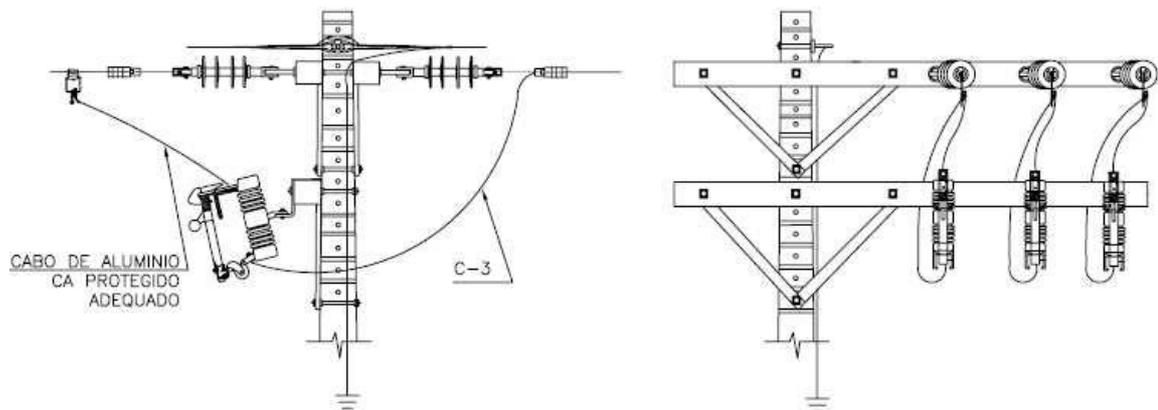


Figura 3.21 – Estrutura com Chave – Fusível.

Fonte: NDU 004 - Energisa

- **Chave Seccionadora:** Seccionadora Tripolar utilizadas para manobras em redes de distribuição. A principal característica para esse tipo de chave que será instalada é a abertura sob carga.



Figura 3.22 – Seccionadora Tripolar.

Fonte: [www.delmar.com.br](http://www.delmar.com.br).

### 3.2.8 Dimensionamento do Elo Fusível:

No início de cada ramal, que é a transição da rede compacta para a nua, será instalada uma chave fusível para proteção dos ramais. Os elos fusíveis serão dimensionados de acordo com a corrente nominal do ramal, que dependerá da soma das potências dos transformadores instalados em cada ramal, através da seguinte fórmula:

$$\sum_j^j = \sqrt{3} V I_n$$

- Potência (VA) do enésimo transformador do ramal

$j$  - Enésimo termo do último transformador do ramal

$V$  - Tensão de linha da rede

$I_n$  - Corrente nominal no ramal

A partir do valor desta corrente nominal encontra-se o valor da corrente admissível, conforme a tabela abaixo, e o correspondente elo a ser utilizado.

<b>Tipo</b>	<b>Corrente Nominal (A)</b>	<b>Corrente Admissível Permanente (A)</b>
0,5H	1	1
1H	1	1
2H	2	2
3H	3	3
5H	5	5
6K	6	9
8K	8	12
10K	10	15
15K	15	23
20K	20	30
25K	25	36
40K	40	60

**Quadro 3.02 – Elo Fusível x Corrente Nominal.**

Como exemplo, será mostrado a seguir o dimensionamento do elo fusível para o ramal do setor A que alimenta os transformadores T02 = 75 kVA, T03 = 112,5 kVA, T04 = 45 kVA, T05 = 75 kVA e T06 = 30 kVA.

Inicialmente somam-se as potências de cada transformador pertencente ao ramal.

Com  $j = 5$ ,  $\sum_{j=1}^5 = 337,5 \text{ kVA}$

Posteriormente é calculada a corrente nominal do ramal.

$$\Sigma P = \sqrt{3} V I_n$$

$$337.500 = \sqrt{3} \times 13.800 \times I_n$$

$$I_n = 14,1 \text{ A}$$

A partir do valor desta corrente nominal  $I_n = 14,1 \text{ A}$ , encontra-se o valor da corrente admissível,  $I_{ad} = I_n \times 1,5 = 21,15 \text{ A}$ . Verificando-se na tabela, o utilizado para esse valor de corrente será o de 15K.

### **Considerações Finais**

Neste trabalho de conclusão de curso foi apresentada uma proposta para reforma da rede de distribuição elétrica do Campus Campina Grande da Universidade Federal de Campina Grande. Nessa proposta, a rede de distribuição primária do campus deixará de ter um arranjo radial e passará a ter um arranjo em anel, de onde derivarão ramais que alimentarão os transformadores. Com as seis chaves seccionadoras com característica de abertura em carga limitando os cinco setores do campus, haverá um melhoramento no fornecimento de energia elétrica para os blocos da UFCG. Todas as alterações proposta para a rede foram embasadas nas Normas de Distribuição Unificadas (NDU's), fornecidas pela concessionária de energia elétrica.

Ainda possuindo área livre para construções, o campus, vem apresentando um grande desenvolvimento infra-estrutural. Com o surgimento de novos blocos, novos ramais poderão ser derivados do alimentador em anel para alimentarem novos transformadores que poderão ser instalados em qualquer setor do campus. Sendo bastante flexível, a rede de distribuição proposta acompanhará o desenvolvimento do campus, sem que haja a necessidade de remoção desta.

## Referências Bibliográficas

ANEEL, *Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica*, Resolução n.º 456, novembro 2000.

CREDER, H., *Instalações Elétricas*, 14ª edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000.

KAGAN, N., DE OLIVEIRA, C. C. B., ROBBA, E. J., *Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica*. Edgar Blucher – 1ª edição, maio 2004

NISKIER, J. e MACINTYRE, A. J., *Instalações Elétricas*. Livros Técnicos e Científicos – 5ª edição, março 2008.

PONCE, A. T., DE BRITO, B., SANTOS, E., KUADA, J. H., DOMINGUES, A., ZAMBENEDETTI, V. C., KLIMKOWSKI, M., BASSLER, M., FRANÇA, J. A., “*OPERAÇÃO EM TEMPO INTEGRAL DE ALIMENTADORES DE DISTRIBUIÇÃO EM ANEL FECHADO*” Congresso Latinoamericano de Distribucion Electrica CLADE, Mar Del Plata, Argentina, Septiembre 2008.

SANTOS, M. M., SÓRIA, R. V., RAUGUST, G. F., MALAQUIAS, L. e JESUS, N. C., “*ANÁLISE DA OPERAÇÃO DA TOPOLOGIA ANEL FECHADO EM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PRIMÁRIA*”. XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE, Curitiba, Paraná, 13 a 15 de Novembro de 2004.

<http://www.abnt.org.br> (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS).

<http://www.energisa.com.br/paraiba> (ENERGISA PARAÍBA).

<http://www.usp.br> – acessado em 10 de novembro de 2009.

## Anexo A – Lista de Material das Estruturas

ITEM	DESCRIÇÃO DE MATERIAL
01	Tube, vergalhão ou barra de cobre
02	Suporte para instalação de TC's e TP's
03	Condutor de cobre nú, bitola mínima 50mm
04	Caixa para relé de proteção
05	Extintor de incêndio a CO2 (2x6kg)
06	Cabo de cobre unipolar 15 kV ou 25 kV
07	Eletroduto de PVC rígido ou aço galvanizado (ver detalhe no desenho 42)
08	Haste de aço cobreado de 16mm x 2400mm
09	Conector tipo T
10	Transformador de Corrente, 15 kV ou 25 kV (Fornecido pela Concessionária)
11	Transformador de Potencial, 15 kV ou 25 kV (Fornecido pela Concessionária)
12	Solda exotérmica ou conector
13	Isolador de passagem interno-interno 15 kV ou 25 kV
14	Caixa para inspeção de haste de terra
15	Transformador de potencial 15 kV ou 25 kV
16	Luminária para lâmpada de 100 W
17	Mufra terminal para 15 kV ou 25 kV, instalação interna
18	Grade de Proteção instalada de 100 a 2100mm
19	Suporte para fixação de pára-raios e mulfas terminais
20	Chapa suporte para isolador de passagem
21	Chave seccionadora tripolar abertura sem carga
22	Suporte para instalação de transformadores para medição (3TPs e 3 TCs), conforme desenho 18
23	Disjuntor tripolar 15 kV ou 25 kV
24	Tube de PVC ou aço galvanizado
25	Pára-raios tipo distribuição polimérico
26	Porta em chapa de aço ou grade com dispositivo para lacre
27	Porta metálica, com cadeado e dispositivo para selagem, com placa conforme desenho 35
28	Abertura de Ventilação
29	Caixa para medição
30	Eletroduto de aço galvanizado aparente

**Tabela I - Materiais da Cabine**

Fonte NDU 002 – Energisa.

LISTA DE MATERIAL					
Item	Quantidade				Descrição – Chave Faca
	Cruzeta Conc.		Cruzeta Mad.		
	Circ.	DT	Circ.	DT	
M-2	2	2	2	2	Alça Preformada para Cabo de Aço
A-2	-	-	8	8	Arruela Quadrada 32mm
A-2	32	34	22	20	Arruela Quadrada 38mm (Estr. B Conc. e M Mad.)
A-2	24	26	22	20	Arruela Quadrada 38mm (Estr. N)
C-3	7,5	7,5	7,5	7,5	Cabo de Alumínio Protegido
E-11	3	3	3	3	Chave Faca Unipolar
F-10	5	-	5	-	Cinta para Poste Circular de Tamanho Adequado
O-5	-	-	6	6	Conector Derivação Adequado
	6	6	-	-	Conector Estribo Adequado
R-6/7	4	4	-	-	Cruzeta de Concreto T 1900mm / L 1700mm
R-3	-	-	4	4	Cruzeta de Madeira 90 x 115 x 2400mm
G-1	6	6	6	6	GLV
M-10	6	6	6	6	Grampo de Ancoragem
I-4	6	6	6	6	Isolador de Ancoragem Polimérico
F-22	6	6	6	6	Manilha Sapatilha
F-20	-	-	8	8	Mão Francesa Plana Nomal 700mm
F-31	-	-	8	8	Parafuso Cabeça Abaulada M12 x 125mm
F-31	-	-	5	-	Parafuso Cabeça Abaulada M16 x 45mm
F-31	10	-	10	-	Parafuso Cabeça Abaulada M16 x 70mm
F-31	8	-	4	-	Parafuso Cabeça Abaulada M16 x 150mm
F-32	6	11	5	10	Parafuso de Rosca Dupla M16 x Tamanho Adequado (Estr. B Conc. e M Mad.)
F-32	4	7	4	9	Parafuso de Rosca Dupla M16 x Tamanho Adequado (Estr. N)
F-40	7	7	7	7	Porca Olhal
A-21	3	3	3	3	Porca Quadrada (Estr. B Conc. e M Mad.)
A-21	1	1	1	1	Porca Quadrada (Estr. N)
P	1	1	1	1	Poste de Concreto
A-25	2	2	2	2	Sapatilha
F-45	8	-	4	-	Sela para Cruzeta

Tabela II – Material para estrutura com Chave Faca na Rede Compacta

Fonte NDU 004 – Energisa.

LISTA DE MATERIAL					
Item	Quantidade				Descrição – Chave fusível
	Cruzeta Conc.		Cruzeta Mad.		
	Circ.	DT	Circ.	DT	
M-2	2	2	2	2	Alça Preformada para Cabo de Aço
A-2	-	-	6	6	Arruela Quadrada 32mm
A-2	20	22	15	18	Arruela Quadrada 38mm (Estr. B Conc. e M Mad.)
A-2	16	20	11	15	Arruela Quadrada 38mm (Estr. N)
C-3	3,5	3,5	3,5	3,5	Cabo de Alumínio Igual ao da Rede
	4	4	4	4	Cabo de Alumínio Protegido Adequado
E-9	3	3	3	3	Chave Fusível
F-10	5	-	5	-	Cinta para Poste Circular de Tamanho Adequado
O-5	-	-	3	3	Conector Derivação Adequado
	3	3	-	-	Conector Estribo Adequado
R-6/7	3	3	-	-	Cruzeta de Concreto T 1900mm / L 1700mm
R-3	-	-	3	3	Cruzeta de Madeira 90 x 115 x 2400mm
A-10	3	3	3	3	Elo Fusível Adequado
G-1	3	3	3	3	GLV
M-10	6	6	6	6	Grampo de Ancoragem Adequado
I-4	6	6	6	6	Isolador de Ancoragem Polimérico
F-22	6	6	6	6	Manilha Sapatilha
F-20	-	-	6	6	Mão Francesa Plana Nomal 700mm
F-31	-	-	6	6	Parafuso Cabeça Abaulada M12 x 125mm
F-31	-	-	4	-	Parafuso Cabeça Abaulada M16 x 45mm
F-31	10	-	10	-	Parafuso Cabeça Abaulada M16 x 70mm
F-31	6	-	3	-	Parafuso Cabeça Abaulada M16 x 150mm
F-32	3	8	3	8	Parafuso de Rosca Dupla M16 x Tamanho Adequado (Estr. B Conc. e M Mad.)
F-32	2	6	2	7	Parafuso de Rosca Dupla M16 x Tamanho Adequado (Estr. N)
F-40	7	7	7	7	Porca Olhal
A-21	3	3	3	3	Porca Quadrada (Estr. B Conc. e M Mad.)
	1	1	1	1	Porca Quadrada (Estr. N)
P	1	1	1	1	Poste de Concreto
A-25	2	2	2	2	Sapatilha
F-45	6	-	3	-	Sela para Cruzeta

Tabela III – Material para estrutura com Chave Fusível na Rede Compacta

Fonte: NDU 004 – Energisa.

LISTA DE MATERIAL					
Item	Quantidade				Descrição
	Cruzeta Conc.		Cruzeta Mad.		
	Circ.	DT	Circ.	DT	
A-2	-	-	2	2	Arruela Quadrada 32mm
A-2	-	4	1	2	Arruela Quadrada 38mm
C-1	0,3	0,3	0,3	0,3	Cabo de Aço 1/2" / Aço cobreado
C-3	3	3	3	3	Cabo de Alumínio CA 50mm <sup>2</sup> Protegido (m)
F-10	2	-	2	-	Cinta para Poste Circular de Tamanho Adequado
O-5	1	1	4	4	Conector Derivação Adequado
	3	3	-	-	Conector Estribo Adequado
	3	3	3	3	Conector Terminal a Compressão
	3	3	3	3	Conector Terminal a Compressão Cabo-Barra p/ Aterramento
R-7/6	1	1	1	1	Cruzeta de Concreto L 1700mm / T 1900mm
R-3	-	-	1	1	Cruzeta de Madeira 90 x 115 x 2400mm
	-	-	3	3	Estribo para GLV
G-1	3	3	3	3	GLV
F-20	-	-	2	2	Mão Francesa Plana Nomal 700mm
F-31	-	-	2	2	Parafuso Cabeça Abaulada M12 x 125mm
F-31	-	-	1	-	Parafuso Cabeça Abaulada M16 x 45mm
F-31	4	-	4	-	Parafuso Cabeça Abaulada M16 x 70mm
F-31	2	-	1	-	Parafuso Cabeça Abaulada M16 x 150mm
F-32	-	2	-	2	Parafuso de Rosca Dupla M16 x Tamanho Adequado
E-29	3	3	3	3	Pára-raios
F-45	2	-	1	-	Sela para Cruzeta

Tabela IV – Material para estrutura com Pára-raios.

Fonte: NDU 004 – Energisa.

## **Anexo B – Planta da Rede do Campus Projetada**

Legenda

-  Transformador 13.800/220/127V
-  Transformador 13.800/380/220V
-  Chave fusível
-  Pólo-raios
-  Aterramento
-  Luminária
-  Poste p/ AT
-  Poste p/ BT
-  Poste p/ AT e BT
-  Rede AT convencional
-  Rede AT compacta
-  Rede BT convencional
-  Rede BT multiplex

