Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

REDE DE SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM MÉDIA TENSÃO – 15 KV DO INSTITUTO POLITÉCNICO DA UFRJ EM CABO FRIO.

LEILA CAROLINA GOMES PINHEIRO

Projeto de graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento, Dr. Eng.

Rio de Janeiro

Agosto de 2013

REDE DE SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM MÉDIA TENSÃO – 15 KV DO INSTITUTO POLITÉCNICO DE CABO FRIO DA UFRJ.

LEILA CAROLINA GOMES PINHEIRO

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO E ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovado por:

_____
Prof. Jorge Luiz do Nascimento, Dr. Eng.
(Orientador)

_____
Prof. José Carlos de Oliveira, Dr.
(Examinador)

_____
Prof. Robson Francisco da Silva Dias, D.Sc.
(Examinador)

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

AGOSTO DE 2013

Agradeço:

À Deus.

Aos meus pais, por estarem sempre presente, terem me fornecido toda a estrutura necessária para a conclusão dos meus estudos e acima de tudo, por serem a base de quem sou hoje e terem me proporcionado esta vida maravilhosa. Devo tudo a eles.

À minha irmã, pela amizade verdadeira, companheirismo e por todos os incentivos.

Aos meus colegas de turma, professores e funcionários, que certamente colaboraram para que eu conseguisse chegar ao fim de mais esta etapa, e tornaram desta uma jornada prazerosa.

À todos os amigos e familiares que sempre estiveram ao meu lado durante toda esta trajetória.

Obrigada!

Resumo do Projeto de Graduação apresentado a Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Rede de Suprimento de Energia Elétrica em Média Tensão – 15 kV do Instituto Politécnico de Cabo Frio da UFRJ.

Leila Carolina Gomes Pinheiro

Agosto/2013

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Curso: Engenharia Elétrica

O Instituto Politécnico de Cabo Frio da UFRJ – IPCF/UFRJ teve sua construção iniciada há alguns anos e está em funcionamento desde 2011. Não há energia elétrica no local e tampouco foi desenvolvido um projeto de instalação elétrica para a escola.
Foi solicitado à Concessionária de Energia Elétrica local (Ampla Energia e Serviços SA) uma ampliação de sua rede de distribuição, porém a mesma recusou a solicitação. Para resolver o problema, apresenta-se neste trabalho uma proposta de rede de suprimento de energia elétrica para o IPCF/UFRJ, a ser construída pelo próprio IPCF, de forma a atender as necessidades energéticas do local.

É calculada a demanda de potência do Instituto e, com base nessa demanda, define-se um traçado para a rede, tipo de rede, dimensionamento dos componentes e todos os itens necessários para o fornecimento de energia elétrica. Por fim, é relacionada uma lista com os materiais necessários para a construção da rede e, também, é calculada uma estimativa de custo para o projeto.

Índice:

Lista de Figuras.....vii
Lista de Tabelas.....viii
1 – Introdução.....1
1.1 – Apresentação.....1
1.2 - Objetivos.....5
1.3 – Organização do trabalho.....5
2 – Levantamento de dados.....7
2.1 – Obtenção de dados de carga.....7
2.1.1 – Determinação da potência instalada.....7
2.1.2 – Determinação da demanda.....13
3 – Anteprojeto.....20
3.1 – Definições.....20
3.2 – Características do projeto.....22
3.2.1 – Nível de tensão do ramal.....22
3.2.2 – Encaminhamento do ramal de ligação.....23
3.2.3 – Tipo de rede.....26
3.2.4 – Subestação.....26
3.2.4.1 – Transformador.....27
3.2.4.2 – Tipo de subestação.....30
3.3 – Planejamento básico.....30
4 – Memorial descritivo do projeto.....32
4.1 – Ramal de ligação.....32
4.1.1 – Postes.....32
4.1.1.1 – Quantidade.....33
4.1.1.2 – Locação dos postes.....33
4.1.1.3 – Dimensionamento.....35
4.1.2 – Condutores.....36
4.1.2.1 – Tipo.....36
4.1.2.2 – Quantidade.....37
4.1.2.3 – Dimensionamento.....37
4.1.2.4 – Distância em relação ao solo.....38
4.2 – Subestação externa.....39
4.3 – Medição.....42
4.4 – Proteção.....44
4.4.1 – Proteção contra sobrecorrente.....45

4.4.1.1 – Chaves fusíveis.....46
4.4.1.2 – Disjuntores.....48
4.4.2 – Proteção contra sobretensão.....49
4.4.2.1 – Para raios.....50
4.5 – Aterramento.....51
4.6 – Entrada ao prédio.....53
4.7 – Configuração da rede no local.....53
5 – Custo do Projeto.....55
5.1 – Lista de material.....55
5.2 – Estimativa de custo.....56
5.2.1 – Custo da mão de obra..... 56
5.2.2 – Custo de transporte..... 57
5.2.3 – Custo dos materiais..... 57
5.2.4 – Custo de administrativo..... 59
5.2.5 – Custo total do projeto..... 60
5.2.6 – Estimativa de orçamento..... 60
6 -Conclusão.....62
Referências bibliográficas.....64

Lista de Figuras

Figura 1 – Localização do Instituto Politécnico de Cabo Frio ……..1
Figura 2 - Instituto Politécnico de Cabo Frio – Vista frontal.....2
Figura 3 - Instituo Politécnico de Cabo Frio – Vista lateral.....2
Figura 4 - Instituto Politécnico de Cabo Frio – Parte em construção.....3
Figura 5 – Elementos de uma entrada de serviço.....20
Figura 6 – Rede de Distribuição da Ampla.....22
Figura 7 – Traçado da rede de esgoto.....23
Figura 8 – Posição da entrada de energia.....24
Figura 9 – Identificação do poste de derivação – Vista 1.....24
Figura 10 – Identificação do poste de derivação – Vista 2.....25
Figura 11 – Encaminhamento do ramal de ligação.....25
Figura 12 – Transformador.....30
Figura 13 – Localização do poste A - Vista 1.....33
Figura 14 – Localização do poste A – Vista 2.....34
Figura 15 – Localização dos postes.....35
Figura 16 – Formação típica cabos CA.....37
Figura 17 – Padrões construtivos da subestação.....41
Figura 18 – Componentes da subestação.....42
Figura 19 – Chave fusível de distribuição.....47
Figura 20 – Para-raios de óxido de zinco sem centelhador.....51
Figura 21 – Montagem da rede de energia (Vista 1).....53
Figura 22 – Montagem da rede de energia (Vista 2).....54

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Levantamento de carga – Iluminação, tomadas e ar condicionado…….....11
Tabela 2 – Levantamento de carga – máquinas.....12
Tabela 3 – Demanda máxima diurna – Iluminação, tomadas e ar condicionado.....16
Tabela 4 – Demanda máxima diurna – máquinas.....16
Tabela 5 – Demanda máxima noturna – Iluminação, tomadas e ar condicionado.....18
Tabela 6 – Demanda máxima noturna – máquinas.....18
Tabela 7 - Rede aérea x subterrânea.....26
Tabela 8 – Postes para subestações simplificadas.....35
Tabela 9 – Condutores de alumínio para ramal de ligação.....36
Tabela 10 – Capacidade dos cabos.....38
Tabela 11 – Dimensionamento de elo fusível para ramal de ligação.....47
Tabela 12 – Dimensionamento de elo fusível para SE simplificada.....48
Tabela 13 – Capacidade de interrupção mínima para disjuntores de baixa tensão.....49
Tabela 14 - Lista de material – Parte 1.....55
Tabela 15 - Lista de material – Parte 2..... 56
Tabela 16 - Custo da mão de obra..... 57
Tabela 17 - Custo de transporte..... 57
Tabela 18 - Custo dos materiais – Parte 1..... 58
Tabela 19 - Custo dos materiais – Parte 2..... 59
Tabela 20 - Custo do setor administrativo..... 60
Tabela 21 - Custo total do projeto.....60

Capítulo 1

Introdução

1.1 – Apresentação

Breve Histórico

O Instituto Politécnico de Cabo Frio IPCF/UFRJ é uma instituição de ensino fruto de um projeto desenvolvido por membros da UFRJ. Localiza-se em um terreno doado à Universidade, endereçado na Avenida Antônio Luiz da Fonseca, uma das principais vias de acesso a cidade de Cabo Frio.

Por força dos termos de doação, a construção do IPCF teve que ser iniciada com pouca infraestrutura de realização de obra e de operação. Sua construção ainda não está concluída. A Figura 1 mostra a localização do terreno, bem como a parte da escola que já foi construída e a parte que ainda está em construção.

Figura 1: Localização do Instituto Politécnico de Cabo Frio – (Fonte: Google Earth, Fevereiro/2013)

Em 2011, mesmo com apenas uma parte do prédio construída, as atividades acadêmicas foram iniciadas concomitantemente com as obras. Situação que permanece até hoje. A Figura 2 mostra a parte já construída da escola, onde as aulas são realizadas e, a Figura 3 mostra parte da lateral do prédio. Já a parte que ainda está em construção pode ser observada através da Figura 4.

Figura 2: Instituto Politécnico de Cabo Frio – Vista frontal

Figura 3: Instituo Politécnico de Cabo Frio – Vista lateral

Figura 4: Instituto Politécnico de Cabo Frio – Parte em construção

Através das Figuras 2, 3 e 4, pode-se observar que a escola foi construída em madeira e não foi feito um projeto elétrico, de tal forma que atualmente no local não há instalação elétrica interna, externa e nem rede de suprimento.

Até meados do mês de fevereiro de 2013 não existia canalização de água no local, e o fornecimento de água se dava através de caminhões pipa. Esta situação foi resolvida este ano, quando a concessionária de saneamento local (Pro Lagos) começou a fornecer água à escola.

A rede de distribuição de energia elétrica da concessionária que atende a Região dos Lagos (Ampla) não contempla a área onde se encontra a escola. Em 2012, foi solicitada a Ampla a construção de uma derivação para o IPCF com origem na rede de distribuição existente no local. Porém, a solicitação não foi atendida pela concessionária.

Situação atual da edificação após parte das obras concluídas

Atualmente, a escola possui 32 ambientes em operação, que são:

- 12 salas de aula;
- 10 banheiros;
- 4 trechos de circulação – escadas e corredores;
- 1 estacionamento;
- 4 varandas;
- 1 Oficina naval.

Como foi dito anteriormente, as instalações do Colégio não dispõem de energia elétrica. De frente a esta situação, a escola enfrenta inúmeros problemas, dentre eles:

- As aulas só podem ser realizadas durante o turno da manhã, pois no período de inverno as tardes ficam escuras. Isto reduz significativamente o número de turmas. Caso houvesse energia elétrica, os turnos da tarde e da noite poderiam ser utilizados e assim um maior número de pessoas poderia usufruir do ensino fornecido;
- Não é fornecida boas condições aos alunos, professores e funcionários. Além da falta de iluminação, não há refrigeração, água gelada, eletrodomésticos necessários para alimentação (geladeira, freezer, fogão);
- Não é possível a utilização de computadores, que são extremamente importantes tanto na administração da escola, quanto para os alunos que necessitam realizar pesquisas via internet, trabalhos escolares, etc.

É evidente que a escola vem enfrentando inúmeras dificuldades por conta da falta de energia no local e, sabe-se que o ensino pode, inclusive, se tornar melhor com o uso de equipamentos elétricos que auxiliem nas aulas (como por exemplo: computadores e projetores).

Tendo em vista as dificuldades relatadas, é evidente que há de se encontrar uma forma de fazer com que a escola passe a usufruir da energia elétrica.

Esta Instituição certamente trará muitos benefícios para a região de Cabo Frio, uma vez que oferecerá um ensino técnico e diferenciado aos jovens da cidade, podendo contribuir para a formação dos mesmos.

Possíveis soluções

Atualmente, existem várias formas de obtenção de energia elétrica. Dentre elas, podem-se destacar as renováveis, bastante comentadas, como a solar e a eólica. Porém, essas fontes de energia ainda são embrionárias no Brasil, apresentando baixo rendimento e exigindo um investimento muito alto. Tanto que no país ainda não pode ser encontrada uma instalação, seja ela uma casa ou um prédio ou qualquer outro estabelecimento, que consiga obter toda a energia elétrica necessária a partir de uma dessas fontes de energia.

Sendo assim, a forma mais apropriada de se levar a eletricidade ao Instituto Politécnico é a partir de uma ampliação da rede de distribuição da Ampla até o local desejado. O projeto de tal rede será fruto do presente trabalho.

1.2 - Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho consiste na elaboração de um projeto de rede de suprimento de energia elétrica que atenda as necessidades do IPCF. Pretende-se resolver a questão da falta de energia na escola, através do desenvolvimento de uma rede de energia elétrica para alimentar as cargas previstas para o local. Esta rede será desenvolvida visando atender a demanda de energia no IPCF e obedecendo as normas vigentes.

O trabalho visa também servir de consulta para futuros trabalhos que tenham temas semelhantes a este.

1.3– Metodologia

Foi determinada a potência instalada e a demanda, de acordo com as cargas estimadas e as fornecidas pelo responsável do IPCF (Professor Walter Issamu Suemitsu).

Foi realizada uma análise para identificar a máxima demanda, considerando os períodos diurno e noturno, de acordo com as atividades previstas para o IPCF. Com a demanda máxima, foi especificado o transformador e projetada a rede, com todos os equipamentos de proteção e seccionamento (tendo como referências as normas vigentes e as da concessionária).

Finalmente foram listados os componentes de construção da rede e da subestação, além do orçamento do projeto.

1.3 - Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em 6 capítulos. No Capítulo 2 serão levantados os dados do IPCF que são necessários e que servirão de base para a elaboração da rede de energia. Nele, serão obtidos os dados da carga, a fim de se determinar a potência instalada (ou que será futuramente instalada) e a demanda.

O Capítulo 3, Anteprojeto, é um estudo preparatório para o projeto. Serão apresentadas algumas definições, que serão amplamente utilizadas ao longo do trabalho, e as principais características que o projeto deve ter.

O Capítulo 4 trata do projeto em si. Nele serão definidos a alocação e dimensionamento de postes, condutores, subestação, medição, proteção e aterramento. O objetivo deste capítulo é basicamente definir o posicionamento dos componentes da rede e

dimensioná-los adequadamente, de modo que ao final do capítulo a rede de energia esteja completa.

Uma relação de materiais necessários para a construção da rede proposta e uma estimativa de custo são apresentados no Capítulo 5.

Por fim, a conclusão do trabalho desenvolvido.

Capítulo 2

Levantamento de dados

Neste Capítulo, serão levantados dados das instalações do Instituto que servirão de base para o projeto.

2.1 – Obtenção de dados de carga

O primeiro passo para a realização de um projeto de alimentação de energia elétrica tem por objeto a determinação da potência total que será utilizada no local a ser atendido. Ou seja, primeiramente deve-se conhecer a necessidade de energia no local para que então sejam definidas as principais características do sistema de alimentação.

Para isso, devem ser realizados dois tipos de cálculos:

a) Determinação da potência instalada.
b) Cálculo da demanda.

Para a realização dos mesmos, são necessárias informações relativas a:

- Planta baixa.
- Localização.
- Características funcionais do local (Uso destinado).
- Cargas a serem alimentadas:

  Para cada carga deve-se conhecer a sua função (luz, tomada, etc), a potência (em kVA), a característica (monofásica ou trifásica) e o valor da tensão de alimentação(V) e a sua localização.

2.1.1 – Determinação da potência instalada

A potência total instalada é determinada a partir do somatório das potências de toda carga elétrica existente (ou que irá existir) no local – lâmpadas, tomadas, equipamentos elétricos e máquinas.

Este levantamento tem por objetivo saber o valor máximo que a carga atingiria caso todos os aparelhos fossem ligados ao mesmo tempo.

É importante notar que, uma vez que é necessário obter a potência total realmente consumida por todas as cargas, deve-se utilizar a potência aparente, a fim de se levar em consideração a contribuição das potências ativa e reativa.

Procedimentos

Em um projeto preliminar, onde o local ainda não foi completamente construído, não se consegue determinar a carga instalada com suficiente exatidão. Para estes casos, o cálculo da potência instalada pode ser feito de modo aproximado, de acordo com experiências de consumo em instalações análogas.

Em um projeto definitivo, onde as cargas já existem no local, a determinação da potência instalada consegue ter uma maior exatidão, já que há uma disposição de dados mais completa. Recorre-se então a um método direto, em que é necessário realizar um levantamento de carga, que consiste na coleta de dados de toda a carga elétrica instalada no local. Como dados necessários, denomina-se:

- Potência aparente (kVA);
- Tensão nominal (V);
- Tipo de alimentação (trifásico, monofásico);
- Fator de potência;
- Modalidade de uso (diurno, noturo, meio período etc).

Alguns utensílios elétricos não fornecem a potência aparente, somente a nominal. Nestes casos, torna-se necessário a aplicação de um fator de potência para cada carga em particular, como a seguir:

$$S\ (kVA) = \frac{P\ (kW)}{fp}$$

Sendo:

S – Potência aparente;

P – Potência nomina;l

Fp – Fator de Potência.

Aplicação

No caso em estudo, não existe instalação elétrica no local. Entretanto, foi fornecido um descritivo preliminar com todas as cargas necessárias a cada ambiente. Este descritivo foi realizado com base em fortes experiências em instalações elétricas, de modo que o mesmo pode ser considerado ideal para a determinação da potência instalada.

Segue o descritivo:

- Cada sala de aula:

    - 8 luminárias com 2 lâmpadas cada – Total de 16 lâmpadas;
    - 10 tomadas;
    - 1 ar condicionado.

- Cada banheiro:

    - 3 luminárias com 1 lâmpada cada – Total de 3 lâmpadas;
    - 2 tomadas.

- Cada escada/corredor:

    - 1 luminária com 1 lâmpada – Total de 1 lâmpada;
    - 1 tomada.

- Cada varanda:

    - 3 luminárias com 2 lâmpadas cada – Total de 6 lâmpadas;
    - 3 tomadas.

- Estacionamento:

    - 24 lâmpadas.

- Oficina naval:

    - 8 luminárias com 2 lâmpadas cada;
    - 6 tomadas.

Além das cargas acima, no descritivo fornecido também foram consideradas algumas máquinas de obras (já que a escola ainda está em construção) e máquinas para a oficina naval. São elas:

- 4 Máquinas para obras de capacidade 2 CV;

- 2 Máquinas para obras de capacidade 5 CV;
- 1 Máquina para obras de capacidade 20 CV;
- 1 Serra mesa circular 10 Hp;
- 1 Desengrosso 12 Hp;
- 4 Furadeira de bancada 2 Hp;
- 1 Serra de fita 2Hp.

Para a determinação da potência instalada, foram montadas duas tabelas com todas as cargas descritas acima e suas respectivas potências nominais. A Tabela 1 descreve as cargas referentes a iluminação, tomadas e ar condicionado, e a Tabela 2 descreve as cargas referentes as máquinas.

Tabela 1: Levantamento de carga – Iluminação, tomadas e ar condicionado

Ambientes		**Lâmpadas**					**Tomadas**					**Ar condicionado**			
Descrição	Quant.	Tipo	Quant. por ambiente	Potência por lâmpada (W)	Potência por ambiente (W)	Potência total parcial (W)	Tipo	Quant. por ambiente	Potência por tomada(W)	Potência por ambiente (W)	Potência total parcial (W)	BTU	Quant. Por ambiente	Potência por ambiente(W)	Potência total parcial (W)
Sala de aula	12	Philips - Eco Master	16	32	512	6.144	3 pinos, 25 A - 220V	10	150	1.500	18.000	58000	1	4.500	54.000
Banheiro	10	Philips - Eco Master	3	32	96	960	3 pinos, 25 A - 220V	2	300	600	6.000	_	_	_	_
Escada/ Corredor	4	Philips - Eco Master	1	32	32	128	3 pinos, 25 A - 220V	1	300	300	1.200	_	_	_	_
Varanda	4	Philips - Eco Master	6	32	192	768	3 pinos, 25 A - 220V	3	300	900	3.600	_	_	_	_
Estacionamento	1	Philips - MasterColour	24	150	3.600	3.600	_	_	_	_		_	_	_	_
Oficina naval	1	Philips - MasterColour	16	32	512	512	3 pinos, 25 A - 220V	6	150	900	900	_	_	_	_
POTÊNCIA ILUMINAÇÃO (W) ---->						12.112	POTÊNCIA TOMADAS (W) ---->				29.700	POTÊNCIA AR CONDICIONADO (W) ---->			54.000

Tabela 2: Levantamento de carga – Máquinas

Máquina	Potência da máquina (VA)	Quant.	Potência parcial total (VA)
Serra Mesa circular 10 Hp	8.200	1	8.200
Desengrosso 12 Hp	9.800	1	9.800
Furadeira de bancada 2 Hp	1.625	4	6.500
Serra de fita 2 Hp	1.600	1	1.600
Máquina Trifásica para obras 2 CV	1.760	4	7.040
Máquina Trifásica para obras 5 CV	4.340	2	8.680
Máquina Trifásica para obras 20 CV	17.550	1	17.550
Potência máquinas ---->			59.370

A partir dos dados obtidos nas Tabelas 1 e 2, ao somar as potências nominais de lâmpadas, tomadas, ar condicionado e máquinas, é possível determinar a carga total instalada:

- Potência Iluminação : 12.112 W;
- Potência Tomadas : 29.700 W;
- Potência Ar condicionado : 54.000 W;
- Potência Máquinas: 59.370 VA.

Utilizando fator de potência 1 para lâmpadas e tomadas e fator de potência 0,8 para o ar condicionado, tem-se:

- Potência de iluminação: 12.112 VA;
- Potência Tomadas: 29.700 VA;
- Potência ar condicionado : $\frac{54.000}{0,8}$ = 67.500 VA;
- Potência Máquinas: 59.370 VA.

Logo, a potência total instalada é:

S = 12.112 + 29.700 + 67.500 + 59.370
S = 168.682 VA.

2.1.2 – Determinação da demanda

De posse do valor da potência total instalada, deve-se então calcular a demanda.

Todas as cargas instaladas em um local não são utilizadas ao mesmo tempo. Se todos os componentes (fiações, eletrodutos, proteções etc) fossem dimensionados simplesmente pela soma das cargas previstas para uma instalação, certamente haveria um sobre dimensionamento e um gasto desnecessário.

Uma demanda mal determinada pode acarretar em uma entrada de energia que custe muito caro e nunca seja utilizada na sua plenitude, ou ainda, uma entrada subdimensionada pode ocasionar desligamentos por sobrecarga frequentes.

No cálculo da demanda, é determinada a Demanda máxima, que é a maior potência provável de ser utilizada ao mesmo tempo. É a soma das potências das cargas que funcionam simultaneamente no momento de maior exigência da instalação.

Procedimento

Para se calcular a demanda de potência, são utilizados fatores de utilização (ou fatores de demanda), que são definidos pelo quanto a carga é usada em um certo período de tempo. É a razão entre a demanda máxima em um certo intervalo de tempo e a potência total instalada no local.

$$FD = \frac{Demanda\ máxima}{Potência\ total\ instalada}$$

Os valores de fatores de demanda devem estar entre 0 e 1. Se o valor for próximo a 1, significa que o local consegue utilizar toda a sua carga instalada ao mesmo tempo.

A demanda máxima é determinada calculando-se o valor da potência em que o consumo de energia atinge seu maior nível, cálculo este que pode ser feito com base em experiências em instalações análogas.

No caso de uma escola, faz-se um estudo analisando o uso simultâneo de cargas em outras escolas, o modo de utilização de aparelhos e/ou máquinas, análise do local onde está situada a instalação, entre outros aspectos.

Aplicação

Serão analisadas duas situações: A demanda máxima diurna e a demanda máxima noturna. Assim, é possível determinar em qual período há o maior nível provável de consumo de energia.

Posteriormente, será aplicada a expressão do fator de demanda, para que então seja conhecido este valor.

- Demanda máxima diurna**:**

Para o período do dia, serão considerados:

- Uso de todas as salas de aula (total de 12 salas)
  - Iluminação – Considera todas as lâmpadas ao mesmo tempo, uma vez que, em dias de inverno, o local pode ficar escuro;
  - Tomadas – Uso de 3 tomadas simultaneamente por sala de aula;
  - Ar condicionado – Uso de todos os aparelhos. A escola está localizada em uma cidade onde o verão atinge temperaturas bastante elevadas.

- Uso da oficina naval
  - Iluminação – Uso de todas as lâmpadas ao mesmo tempo, pelo mesmo motivo das salas de aula;
  - Tomadas – Uso de 3 tomadas simultaneamente;
  - Máquinas – Uso de todas as máquinas destinadas a oficina simultaneamente.

- Varandas
  - Iluminação - Sem iluminação, já que o ambiente, por ser do lado de fora, recebe luminosidade do sol durante o dia, dispensando a necessidade de utilização de lâmpadas;
  - Tomadas – Uso de 1 tomada. Esta tomada pode ser utilizada para ligar aparelhos de limpeza e, dificilmente serão utilizados mais que um aparelho de limpeza ao mesmo tempo nas varandas;

- Estacionamento sem iluminação, pelo mesmo motivo exposto as varandas.

- Escada/Corredor
  - Iluminação – Uso de todas as lâmpadas em simultâneo, pelo mesmo exposto as salas de aula;
  - Tomadas – Considera o uso de 1 tomada, pelo mesmo motivo das varandas.

- Uso de cinco banheiros ao mesmo tempo
  - Iluminação – Todas as lâmpadas dos cinco banheiros;
  - Tomadas – Uso de 4 tomadas ao todo.

- Uso de máquinas para obras, já que as obras são executadas, principalmente, durante o dia.
  - Uso de 1 máquina de 17.550 VA, 2 máquinas de 1.760 VA e 1 máquina de 4.340 VA, simultaneamente.

A Tabela 3 descreve a utilização de cargas de iluminação, tomadas e aparelhos de ar condicionado. A demanda das máquinas é apresentada na Tabela 4.

Tabela 3: Demanda máxima diurna – iluminação, tomadas e ar condicionado

	Iluminação		Tomadas		Ar condicionado	
	Qtd. Lâmpadas	Potência (W)	Qtd. Tomadas	Potência (W)	Qtd. Aparelhos	Potência (W)
12 Salas de aula	192	6144	36	5400	12	54000
5 Banheiros	15	480	4	1200	-	-
Varandas	0	0	1	300	-	-
Escada/Corredor	4	128	1	300	-	-
Oficina	16	512	3	450	-	-
Estacionamento	0	0	-	-	-	-
Total iluminação:		7.264 W	Total tomadas: 7.650W		Total ar cond.: 54.000 W	

Tabela 4: Demanda máxima diurna – Máquinas

Máquinas		
Para obras		
Qtd.	Potência (VA)	Potência total
1	17.550	23.650 VA
2	1.760	
1	4.340	
Oficina		
Qtd.	Potência (VA)	Potência total
1	8.200	26.100 VA
1	9.800	
4	6.500	
1	1.600	

Alguns valores de potência foram obtidos em Watt, ou seja, em potência ativa. Necessita-se obter esses valores em potência aparente, que significa o valor de potência que a unidade realmente consome.

Para isto, são utilizados fator de potência 1 para as lâmpadas e tomadas, e fator de potência 0,8 para o ar condicionado.

Deste modo, tem-se:

- Demanda da iluminação: 7.264 VA;
- Demanda das tomadas: 7.650 VA;
- Demanda do ar condicionado: 54.000 / 0,8 = 67.500 VA;
- Demanda das máquinas: 49.750 VA.

Somando estes valores, chega-se ao valor da demanda máxima diurna:

S_{diurno} = 132.164 VA.

O fator de demanda é obtido através de:

$$FD = \frac{132.164\ VA}{168.682\ VA} = 0{,}78$$

O resultado do fator de demanda significa que, no período diurno, o momento em que se consome mais energia utiliza praticamente 80% de toda a carga instalada.

- Demanda máxima noturna:

Para o período da noite, serão considerados:

- Uso de 8 salas de aula (Normalmente, a noite há menos turmas):
  - Iluminação – Uso de todas as lâmpadas;
  - Tomadas – Uso de três tomadas por sala;
  - Uso do ar condicionado nas 8 salas.

- A oficina naval não será utilizada no turno da noite (Definido pela Instituição).

- Varandas:
  - Uso de todas as lâmpadas, visto que a noite necessita-se de iluminação;
  - Utilização de apenas 1 tomada.

- Estacionamento completamente iluminado, com todas as luminárias ligadas.

- Escada/Corredor:
  - Uso de todas as lâmpadas;
  - Uso de nenhuma tomada.

- Utilização de 4 banheiros simultaneamente:
  - Todas as lâmpadas ligadas;
  - Uso de 1 tomada em cada banheiro.

- Uso de 1 máquina para obras. Não são consideradas todas as máquinas pois a noite, dificilmente terá obras a pleno trabalho.

A Tabela 5 descreve a utilização de cargas de iluminação, tomadas e aparelhos de ar condicionado. A demanda das máquinas é apresentada na Tabela 6.

Tabela 5: Demanda máxima noturna – iluminação, tomadas e ar condicionado

	Iluminação		**Tomadas**		**Ar condicionado**	
	Qtd. Lâmpadas	Potência (W)	Qtd. Tomadas	Potência (W)	Qtd. Aparelhos	Potência (W)
8 Salas de aula	128	4096	24	3600	8	36000
4 Banheiros	12	384	5	1500		
Varandas	24	768	1	300		
Escada/Corredor	4	128	0	0		
Oficina	0	0	0	0		
Estacionamento	24	3600	-			
Total iluminação:		8.976 W	Total tomadas: 5.400W		Total ar cond.: 36.000 W	

Tabela 6: Demanda máxima noturna – Máquinas

Máquinas		
Para obras		
Qtd.	Potência (VA)	Potência total (VA)
1	17550	17.550
0	1760	
0	4340	
Oficina		
Qtd.	Potência (VA)	Potência total
0	8200	0
0	9800	
0	6500	
0	1600	

Utilizando fator de potencia 1 para iluminação e tomadas e fator de potencia 0,8 para ar condicionado, tem-se que:

- Demanda iluminação: 8.976 VA;
- Demanda tomadas: 5.400 VA;
- Demanda ar condicionado: 36.000/0,8 = 45.000 VA;
- Demanda máquinas: 17.550 VA.

Somando esses resultados, chega-se ao valor da demanda máxima noturna:

$$S_{noturno} = 76.926 \text{ VA}.$$

O fator de demanda é obtido a partir de:

$$FD = \frac{76.926\,VA}{168.682\,VA} = 0{,}45$$

O resultado do fator de demanda mostra que, a noite, é utilizado aproximadamente 50% da carga total instalada.

Comparando as demandas diurna e noturna, nota-se que a demanda de carga chega ao máximo durante o dia, já que 132.164 VA > 76.926 VA.

Deste modo, fica então definido que a demanda máxima é de:

$$S_{máx} = 132.164 \text{ VA}.$$

Conhecido o valor de potência necessária a escola, os próximos capítulos tratarão de projetar uma rede de energia elétrica que suporte esta demanda de potência e alimente o local.

Capítulo 3

Anteprojeto

Antes de iniciar efetivamente a elaboração do projeto de construção da rede, é importante realizar um estudo preparatório ou esboço do projeto. Ou seja, é necessário desenvolver as preliminares do plano. A isto se chama Anteprojeto.

Basicamente, o projeto a ser elaborado contempla a construção de uma rede que deriva de um dos postes da rede de distribuição de energia elétrica local (Ampla), alimenta um poste particular que consequentemente alimentará a escola. Portanto, deve-se realizar um estudo preparatório que possibilite a projeção desta rede.

3.1 – Definições

A seguir, são apresentadas definições de alguns termos que serão amplamente utilizados neste trabalho.

Uma rede tal como a qual deve ser projetada pode ser representada pela Figura 5.

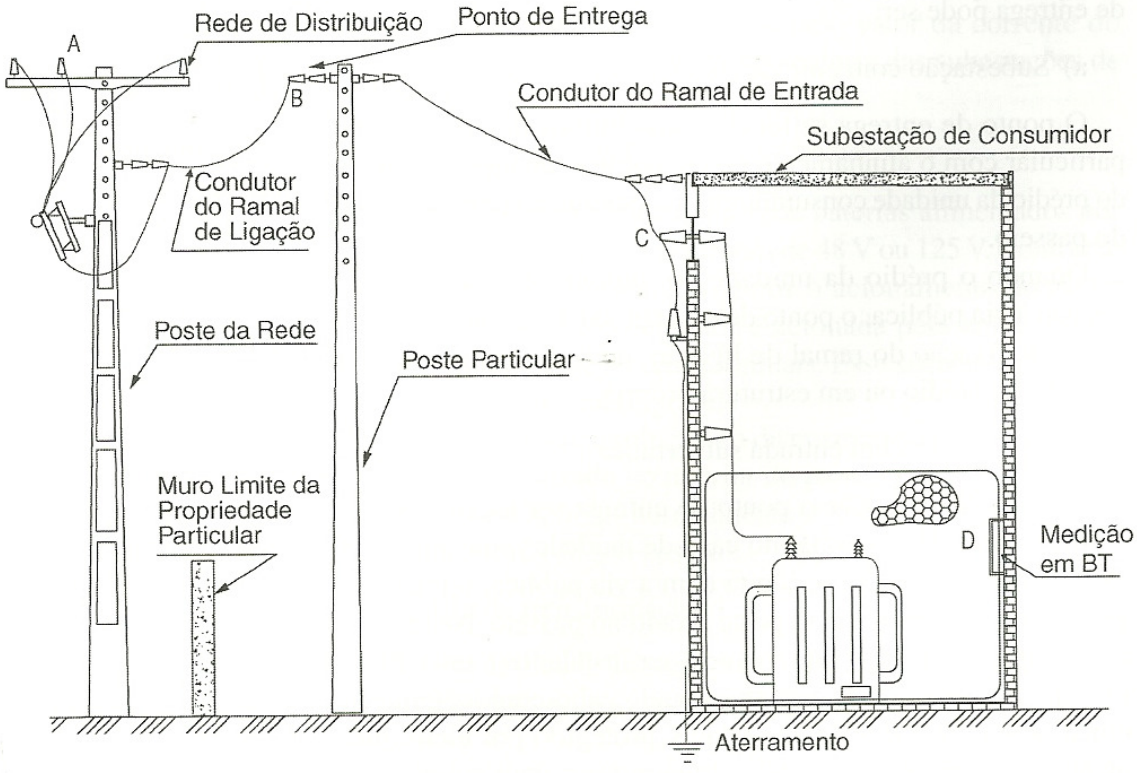

Figura 5: Elementos de uma entrada de serviço (Fonte:Instalações elétricas industriais – João Mamede Filho)

A situação representada na Figura 5 é denominada entrada de serviço, e compreende o trecho do circuito entre o ponto de derivação da rede de distribuição e os terminais da medição.

A entrada de serviço compreende três diferentes partes. São elas:

- Ponto de ligação

É aquele de onde deriva o ramal de ligação e corresponde ao ponto A da Figura 5.

- Ramal de ligação

É o trecho do circuito aéreo compreendido entre o ponto de ligação e o ponto de entrega, que corresponde ao ponto B da Figura 5. Na realidade, o ramal de ligação é uma extensão do sistema de suprimento de energia.

- Ponto de entrega

É o ponto onde o ramal de ligação entrega energia ao poste particular do consumidor. Corresponde ao ponto C da Figura 5.

Quando a fachada do prédio da unidade consumidora é construída no limite do passeio, o ponto de entrega se localiza nos limites da propriedade particular com o alinhamento da via pública.

Quando o prédio da unidade consumidora é afastado em relação a via pública, o ponto de entrega se localiza no primeiro ponto de fixação do ramal de ligação.

Além da entrada de serviço, há o ramal de entrada:

- Ramal de entrada

É o conjunto de condutores, com os respectivos materiais necessários a sua fixação e interligação elétrica do ponto de entrega aos terminais da medição.

No caso de ramal de entrada aéreo, é aquele constituído de condutores nus suspensos em estruturas para instalações aéreas.

Em ramal de entrada subterrâneo, os condutores são isolados e são instalados dentro de um duto ou diretamente enterrados no solo.

O ramal de entrada está representado na Figura 5 pela letra D.

3.2 – Características do projeto

Entende-se por características do projeto as principais definições que devem ser feitas em primeiro plano, como:

- Ramal de ligação em baixa ou média tensão;
- Traçado do ramal de ligação;
- Ramal de ligação aéreo ou subterrâneo;
- Existência ou não de subestação;
- Tipo de subestação, caso haja.

3.2.1 – Nível de tensão do ramal

A parte da rede de distribuição existente mais próxima a escola se encontra na Avenida Antonio Luis da Fonseca e passa na calçada do lado oposto a do colégio, como pode ser observado na Figura 6, onde a ponte de madeira representa a principal entrada ao instituto.

Figura 6: Rede de distribuição da Ampla - (Fonte:Google Earth, Fevereiro/2013)

Sabe-se que a rede de distribuição da Ampla tem tensão de 15 kV. A escola deve ter tensão de alimentação nos níveis 127/220 V. Portanto, em algum ponto do ramal de ligação há de se colocar um transformador de forma a abaixar o valor da tensão.

Para isto, existem duas hipóteses:

- Ramal de ligação em baixa tensão: Seria colocado um transformador em um poste da rede de distribuição e, a partir daí, a rede seguiria em direção a escola em baixa tensão.

- Ramal de ligação em média tensão: Seria feito uma derivação em um poste da rede de distribuição, e a partir daí a rede seguiria em direção a escola em média tensão. Perto do prédio, seria colocado um transformador de forma a abaixar a tensão.

Em consulta a Ampla, a mesma não autorizou que fosse colocado um transformador em um de seus postes. Logo, por determinação da própria Concessionária, o ramal de ligação a ser projetado deve ser em média tensão – 15 kV.

3.2.2 - Encaminhamento do ramal de ligação

O ramal deve ser construído de tal forma que no futuro o mesmo não interfira na construção de outros prédios ou, estacionamentos, ou qualquer outra utilização que o terreno possa ter. Isto é, deve-se traçar um caminho para a rede em um local que não atrapalhe futuras construções. No caso em estudo, foi observada a existência de um canal de esgoto, que tem o traçado como mostra a Figura 7.

Figura 7: Traçado da rede de esgoto - (Fonte: Google Earth, Fevereiro/2013)

Visando atender ao exposto anteriormente, foi definido que a rede de energia deve passar ao lado do canal de esgoto, uma vez que neste local é improvável que haja utilização do terreno no futuro.

Portanto, a entrada de energia no prédio da escola será como mostra a Figura 8.

Figura 8: Posição da entrada de energia (Fonte: Google Earth, Fevereiro/2013)

Deste modo, o Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) será posicionado no lado de trás da escola, parte esta que ainda se encontra em construção.

Para a definição do encaminhamento do ramal, identificou-se o poste da rede de distribuição mais próximo a escola (do local de onde se dará a entrada de energia) para que o mesmo fosse definido como Poste de Derivação. Este poste pode ser observado nas Figuras 9 e 10.

Figura 9: Identificação do poste de derivação – Vista 1 (Fonte: Google Earth, Fevereiro/2013)

Figura 10: Identificação do poste de derivação – Vista 2 (Fonte: Google Earth, Fevereiro/2013)

O Ramal de ligação deverá, a partir do poste de derivação, atravessar a avenida perpendicularmente, em direção a calçada oposta. A partir deste ponto, a rede deve seguir ao lado do canal de esgoto, até um outro ponto, onde se dará a entrada de energia para o prédio.

O encaminhamento pode ser melhor entendido através da Figura 11.

Figura 11: Encaminhamento do ramal de ligação - (Fonte: Google Earth, Fevereiro/2013)

Medindo o caminho definido no item acima, tem-se que:

- Comprimento do percurso sobre a via pública: 32,4 metros
- Comprimento do restante do percurso até o IPCF: 110,8 metros

- Comprimento total do ramal de ligação: 143,20 metros

3.2.3 – Tipo de rede

Existem dois tipos de redes de energia: as redes aéreas e as redes subterrâneas.

Chama-se de rede aérea de distribuição de energia toda a distribuição de energia exposta, onde seus circuitos e equipamentos são sustentados por meio de postes e estruturas. Na rede de distribuição subterrânea, toda a distribuição de energia elétrica fica enterrada, e seus circuitos e equipamentos ficam dentro de dutos e caixas de inspeção e manutenção.

As concessionárias preferem a distribuição aérea por ter seu custo mais baixo e pelo fato de ser muito mais rápida para ser implantada. Ao comparar o transtorno gerado em uma obra de distribuição aérea versus subterrânea que contempla a implantação de 1 Km de circuito novo tem-se, de acordo com a Tabela 7:

Tabela 7: Rede aérea x subterrânea

Tipo de circuito	Qtd. De buracos e valas abertos	Local do buraco	Duração da obra
Aéreo	10 buracos c/ 1,5 de raio	Somente em calçadas	Entre 3 e 7 dias
Subterrâneo	1 km de vala + Poços p/ equip.	Ruas e calçadas	Entre 8 e 15 dias

O custo mais baixo da rede aérea se deve ao fato de não ser necessária a abertura de vala, construção de caixas subterrâneas e posterior recomposição de todo o trecho aberto. Além disso, como a duração de uma obra para circuito aéreo é muito menor em comparação ao subterrâneo, o gasto com equipes de mão de obra é mais baixo.

Na cidade de Cabo Frio, a predominância é rede de distribuição aérea. De forma a manter o padrão, reduzir custos e prazo de obra, optou-se por projetar o ramal de ligação de forma aérea.

3.2.4 – Subestação

O valor de tensão que deve alimentar a escola é 127 V/220 V. Já foi definido que o sistema de alimentação será em média tensão – 15 kV.

Logo, torna-se necessário desenvolver uma subestação transformadora, onde o principal componente será um transformador capaz de refletir em seu secundário o valor de tensão necessário, fazendo com que a energia chegue ao local com um nível de tensão adequado.

Existem vários tipos de subestação. De forma geral, as subestações podem ser dos tipos abrigada e ao tempo. São elas:

- Subestação de instalação exterior – É aquela em que os equipamentos são instalados ao tempo, sob condições de chuva, raios solares e de descargas atmosféricas. Essas subestações podem ser classificadas segundo a montagem dos equipamentos em dois tipos:
  - Subestações aéreas em plano elevado: São assim consideradas as subestações cujo transformador está fixado em poste ou plataforma elevada. As normas da maioria das concessionárias limitam em 150 kVA a potência do transformador instalado em um só poste, ficando a instalação em dois postes para transformadores de potência igual ou superior a 225 kVA.
  - Subestações de instalação no nível do solo: São aquelas em que o transformador é instalado em base de concreto construída ao nível do solo.

  A maioria das concessionárias de energia definem que este tipo de subestação pode ser utilizada para transformadores com potência de até 300 kVA.

- Subestação abrigada – É aquela em que os equipamentos e aparelhos são instalados em dependências abrigadas do tempo (chuva e raios solares). Para essa maneira de instalação, as subestações podem ser construídas em alvenaria ou em invólucro metálico.

3.2.4.1 – Transformador

Para a definição do tipo de subestação a ser projetada, primeiramente deve-se dimensionar o transformador a ser utilizado.

Existem vários tipos de transformador, que podem ser distinguidos de acordo com:

- Finalidade : Transformadores de Corrente, de potencial, de distribuição, de força;
- Quanto aos enrolamentos: Transformadores de dois ou mais enrolamentos, autotransformador;
- Quanto aos tipos construtivos: Material do núcleo, forma do núcleo, número de fases, forma de dissipação de calor.

A descrição detalhada de todos os tipos de transformadores foge do escopo deste trabalho. Portanto, a seguir serão descritas somente as principais características de um transformador (dados de carga), que devem estar relatadas em seu catálogo e gravadas em placa metálica disposta no próprio transformador de forma visível.

Potência nominal Sn (kVA):

Indica a máxima potência suportável de acordo com os requisitos térmicos do transformador.

Tensões nominais Primária e Secundária Vn_1/Vn_2 (kV):

Indicam os valores de tensão para os quais os enrolamentos foram projetados.

Correntes nominais Primária e Secundária In_1, In_2 (A):

Indicam os valores de correntes suportáveis nos enrolamentos sem que cause sobreaquecimento. São aquelas para os quais os enrolamento foram dimensionados.

Tensão de curto-circuito percentual:

É a tensão que deve ser ligada aos terminais de um enrolamento para obter a corrente nominal no outro enrolamento, cujos terminais estão curto-circuitados.

Corrente a vazio:

É o valor da corrente de linha que surge quando, em um dos enrolamentos é ligada a tensão nominal enquanto que o outro enrolamento está sem carga.

Corrente de curto circuito:

É o valor da corrente que surge quando o transformador encontra-se curto-circuitado.

Perdas no ferro P_{fe} (W):

Indica as perdas no ferro a tensão nominal.

Perdas no cobre P_{cu} (W):

Indica as perdas no cobre a corrente nominal.

Seleção do transformador

Uma vez encontrado o valor da demanda máxima absorvida pela instalação, deve-se escolher o transformador (ou transformadores) a ser utilizado. Os principais critérios de escolha são:

a) Eventuais aumentos de potência instalada

Por mais bem projetada que seja uma instalação inicialmente, pode ser que haja aumento de carga instalada. Portanto, seria interessante prever um aumento de carga de 5% a 15%.

b) Conveniência de utilização de mais de um transformador

Ao instalar mais de um transformador em paralelo, o rendimento de cada um deles se torna maior e, além disso, caso venha a ocorrer danos a um transformador ou simplesmente manutenção, a carga pode continuar sendo alimentada (mesmo que em uma parcela menor) pelo outro transformador. O custo inicial evidentemente seria maior, uma vez que seria necessário a compra de dois transformadores ao invés de um. Porém, esse custo pode ser compensando pelo fato de que, na falta de um outro transformador, se um parar de funcionar, a instalação ficaria completamente parada. Portanto, deve ser feita uma análise visando qual situação traria maiores benefícios ao local, tanto no aspecto econômico quanto no aspecto funcional.

A previsão de demanda máxima no Instituto Politécnico de Cabo Frio é de 132.164 VA. Para efeito de cálculo, este valor será arredondado para 133 kVA.

Tendo em vista o fato de que a escola ainda está em construção, é evidente que este consumo de energia será maior no futuro, quando a construção estiver completamente finalizada.

No cálculo da demanda foram consideradas máquinas para obras, que consomem bastante energia e assim contribuíram com uma parcela significativa no valor da demanda máxima. Porém, no término das obras, essas máquinas não serão mais utilizadas, o que certamente diminuirá a demanda de potência.

Em resumo, futuramente a escola será maior, mas o consumo de energia advindo das máquinas para obras será excluído. Portanto, será considerado aqui que uma situação compensará a outra.

Com relação a utilização de dois transformadores em paralelo, certamente traria uma confiabilidade maior. Mas pelo fato de ser uma escola, uma possível falta de energia não acarretaria em grandes problemas, até mesmo porque o local já está em funcionamento há dois anos sem energia.

No mercado, podem ser encontrados transformadores com os seguintes níveis de potência: 15 kVA , 30 kVA, 45 kVA, 75 kVA, 112 kVA, 150 kVA, 225 kVA, 300 kVA, 500 kVA, 750 kVA.

O transformador deve suportar uma potência de 133 kVA. Dos valores descritos acima, aquele que se encaixa nesse padrão é o de 150 kVA. A Figura 12 mostra um transformador semelhante ao que deve ser usado neste projeto, cuja especificação é:

- Potência: 150 kVA
- Norma de Fabricação: NBR 5440
- Refrigeração: ONAN - Óleo Natural, Ar Natural - Imerso em óleo isolante mineral
- Classe de Tensão (kV): 15 kV
- Tensão Primária: 13,8/13,2/12,6 kV
- Tensão Secundária: 220/127 V
- Primário: Triângulo (delta)
- Secundário: Estrela com neutro acessível
- Deslocamento Angular: 30°
- Freqüência nominal: 60 Hz
- Elevação de Temperatura: 65° C no ponto médio dos enrolamentos, 60° C no topo do óleo
- Pintura externa anticorrosiva com acabamento na cor cinza claro Munsell N6.5
- Perdas em vazio (perdas no ferro): 485 W
- Perdas totais: 2335 W
- Corrente de excitação: 2,3 %
- Impedância a 75° C: 3,5 %

Figura 12: Transformador Weg

3.2.4.2 – Tipo de subestação

Uma vez definido o transformador, pode-se partir para a escolha do tipo de subestação.

Para este caso, optou-se por uma subestação externa e de instalação no poste.

3.3 – Planejamento básico

A seguir, há um esquemático do que deve ser projetado.

Em resumo, o projeto a ser elaborado contempla a projeção de uma rede e uma subestação externa em poste.

Capítulo 4

Memorial descritivo do projeto

Neste Capítulo será descrito o projeto em si, suas características, disposição e dimensionamento dos componentes necessários, assim como a memória de cálculo.

4.1 – Ramal de ligação

A projeção do ramal de ligação contempla a quantificação e o dimensionamento de seus principais componentes, que são os postes e os cabos.

4.1.1 – Postes

Os postes são estruturas de madeira ou concreto que tem como uma de suas finalidades o suporte de redes aérea de energia elétrica.

Atualmente, na maioria dos locais, o poste de concreto é o mais utilizado. Sua fabricação deve seguir os critérios construtivos de acordo com a NBR 8451: Postes de concreto armado para redes de distribuição de energia elétrica.

Um poste de concreto pode ser definido pelos seguintes elementos característicos:

- Comprimento

Os comprimentos padronizados dos postes são de 9,10,11,12 e 13 metros. Havendo necessidade, pode-se solicitar o fabrico de um poste com outros comprimentos.

- Formato

São fabricados postes com diversos tipos de secção – circular, quadrada, retangular e duplo T.

- Resistência nominal

É o valor do esforço que o poste deve suportar na direção e sentido indicados de grandeza tal que não produza, em nenhum plano transversal, momento fletor que prejudique a qualidade dos materiais.

4.1.1.1 - Quantidade

Os afastamentos mínimos entre os postes são, normalmente, em torno de 30 e 40 metros. Uma vez que a distância total a ser percorrida pela rede é de 143,20 metros, torna-se necessário a utilização de 4 postes, com distância entre eles de mais ou menos 35 metros.

Para fins de projeto, os postes serão denominados A, B, C e D.

4.1.1.2 – Locação dos postes

O poste A deve ser alocado do lado oposto ao poste da Ampla, a 33 metros do mesmo, no limite do terreno da escola com a via pública, como mostram as Figuras 13 e 14.

Figura 13: Localização do poste A – Vista 1 - (Fonte: Google Earth, Fevereiro/2013)

Figura 14: Localização do poste A – Vista 2 - (Fonte: Google Earth, Fevereiro/2013)

O poste B deve estar a 35,30 metros do poste A, seguindo o caminho do canal de esgoto, e o poste C deve ser posicionado a 35,30 metros do poste B.

O poste D deve ficar a 35,30 metros do poste C e a 4,8 metros do prédio da escola. O mesmo sustentará a subestação simplificada.

A Figura 15 mostra a disposição dos postes.

Figura 15: Localização dos postes - (Fonte: Google Earth, Fevereiro/2013)

4.1.1.3 – Dimensionamento

Para o dimensionamento dos postes, é necessário consultar a norma da concessionária de energia local e atentar para as características exigidas da estrutura.

No caso de Cabo Frio, a norma especifica o poste padrão como:

Formato: Poste de concreto com secção circular

Comprimento: 11 metros

Resistência nominal: 400 daN

Em postes utilizados para subestações simplificadas, além de ter que suportar peso dos cabos, o poste também terá de suportar o transformador. Logo, a resistência nominal da estrutura requerida depende do tamanho do transformador. A Tabela 8: Postes para subestações simplificadas, retirada da Norma, página 44, fornece os seguintes dados:

Tabela 8: Postes para subestações simplificadas

Transformadores	Postes de concreto
Até 150 kVA	11m x 400 daN
De 225 kVA até 300 kVA	11m x 600 daN (para transformadores até 1300 kg de peso total)

De acordo com a definição das características do transformador no item 3.2.3.1, tem-se que o poste deve ser dimensionado para um transformador de 150 kVA. Assim, a estrutura a ser utilizada deve ter as seguintes características:

Formato: Poste de concreto com secção circular

Comprimento: 11 metros

Resistência nominal: 400 daN

Serão utilizados 4 postes: 3 destinados basicamente ao apoio dos cabos (Poste A, B e C) e um destinado a ter uma subestação simplificada (Poste D). Deste modo, o dimensionamento deve ser, para todos os postes:

- Poste de concreto de secção circular
- Comprimento de 11 metros
- Resistência nominal de 400 daN

4.1.2– Condutores

O cabo condutor é utilizado para transportar a energia elétrica de um ponto a outro de um circuito. São feitos de cobre ou de alumínio, pois esses metais têm excelentes características condutoras de eletricidade.

4.1.2.1 - Tipo

Segundo a Norma, os cabos do ramal de ligação e entrada aérea devem ter as seguintes características:

- Cabo de alumínio

  O alumínio é um material mais leve e com custo inferior, se comparado com o cobre.
- Cabo nu

  A instalação do cabo será em local de difícil acesso as pessoas e, portanto, não oferece grau de risco elevado. O custo deste cabo é mais barato, uma vez que, para a fabricação do mesmo, não são utilizados materiais de isolamento.

A norma ainda diz que, para o dimensionamento do cabo, deve-se orientar-se pela Tabela 4 – Condutores de alumínio para ramal de ligação, na página 43. Esta tabela está, em parte, representada abaixo, na Tabela 9.

Tabela 9: Condutores de alumínio para ramal de ligação

Ramal	Tipo	Condutor	Seção nominal
Aéreo	Convencional	AAAC	25 mm² , 50 mm² e 160 mm²
		CA	2 AWG, 1/0 AWG e 336,4 MCM
	Compacto	Protegido	35 mm², 50 mm² e 185 mm²
	Multiplexado	Isolado	35 mm² e 95 mm²

O cabo CA (Cabo Alumínio) é um condutor encordoado concêntrico, composto de uma ou mais camadas de fios de alumínio. Pode ser fornecido em diversas classes de encordoamento e têmperas para melhor satisfazer as exigências de aplicação. Sua formação típica pode ser notada na Figura 16, onde cada circunferência menor representa um fio:

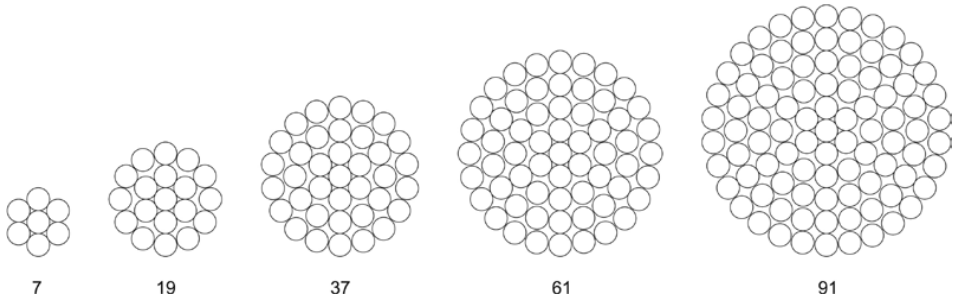

Figura 16: Formação típica cabos CA

(Fonte: alubar.net.br – Catálogo Técnico 2012-2)

O cabo AAAC (All Aluminum Conductors) é um condutor encordoado concêntrico, composto de uma ou mais camadas de fios de liga. Foi desenvolvido para preencher a necessidade de um condutor econômico, para aplicação aérea, onde é requerida uma maior resistência mecânica do que a obtida com o condutor de alumínio CA. Sua formação típica é também igual a figura 16.

Para o projeto, os cabos do ramal de ligação e entrada aérea serão do tipo convencional CA.

4.1.2.2 - Quantidade

Visto que o ramal de ligação será trifásico, serão necessários 3 cabos, um para cada fase. O comprimento de cada um deve ser em torno de 145 metros.

4.1.2.3 - Dimensionamento

O dimensionamento do cabo depende da intensidade de corrente elétrica que por nele passará. Portanto, primeiramente deve-se realizar o cálculo para obtenção do valor desta corrente.

Sabe-se que a potência nominal do transformador é 150 kVA.

A tensão no ramal será de 15 kV.

Portanto, tem-se que:

S = 150 kVA

V = 15 kV

A obtenção do valor da corrente de linha (corrente que passa por cada fase) pode ser obtida através da simples aplicação dos dados anteriores na fórmula abaixo:

$$S = \sqrt{3}VI$$

Logo,

$150.000 = 15.000 \times I\sqrt{3}$

$I = 5,77$ A

Portanto, o valor máximo da intensidade de corrente elétrica que passará em cada cabo será de aproximadamente 5,8 A. Mais uma vez, para efeito de cálculo, este número será arredondado para 6 A.

De acordo com a tabela 4, as seções nominais padronizadas são de 2 AWG, 1/0 AWG e 336,4 MCM.

A partir de pesquisas realizadas, foram encontradas as seguintes capacidades para os cabos com as seções nominais padrão, de acordo com a Tabela 10:

Tabela 10: Capacidade dos cabos

Seção nominal	Capacidade (A)
2 AWG	95
1/0 AWG	125
336,4 MCM	235

Como a corrente que será transportada é em torno de 6 A, o cabo com seção nominal de 2 AWG atende perfeitamente a necessidade do projeto.

Logo, para o ramal de ligação serão utilizados cabos de alumínio Nu, de 2 AWG (Aproximadamente 34mm²).

4.1.2.4 - Distância em relação ao solo

A distância que os cabos devem ter em relação ao solo é um ponto extremamente importante, pois eles devem ser posicionados de tal forma que pessoas e veículos não tenham fácil acesso, visando assim a segurança tanto das pessoas quanto da própria rede.

As normas das concessionárias de energia locais definem essa distância mínima de acordo com a área que será contemplada na rede, ou seja, para uma rede construída em calçada, a distância é diferente daquela construída em ruas e estradas. Esta análise leva em consideração a movimentação usual da área. Por exemplo: Em calçadas, há movimentação apenas de pedestres. Já em ruas, estradas e avenidas, a movimentação é também de veículos, que são maiores. Assim, os cabos da rede devem ser posicionados a uma distância vertical maior em ruas do que em calçadas.

O caminho definido para construção do ramal de ligação contempla as seguintes áreas:

- 20,6 metros de travessia em avenida asfaltada e calçada
- 118,3 metros de passagem no terreno da escola, solo de terra.

A distância em relação ao solo deve ser, no mínimo, aquela especificada pelo item 9.1.2 da Norma:

- Ruas, avenidas e entradas para veículos: 6 metros
- Ruas e vias exclusivas a pedestres: 5,5 metros

Deste modo, pode-se definir a distância do ramal na vertical como:

- Na travessia da avenida: 8 metros
- Nos 118,9 metros de passagem no terreno da escola : 8 metros

No terreno da escola pode haver circulação de veículos. Por isso foi definida a altura de 8 metros para a rede neste local.

4.2 – Subestação externa

Em uma subestação externa em poste (ou simplificada), o principal componente é o transformador.

O transformador de distribuição convencional de 150 kVA deve ter, segundo a Norma, as seguintes características:

- Ligação do enrolamento primário em triângulo;
- Ligação do enrolamento secundário em estrela com o neutro acessível;
- Enrolamentos em cobre;
- Derivações primárias;
- Deslocamento angular de 30 graus;
- Nível básico de isolamento de 95 kV;
- Classe de tensão de 15 kV.

O transformador deve obedecer as especificações da NBR 5356.

De acordo com a Norma, a subestação deve estar a no máximo 5 metros do prédio consumidor. Como estará localizada no poste, o mesmo fica definido a ter sua localização a 4 metros de distância da escola.

O transformador deve ser fixado no poste através de estruturas metálicas e a uma distância de 7,5 metros na vertical. Esta distância foi definida a partir da tabela presente na página 27 da Norma.

A subestação deve ainda seguir os padrões construtivos segundo a Figura 17, retirada da Norma (Desenho 02). Nela, são mostrados todos os equipamentos necessários, e que estão listados na Figura 18.

Todos os equipamentos e materiais usados na instalação da subestação devem ser especificados, fabricados e ensaiados segundo normas específicas da ABNT.

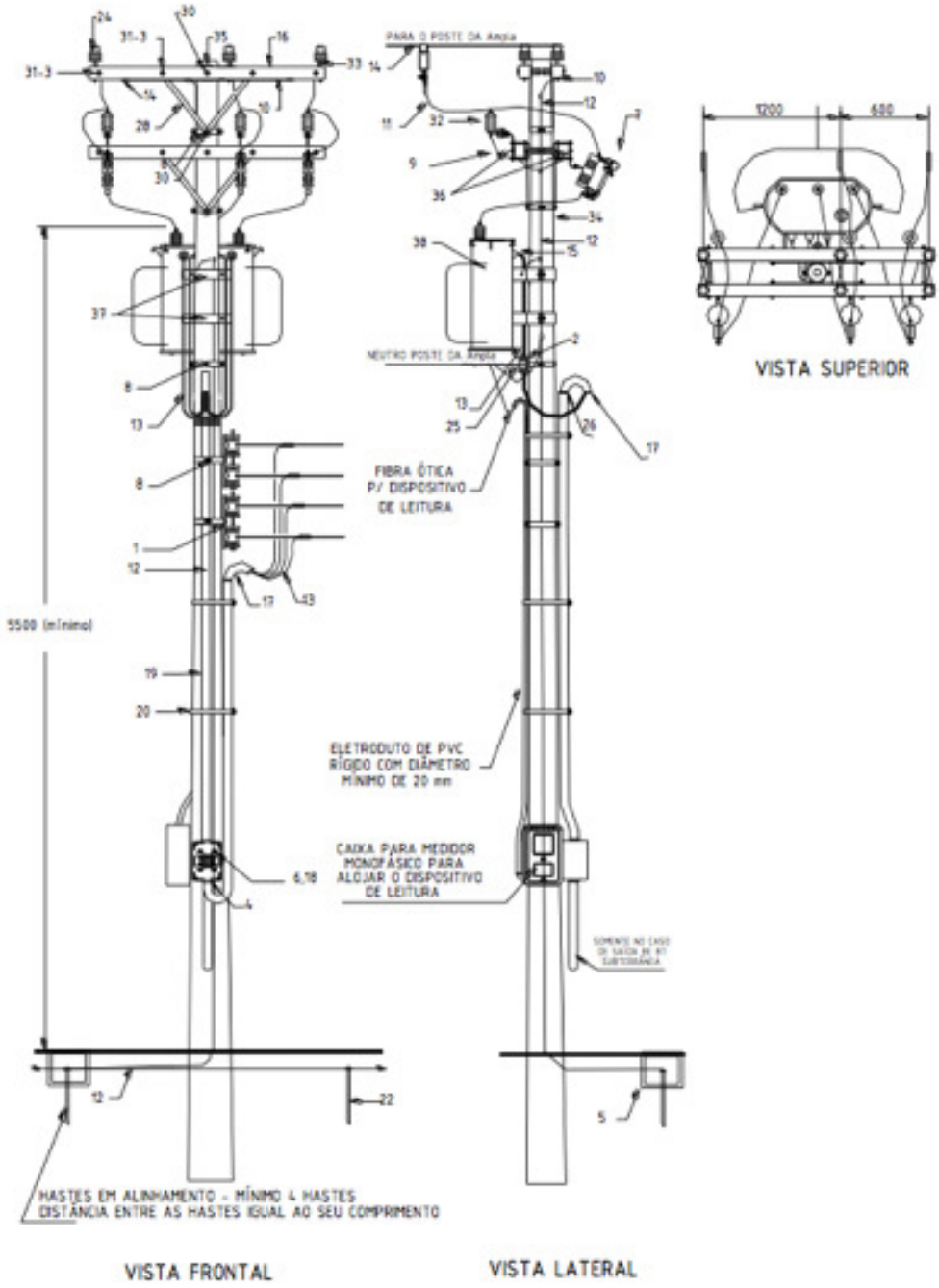

Figura 17 – Padrões construtivos da subestação

Item	Descrição
1	Armação secundária dupla;
2	Armação secundária simples;
3	Arruela quadrada;
4	Bucha e Arruela para Eletroduto de PVC;
5	Caixa para aterramento;
6	Caixa padronizada de tamanho adequado para disjuntor;
7	Chave fusível 100 A – 10 kA;
8	Cinta para poste de seção circular de diâmetro adequado;
9	Condutor de cobre nu # 16 mm² (19 fios);
10	Condutor de cobre nu # 16 mm² (7 fios);
11	Condutor de cobre nu # 25 mm² (7 fios);
12	Condutor de cobre nu # 35 mm² (7 fios);
13	Condutor unipolar de cobre 0,6/1,0 kV de bitola adequada;
14	Conector cunha derivação e cunha tipo estribo;
15	Conector terminal a compressão para condutor de cobre nu, adequado;
16	Cruzeta de madeira de 2000 mm de comprimento;
17	Curva de 135º ou 180º em PVC com diâmetro adequado;
18	Disjuntor adequado;
19	Eletroduto em PVC rígido de diâmetro adequado;
20	Fita de aço inoxidável com trava para amarração de eletroduto;
21	Gancho olhal (ao aplicar isolador de disco ou polimérico de ancoragem);
22	Haste cobreada para aterramento
23	Isolador de disco de vidro – classe 15 kV (ramal em condutor de cobre – Área com ambiente agressivo);
24	Isolador de pino/polimérico de ancoragem – classe 15 kV (ramal em condutor de alumínio).
25	Isolador roldana – classe 600 V;
26	Luva de emenda em PVC para eletroduto;
27	Manilha sapatilha e alça pré-formada adequada (ao aplicar isolador de disco ou polimérico de ancoragem);
28	Mão Francesa Plana (Normal)
29	Olhal (ao aplicar isolador de disco ou polimérico de ancoragem);
30	Parafuso de cabeça abaulada de comprimento adequado;
31	Parafuso de cabeça quadrada de comprimento adequado;
32	Para-raios a óxido metálico com corpo polimérico, 12 kV / 10 kA;

Item	Descrição
33	Pino de isolador com porcas e arruelas;
34	Poste de concreto (Tabela 5);
35	Sela para cruzeta;
36	Suporte para chave corta circuito ou para-raios;
37	Suporte para transformador em poste de seção circular de diâmetro adequado;
38	Transformador de distribuição;

Figura 18: Componentes da subestação

No desenho, são mostrados alguns equipamentos referentes a proteção. Estes serão tratados em item adiante.

4.3 – Medição

Para obter o consumo de energia mensal, as concessionárias de energia instalam um dispositivo eletromecânico e/ou eletrônico (Medidor) capaz de mensurar o consumo de energia elétrica.

Existem dois tipos de medição: a medição direta e a indireta.

Medição direta:

Este tipo de medição é usada quando o consumidor é atendido em tensão inferior a 2,3 kV, ou seja, quando o consumidor é atendido em tensão secundária de distribuição. Nela, toda a energia consumida pela instalação passa pelo medidor.

Medição indireta:

É usada quando o consumidor é atendido em tensão superior a 2,3 kV. Nela, somente uma parcela da energia consumida passa pelo medidor. Este tipo de medição pode ser subdivida em 2:

a) Medição indireta em baixa tensão

Para sistemas de 380/220 V, este tipo de medição é aplicada quando a transformação apresenta potência igual ou inferior a 300 kVA. Em sistemas de 220/127 V, esta medição é aplicada quando a transformação apresenta potência igual ou inferior a 225 kVA. Em ambos os casos, utiliza-se um transformador de corrente (TC) com a finalidade de adequar o valor da corrente para que possa ser lido pelo aparelho de medição. Para a medição indireta em baixa tensão, o aparelho de medição fica localizado depois do transformador.

b) Medição indireta em alta tensão

Quando o valor da potência de transformação for diferente daqueles estabelecidos no item anterior, utiliza-se a medição indireta em alta tensão. Neste caso, são necessários transformadores de corrente (TC) e transformadores de tensão (TP), a fim de adequar o valores de corrente e tensão para que possam ser aferidos pelo aparelho de medição.

Para a medição indireta em alta tensão, o aparelho de medição fica posicionado antes do transformador.

Em ambos os casos da medição indireta, a energia consumida é obtida multiplicando-se a energia registrada nos medidores por uma constante de medição que dependerá dos equipamentos auxiliares (TP e TC).

Aplicação

A medição será do tipo indireta em baixa tensão, já que o transformador será de 150 kVA.

O medidor deve ser instalado no poste de transformação (poste D), abaixo do transformador e a uma altura acessível a visão das pessoas, para que assim a leitura do aparelho seja possível.

Quanto ao tipo do medidor, este fica a critério da Ampla. Segundo a Norma, a concessionária tem obrigação de fornecer o equipamento de medição e instalá-lo.

4.4 – Proteção

Durante a operação de qualquer sistema elétrico, podem ocorrer situações anormais que afetam o funcionamento do mesmo. Com o intuito de garantir, preservar os elementos da rede e prevenir danos ao consumidor, é feita a proteção dos sistemas elétricos.

As principais funções de um sistema de proteção são:

- Retirar de serviço um equipamento ou parte do sistema que esteja defeituoso;
- Proteger os operadores, consumidores e animais;
- Evitar danos materiais;
- Melhorar a continuidade do serviço;
- Diminuir despesas com manutenção corretiva.

Dentre as propriedades básicas, as principais são:

- Confiabilidade: Probabilidade do sistema de proteção funcionar com segurança e corretamente, sob todas as circunstâncias;
- Seletividade: Esta propriedade é capaz de reconhecer e selecionar as condições que devem operar, a fim de evitar operações desnecessárias;
- Velocidade: Um sistema de proteção deve possibilitar o desligamento do trecho ou equipamento defeituoso no menor tempo possível;
- Sensibilidade: Um sistema de proteção deve responder as anormalidades com menor margem possível de tolerância entra a operação e não operação dos seus equipamentos.

Os estudos para a implementação da proteção elétrica de um sistema devem levar

em consideração os seguintes aspectos:

- Econômico – Atualmente, existem sistemas de proteção que utilizam equipamentos sofisticados, porém mais caros. Deve-se optar pelo melhor custo-benefício;
- Propagação do defeito – Evitar que o defeito possa atingir outros equipamentos da rede, causando danos a esses ou interferindo na operação normal do sistema;
- Tempo de não operação – Minimizar o tempo da não disponibilidade do fornecimento de energia.

Basicamente, as anomalias que podem afetar as redes são a sobretensão e a sobrecorrente. Nos itens que seguem, serão abordados a proteção do sistema para esses dois tipos de anomalias.

4.4.1 – Proteção contra sobrecorrente

Sobrecorrente é a intensidade de corrente elétrica superior a máxima corrente permitida para um sistema.

É considerado um estado de sobrecorrente quando a corrente que passa pelos elementos de um circuito é maior do que a corrente nominal. As causas para esse estado pode ser atribuída a dois casos:

- Sobrecorrente devido a sobrecarga

  Pode ser derivada de um aumento de carga (alimentação de uma carga a mais com corrente que ultrapassa os limites nominais em uma determinada instalação);

- Sobrecorrente devido a curto-circuito

  O curto-circuito ocorre quando a resistência em um circuito diminui, aumentando assim a corrente.

A proteção contra a sobrecorrente é feita a partir de chaves-fusíveis e relés em conjunto com disjuntores.

4.4.1.1 - Chaves-fusíveis

Chave fusível é um dispositivo eletromecânico constituído de porta fusível e demais partes destinadas a receber um elo fusível, que é uma peça composta de um elemento fusível que, ao circular uma corrente maior que a permitida, derrete, interrompendo assim o circuito.

Portanto, a função básica da chave-fusível é a interrupção do circuito quando ocorrer a fusão do elo fusível.

Suas principais características de especificação são:

- Tensão nominal;
- Frequência;
- Corrente nominal;
- Corrente de interrupção;
- Corrente de curta duração.

As chaves podem ser classificadas segundo sua aplicação em dois tipos:

- Chaves- fusíveis de distribuição

  São aquelas cujas características são inerentes aos sistemas de distribuição, como por exemplo, o fato de serem construídas para montagem em cruzetas, tensões nominais serem nas faixas de 11,4 kV, 13,2 kV, 13,8 kV.

- Chaves- fusíveis de força

  São aquelas usadas em subestações com a finalidade de proteção de barramentos, transformadores, bancos de capacitores. São construídas para montagem em estruturas de subestações.

De modo geral, as chaves-fusíveis empregadas até 25 kV são denominadas de distribuição. Acima deste valor, são consideradas de força.

A Figura 19 mostra uma chave-fusível de distribuição.

Figura 19: Chave-fusível de distribuição

Aplicação

Segundo a Norma, deverão ser instaladas 2 chaves fusíveis como a seguir:

- 1 chave-fusível na conexão do sistema elétrico da Ampla com o ramal de ligação, ou seja, no poste da Ampla, de onde parte o ramal.
  Esta chave tem como finalidade a proteção do ramal de ligação contra sobrecorrentes. Quanto a suas especificações, deve ter corrente nominal de 100 A e capacidade de curto-circuito de 10 kA. O dimensionamento do elo-fusível para esta chave deve ser feito de acordo com a Tabela 1 da norma, que está representada de forma simplificada na Tabela 11.

Tabela 11: Dimensionamento de elo fusível para Ramal de ligação

Potência instalada	Elo fusível
75 kVA	10K
112,5 kVA	10K
150 kVA	10K
225 kVA	15K
300 kVA	25K

Visto que a potência instalada na escola está mais próxima de 150 kVA, o elo fusível deve ser de 10K.

- 1 Chave-fusível no poste em que se encontra a subestação simplificada.
  Esta chave tem como finalidade a proteção da subestação na média tensão contra sobrecorrentes. Quanto as suas especificações, deve ter corrente nominal de 100 A e capacidade de curto-circuito de 10 kA.
  O dimensionamento do elo fusível para esta chave deve ser feito de acordo com a Tabela 1 da norma, que está representada de forma simplificada na Tabela 12.

Tabela 12: Dimensionamento de elo-fusível para SE simplificada

Potência instalada	Elo fusível
75 kVA	5H
112,5 kVA	6K
150 kVA	6K
225 kVA	10K
300 kVA	15K

A potência instalada é próxima de 150 kVA. Portanto, o elo fusível para a chave-fusível a ser instalada no poste da subestação deve ser de 6k.

A mesma deve ser instalada conforme mostra o Desenho 02 da Norma.

4.4.1.2 - Disjuntores

Os disjuntores são dispositivos eletromecânicos projetados para abrir ou fechar um circuito. São capazes de:

- Transportar correntes em valor nominal em condições normais de funcionamento durante tempo indefinido;
- Suportar corrente de falha em valor predeterminado por tempo definido;
- Estabelecer e interromper correntes a valores predeterminados.

Em ocorrência de uma sobrecorrente, seja ela devido a sobrecarga ou curto-circuito, o disjuntor deve desarmar (abrir), protegendo assim o circuito.

Dentre as características de especificação de um disjuntor, as principais são:

- Corrente nominal;
- Tensão nominal;
- Frequência nominal;
- Capacidade de interrupção em curto-circuito.

O seu dimensionamento deve ser feito de acordo com as normas de concessionárias locais.

Aplicação

Deve ser instalado um disjuntor com a finalidade de proteção na baixa tensão contra sobrecorrente. O mesmo deve ser posicionado abaixo do transformador, a uma altura de cerca de 1,5 metro do chão.

Este disjuntor terá a função de proteger o condutor do ramal de entrada a escola e interromper o fornecimento de energia caso haja uma sobrecorrente.

De acordo com a Norma da Ampla, o disjuntor deve ser termomagnético com função de sobrecarga e curto-circuito, e sua montagem está exemplificada no Desenho 02 da norma.

O dimensionamento do disjuntor deve ser feito de acordo com a Tabela 3 da norma, representada de forma simplificada na Tabela 13.

Tabela 13: Capacidade de interrupção mínima para disjuntores de baixa tensão

Transformador	Capacidade de Interrupção mínima
Até 75 kVA	10 kA
112,5 kVA	20 kA
150 kVA	20 kA
225 kVA	20 kA
300 kVA	25 kA

O transformador a ser usado na subestação é de 150 kVA. Logo, o disjuntor deve ter capacidade de interrupção mínima de 20 kA.

4.4.2 – Proteção contra sobretensão

Sobretensão é o valor de tensão elétrica que ultrapassa o limite máximo de tensão permitido para um sistema. Esse estado pode surgir em decorrência de origem interna ou externa.

A de origem interna é devido a ocorrência de manobras no sistema elétrico, como desligamento e ligamento de linhas de transmissão. Essas manobras podem originar sobre tensões locais ou em áreas remotas do sistema.

Já a sobretensão de origem externa refere-se as descargas atmosféricas, que podem causar sérias perturbações nas redes aéreas de distribuição de energia elétrica, induzindo surtos de tensão que chegam a centenas de kV nas redes.

Os dispositivos de proteção contra sobretensão tem como função a redução das amplitudes das sobretensões no sistema protegido a níveis preestabelecidos, de modo que após a ocorrência de uma sobretensão, o sistema protegido não seja danificado.

Dentre os dispositivos existentes para esta finalidade, os para-raios são os mais eficazes, tanto do ponto de vista técnico como do econômico, e por isso, são os mais utilizados.

4.4.2.1 - Para-raios

Os para-raios são dispositivos construídos com material de baixa resistência elétrica e ficam ligados a terra através de cabos condutores. Sua função é a de capturar a descarga atmosférica (comumente chamada de raios) e criar um caminho para esta descarga até a terra, sem danificar a rede, a estrutura a qual se encontra instalado ou as pessoas.

Um para-raios ideal pode ser definido como tendo as seguintes características:

- Apresentar uma impedância infinita entre os seus terminais, ou seja, comportar-se como um circuito aberto até a ocorrência de uma sobretensão no sistema;
- Ter a capacidade instantânea de entrar em condução quando ocorrer uma sobretensão com valor próximo ao da tensão nominal do sistema, mantendo esse nível de tensão de início de condução durante toda a ocorrência da sobretensão;
- Parar de conduzir, retornando a condição de circuito aberto assim que a tensão do sistema retornar ao seu estado inicial.

Dentre todos os tipos de para-raios existentes, nenhum deles tem a capacidade de atender plenamente aos requisitos acima expostos de um para-raios ideal.

Atualmente, o tipo de para-raios mais próximo ao ideal é o de Óxido de Zinco (ZnO) sem centelhadores, tornando-se o mais empregado em sistemas de potencia.

Este tipo de para-raios é formado por elementos cerâmicos a base, principalmente, de óxido de zinco (ZnO). A figura 20 mostra um destes dispositivos.

Figura 20: Para-raios de óxido de zinco sem centelhador

As principais características de especificação são:

- Tensão nominal: Valor de tensão para o qual o para-raios foi fabricado e tem condições de operar satisfatoriamente.

- Tensão máxima de operação em regime contínuo: É o maior valor de tensão para o qual o para-raios foi projetado, de modo a operar continuamente com esta tensão aplicada a seus terminais.

O dimensionamento de um dispositivo para-raios, deve seguir as orientações das normas das concessionárias de energia locais.

Aplicação

De acordo com a Norma, deve-se utilizar um para-raios de 12kV-10kA a óxido de zinco, com invólucro polimérico, sem centelhador, provido de desligador automático.

O dispositivo deve ser instalado no poste da subestação, acima do transformador, conforme mostra o Desenho 02 da norma, representado aqui pela Figura 17.

O condutor de descida do aterramento dos para-raios tem de ser ligado aos terminais do mesmo e deve ser de cobre nu, de 16 mm², conforme a lista de materiais para subestação simplificada presente na norma. A carcaça do transformador e o neutro da rede devem ser ligados a este condutor.

4.5 – Aterramento

Um sistema de aterramento tem como finalidade a dispersão de correntes elétricas no terreno. A necessidade de se ter um sistema como este é derivado de:

- Motivos de segurança: Para limitar os riscos as pessoas e equipamentos, reduzindo a probabilidade de passagens de correntes elevadas no sistema para ocorrência de uma falha.

- Motivos de funcionamento: Para permitir um melhor funcionamento da instalação elétrica.

O objetivo do sistema de aterramento é fazer com que, em caso de ocorrência de uma falha, a tensão na qual uma pessoa possa ser exposta se mantenha em valores inferiores ao qual é suportável pela mesma, sem apresentar riscos.

Basicamente, um sistema de aterramento consiste na conexão de um condutor ao solo, que pode ter como finalidades:

- Aterramento de alguma parte do sistema elétrico, proporcionando um caminho de baixa impedância a terra;
- Aterramento de partes metálicas não energizadas de equipamentos elétricos, visando a segurança das pessoas.

Dos tipos de aterramento, o mais comum são hastes metálicas colocadas abaixo do chão, conectadas por condutores que partem dos equipamentos que se quer aterrar.

Essas hastes são geralmente feitas de aço com revestimento em cobre, com seu comprimento variando entre 1 metro e 3 metros. Elas podem ser dispostas de modo a formar um polígono ou manter sempre a mesma distância entre elas, sendo essa distância o mais próximo possível do comprimento de uma barra.

Aplicação

Um sistema de aterramento deve ser instalado abaixo do poste em que se encontra a subestação simplificada, a uma distância de 30 centímetros abaixo do chão, e deve ser da seguinte forma: 4 hastes cobreadas, de 3 metros cada, alinhadas entre si a uma distância de 3 metros.

Estas especificações foram obtidas conforme a Norma.

O neutro do sistema, o para-raios e a carcaça do transformador devem ser aterrados através de um condutor de cobre nu de 35 mm², que será ligado as hastes enterradas no solo. Este esquema pode ser observado no Desenho 02 da norma (ou Figura 17).

4.6 – Entrada ao prédio

Após a passagem pelo medidor e pelo disjuntor, os condutores devem seguir para a escola, dentro de eletrodutos de PVC, de modo subterrâneo, onde alimentarão o quadro geral de baixa tensão (QGBT).

4.7 – Configuração da rede no local

As Figuras 21 e 22 representam uma simples montagem da rede de energia proposta para o Instituto Politécnico de Cabo Frio.

Figura 21: Montagem da rede de energia – Poste A

Figura 22: Montagem da rede de energia

Capítulo 5

Custo do Projeto

Neste Capítulo será feita uma estimativa de custo da rede de energia proposta, assim como um descritivo com todos os materiais necessários a construção da mesma.

5.1 – Lista de material

Antes de realizar uma estimativa de custo, é necessário relacionar todos os materiais necessários para a construção do ramal de ligação.

A própria Norma da Ampla fornece uma lista com todos os materiais necessários ao Poste que terá o transformador, neste caso, o Poste D.

A Tabela 14 lista todos os materiais necessários para a implantação da rede proposta.

Tabela 14: Lista de material – Parte 1

Material	Unidade	Quant.
Armação secundária dupla	Uni.	1
Armação secundária simples	Uni.	1
Arruela quadrada	Uni.	25
Bucha e Arruela para Eletroduto de PVC	Uni.	1
Caixa para aterramento	Uni.	1
Caixa para disjuntor	Uni.	1
Chave Fusível 100 A - 10 kA	Uni.	2
Cinta para poste	Uni.	2
Condutor de Alumínio nu #2AWG	m	450
Condutor de Cobre nu # 16 mm² (19 fios)	m	1
Condutor de Cobre nu # 16 mm² (7 fios)	m	1
Condutor de Cobre nu # 25 mm² (7 fios)	m	1,5
Condutor de Cobre nu # 35 mm² (7 fios)	m	10
Condutor unipolar de Cobre 0,6/1,0 kV	m	4
Conector cunha derivação e cunha tipo estribo	Uni.	3
Conector terminal a compressão para condutor de cobre nu	Uni.	4

Tabela 15: Lista de material – Parte 2

Material	Unidade	Quant.
Cruzeta de madeira de 2.000 mm de comprimento	Uni.	5
Curva de 135 graus ou 180 graus em PVC	Uni.	1
Disjuntor	Uni.	1
Eletroduto em PVC rígido	m	6
Fita de aço inoxidável com trava para amarração de eletroduto	Uni.	2
Gancho olhal	Uni.	16
Haste cobreada para aterramento	m	12
Isolador de pino/polimérico de ancoragem	Uni.	12
Isolador roldana - classe 600 V	Uni.	4
Luva de emenda em PVC para eletroduto	Uni.	1
Manilha sapatilha e alça pré-formada	Uni.	4
Mão francesa plana	Uni.	10
Olhal	Uni.	16
Parafuso de cabeça abaulada	Uni.	9
Parafuso de cabeça quadrada	Uni.	16
Para-raios a óxido metálico com corpo polimérico, 12kV/10 kA	Uni.	3
Pino de Isolador com porcas e arruelas	Uni.	12
Poste de concreto de 11 metros	Uni.	4
Sela para cruzeta	Uni.	4
Suporte para chave corta circuito ou para-raios	Uni.	3
Suporte para transformador em poste	Uni.	1
Transformador de distribuição	Uni.	1

5.2 – Estimativa de custo

Para realizar um orçamento do ramal de ligação proposto, deve-se levar em consideração o custo da mão de obra, do transporte, dos materiais e do administrativo. Após o levantamento destes custos, deve-se colocar no valor total uma margem de lucro.

5.2.1 – Custo da mão de obra

Considerando uma equipe composta por:

- 1 Supervisor;

- 1 Eletricista;
- 4 Ajudantes;
- 2 Motoristas.

Foi elaborada uma tabela (Tabela 16) com o custo estimado para essa equipe em um período de 4 dias.

Tabela 16: Custo da mão de obra

Mão de obra	Qtd.	Salário	Valor diária	Valor refeição	Encargos sociais	Custo em 4 dias
Supervisor	1	R$ 3.000,00	R$ 136,36	R$ 15,00	R$ 122,73	R$ 728,18
Eletricista	1	R$ 2.600,00	R$ 118,18	R$ 15,00	R$ 106,36	R$ 639,09
Ajudante	4	R$ 1.200,00	R$ 54,55	R$ 15,00	R$ 49,09	R$ 327,27
Motorista	2	R$ 1.600,00	R$ 145,46	R$ 15,00	R$ 130,91	R$ 772,75
TOTAL:						**R$ 2.467,30**

5.2.2 – Custo de transporte

Considerando que para uma obra deste porte sejam necessário 2 veículos:

- 1 Caminhão Munck – Transporte dos materiais e colocação dos postes;
- 1 Veículo de passeio – Transporte da equipe.

A Tabela 17 mostra o custo com transporte.

Tabela 17: Custo de transporte

Veículo	Qtd.	Valor dária	Custo em 4 dias
Caminhão Munck	1	R$ 800,00	R$ 1.600,00
Carro passeio	1	R$ 454,55	R$ 1.818,18
TOTAL:			**R$ 3.418,18**

5.2.3 – Custo dos materiais

As Tabelas 18 e 19 mostram o custo dos materiais.

Tabela 18: Custo dos materiais – Parte 1

Material	Unidade	Quant.	Valor Unitário	Valor Total
Armação secundária dupla	Uni.	1	R$ 28,16	R$ 28,16
Armação secundária simples	Uni.	1	R$ 12,81	R$ 12,81
Arruela quadrada	Uni.	25	R$ 0,91	R$ 22,75
Bucha e Arruela para Eletroduto de PVC	Uni.	1	R$ 14,99	R$ 14,99
Caixa para aterramento	Uni.	1	R$ 6,50	R$ 6,50
Caixa para disjuntor	Uni.	1	R$ 188,00	R$ 188,00
Chave Fusível 100 A - 10 kA	Uni.	2	R$ 225,40	R$ 450,80
Cinta para poste	Uni.	2	R$ 4,10	R$ 8,20
Condutor de Alumínio nu #2AWG	m	450	R$ 4,46	R$ 2.007,00
Condutor de Cobre nu # 16 mm² (19 fios)	m	1	R$ 7,62	R$ 7,62
Condutor de Cobre nu # 16 mm² (7 fios)	m	1	R$ 5,50	R$ 5,50
Condutor de Cobre nu # 25 mm² (7 fios)	m	1,5	R$ 8,51	R$ 12,77
Condutor de Cobre nu # 35 mm² (7 fios)	m	10	R$ 11,92	R$ 119,20
Condutor unipolar de Cobre 0,6/1,0 kV	m	4	R$ 5,70	R$ 22,80
Conector cunha derivação e cunha tipo estribo	Uni.	3	R$ 15,90	R$ 47,70
Conector terminal a compressão para condutor de cobre nu	Uni.	4	R$ 2,50	R$ 10,00
Total:				**R$ 2.952,05**

Tabela 19: Custo dos materiais – Parte 2

Material	Unidade	Quant.	Valor Unitário	Valor Total
Cruzeta de madeira de 2.000 mm de comprimento	Uni.	5	R$ 87,80	R$ 439,00
Curva de 135 graus ou 180 graus em PVC	Uni.	1	R$ 23,40	R$ 23,40
Disjuntor	Uni.	1	R$ 246,85	R$ 246,85
Eletroduto em PVC rígido	m	6	R$ 16,50	R$ 99,00
Fita de aço inoxidável com trava para amarração de eletroduto	Uni.	2	R$ 24,30	R$ 48,60
Gancho olhal	Uni.	16	R$ 10,50	R$ 168,00
Haste cobreada para aterramento	m	12	R$ 37,70	R$ 452,40
Isolador de pino/polimérico de ancoragem	Uni.	12	R$ 10,00	R$ 120,00
Isolador roldana - classe 600 V	Uni.	4	R$ 3,30	R$ 13,20
Luva de emenda em PVC para eletroduto	Uni.	1	R$ 10,40	R$ 10,40
Manilha sapatilha e alça pré-formada	Uni.	4	R$ 17,70	R$ 70,80
Mão francesa plana	Uni.	10	R$ 11,20	R$ 112,00
Olhal	Uni.	16	R$ 10,50	R$ 168,00
Parafuso de cabeça abaulada	Uni.	9	R$ 7,60	R$ 68,40
Parafuso de cabeça quadrada	Uni.	16	R$ 4,89	R$ 78,24
Para-raios a óxido metálico com corpo polimérico, 12kV/10 kA	Uni.	3	R$ 193,29	R$ 579,87
Pino de Isolador com porcas e arruelas	Uni.	12	R$ 14,07	R$ 168,84
Poste de concreto de 11 metros	Uni.	4	R$ 2.500,00	R$ 10.000,00
Sela para cruzeta	Uni.	4	R$ 16,58	R$ 66,32
Suporte para chave corta circuito ou para-raios	Uni.	3	R$ 65,30	R$ 195,90
Suporte para transformador em poste	Uni.	1	R$ 112,27	R$ 112,27
Transformador de distribuição	Uni.	1	R$ 11.410,00	R$ 11.410,00
TOTAL:				**R$ 24.314,65**

Somando os valores dos materiais nas Tabelas 18 e 19, tem-se que o custo total com materiais será de **R$ 27.616,29**.

5.2.4 – Custo de administrativo

Neste custo será levado em consideração o trabalho administrativo que uma empresa teria ao executar uma obra deste porte, como setor de compras, financeiro e departamento pessoal.

Uma estimativa utilizada em algumas dessas empresas é de que o custo administrativo seria equivalente a 10% do custo com mão de obra, transporte e materiais.
A Tabela 20 mostra o cálculo realizado para se obter o custo do setor administrativo.

Tabela 20: Custo do setor administrativo

Custos	Valor	
Mão de Obra	R$	2.467,30
Transporte	R$	3.418,18
Materiais	R$	27.616,29
Total:	R$	33.501,77
Custo do setor Financeiro :	**R$**	**3.350,18**

5.2.5 – Custo total do projeto

A soma dos custos com mão de obra, transporte, materiais e setor administrativo está exposta na Tabela 21.

Tabela 21: Custo total do projeto

Custos	Valor	
Mão de Obra	R$	2.467,30
Transporte	R$	3.418,18
Materiais	R$	27.616,29
Custo do setor Financeiro	R$	3.350,18
Total:	**R$**	**36.851,95**

5.2.6 – Estimativa de orçamento

O valor obtido no Item anterior refere-se apenas ao custo (aproximado) que uma empresa teria para executar a obra da rede proposta. Entretanto, essa empresa deve colocar seu percentual de lucro.

Como estimativa, foi adicionado um valor de 40% de lucro ao custo da obra. Assim, o valor final seria:

R$ 36.851,95 + (R$ 36.851,95 x 0,40) = R$ 51.592,73

Portanto, uma estimativa de custo para o ramal de ligação proposto neste trabalho é de aproximadamente R$ 51.592,00.

Capítulo 6

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma rede de suprimento de energia elétrica ao IPCF, visando oferecer uma solução a ausência de energia elétrica no local.

A solução oferecida foi um ramal de ligação em 15 kV, que deriva da rede de distribuição da Ampla e alimenta a escola através de uma subestação 15kV/220V. Para isso, primeiramente foi determinada a potência total instalada e posteriormente, a demanda de potência, que indica o valor máximo da potência no momento de maior exigência no Instituto. Como o prédio foi construído sem instalação elétrica, a potência total instalada e a demanda foram calculadas com base em informações fornecidas pelo responsável pelo IPCF sobre as cargas e/ou equipamentos previstos para o local.

O trabalho visou abranger todas as etapas de projeção de um ramal de ligação, sendo eles: tipo de rede, nível de tensão, traçado da rede, subestação, sistema de proteção, sistema de medição e sistema de aterramento.

Com base em uma demanda de potência de 133 kVA, projetou-se um ramal de ligação aéreo, em média tensão que deriva de um poste da Ampla e segue em direção ao prédio da escola. O traçado foi definido de tal forma que não interfira em futuras utilizações do terreno do entorno.

Foi projetada uma subestação simplificada, onde o transformador fica preso ao poste, para abaixar o nível de tensão da rede à 127 V/ 220 V (tensão do prédio da escola).

O projeto teve também como base a Norma da Ampla – Fornecimento de Energia Elétrica em 15 kV, para que a rede fosse projetada dentro dos padrões da concessionária local.

Por fim, foi feito um descritivo com todo o material necessário a construção da rede proposta, assim como uma estimativa de custo incluindo o custo da mão de obra, de execução, transportes e setor administrativo. Esse cálculo determinou o custo aproximado que uma empresa teria para executar a obra e sua margem de lucro.

A elaboração do projeto não apresentou dificuldades consideráveis, destacando apenas a obtenção de informações face ao histórico de implantação da construção do IPCF: Inexistência de arruamento nos arredores, ausência de instalações elétricas internas e externas, ausência de projeto de iluminação e de instalação de máquinas.

Destaque a cordialidade e a atenção dispensada pelos profissionais do IPCF no fornecimento das informações.

Importante também registrar que projetos desta natureza ficam sempre facilitados quando existem padrões pré-estabelecidos – vide Norma Ampla.

Acredita-se que o objetivo tenha sido cumprido com adequação, sendo possível utilizar este projeto como referência para um projeto básico de uma licitação para elaboração de projeto executivo e execução da obra

Referências Bibliográficas

ABNT. *Norma Brasileira ABNT NBR 5410 Instalações Elétricas de Baixa Tensão*. Brasília: ABNT, 2004.

Ampla, Diretoria Técnica. *Cálculo de Demanda para Medição de Cliente em Baixa Tensão*. Rio de Janeiro: Ampla, 2009.

Ampla, Diretoria Técnica. *Fornecimento de energia elétrica em tensão primária – 15 kV*. Rio de Janeiro: Ampla, 2011.

Departamento de Engenharia e Produto e Mercado - Grupo Intelli. *Os Conceitos Básicos dos Sistemas de Aterramento*. Disponível em: <http://www.coppersteel.com.br/arq/2010-04-13c.pdf> Acesso em 20 de Fevereiro de 2013.

Kindermann, Geraldo. *Proteção de Sistemas Elétricos de Potência*. Florianópolis: Edição do Autor, 2005.

Mamede Filho, João. *Instalações Elétricas Industriais*. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

Mamede Filho, João. *Proteção de Sistemas Elétricos de Potência*. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

Napoli, Roberto. *Sistemi elettrici*. Torino: Politecnico di Torino, 2010.

Novaes, Rubens. *Conceitos sobre energia elétrica.* Disponível em: <http://www.redeeletrica.xpg.com.br/conceitos.html> Acesso em 12 de Fevereiro de 2013.