



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

LAELTON ANTONIO DA SILVA JUNIOR

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO AÉREA DA BASE AÉREA DE FORTALEZA

FORTALEZA
NOVEMBRO DE 2017

LAELTON ANTONIO DA SILVA JUNIOR

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO AÉREA DA BASE AÉREA DE FORTALEZA

Monografia desenvolvida no âmbito de
Projetos de Redes de Distribuição e submetida
ao Curso de Graduação em Engenharia
Elétrica da Universidade Federal do Ceará
como parte dos requisitos para a conclusão do
curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Amaral da
Câmara.

FORTALEZA
NOVEMBRO DE 2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S581a Silva, Laelton Antonio da Silva Junior.
Análise de Desempenho do Projeto de Modernização da Rede de Distribuição da Base Aérea de Fortaleza : Estudo de caso / Laelton Antonio da Silva Junior Silva. – 2017.
136 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara..

Coorientação: Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio.

1. Rede Aérea Compacta Protegida. 2. Rede de Distribuição. 3. Projeto. I. Título.

CDD 621.3

LAELTON ANTONIO DA SILVA JUNIOR

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO AÉREA DA BASE AÉREA DE FORTALEZA

Monografia desenvolvida no âmbito de
Projetos de Redes de Distribuição e submetida
ao Curso de Graduação em Engenharia
Elétrica da Universidade Federal do Ceará
como parte dos requisitos para a conclusão do
curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Monografia aprovada pelo Curso de Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal do Ceará em ___ / ___ / ___

Laelton Antonio da Silva Junior

BANCA EXAMINADORA

Prof. Raphael Amaral da Câmara, Dr.
Orientador

Prof. Raimundo Furtado Sampaio, Dr.

Eng. Cleiton de Almeida Lins

Primeiramente, a Deus.
Aos meus pais, Laelton e Maria.
A minha irmã, Jaqueline.
A todos os meus familiares e amigos.
A todos os professores da graduação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me proteger e iluminar nas ocasiões mais difíceis, além de permitir viver com saúde e sabedoria para alcançar mais uma conquista.

Aos meus Pais, Laelton Antonio da Silva e Maria Auxiliadora da Silva, por estarem presentes em todas as etapas da minha vida, pelos inúmeros ensinamentos que contribuíram na minha educação, pelo apoio e disciplina que ajudaram no alcance dos objetivos. A minha infinita gratidão a eles, pela benção divina de serem meus pais.

À minha irmã Jaqueline Maria da Silva, por dividir os momentos de alegria desde o meu nascimento, por contribuir na união e respeito que existem na família, pela torcida na conquista desse sonho profissional.

À minha esposa Lisiane S. Gadelha, por estar ao meu lado nesse momento de vitória, por ter acreditado e incentivado no meu potencial profissional.

Ao professor Dr. Raphael Amaral da Câmara, primeiramente por ter dado a oportunidade de ser meu orientador, pela sua compreensão e disponibilidade durante a graduação. Meus sinceros agradecimentos pela sua contribuição.

Ao Coronel Jackson e outros comandantes do EIE, ao Tenente Eduardo Lima, aos Sargentos Junior, C. Costa e Lins, e aos demais militares do Esquadrão de Infraestrutura da Base Aérea de Fortaleza, pelo companheirismo e irrestrito apoio. Reconheço com vigor todas as suas ações que ajudaram na minha caminhada.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia Elétrica da UFC que se tornaram pessoas marcantes na minha formação profissional e as quais tenho respeito e admiração.

Aos meus amigos e colegas de graduação Carlos Afonso, Erasmo Castro, Elcid Rodrigues, Hélio Delgado, Hocélio Filho e Renato Guerreiro pelas trocas de conhecimentos acadêmicos, pelos momentos divertidos de lazer, pelo apoio durante o curso.

*“A educação e o ensino são as mais
poderosas armas que podes usar para mudar
o mundo.”*

Nelson Mandela

RESUMO

As principais características pertencentes a um projeto de uma rede de distribuição é a sua confiabilidade e segurança. Este trabalho tem como objetivo principal apresentar a elaboração de um projeto de uma rede elétrica de média tensão na configuração de rede aérea compacta protegida para o fornecimento de energia elétrica à Base Aérea de Fortaleza. Primeiramente serão apresentados os tipos de rede de distribuição assim como suas principais características e as vantagens e desvantagens da rede aérea compacta protegida. Também serão abordados os itens necessários e os critérios normativos para elaboração de um projeto bem como os padrões de estruturas utilizados. Serão apresentados como resultados o projeto da rede interna de média tensão, as principais estruturas utilizadas no projeto, bem como a rede após a execução e os benefícios da implantação da rede aérea compacta protegida.

Palavras Chave: Rede Aérea Compacta Protegida, Projeto, Rede de Distribuição, Confiabilidade, *Retrofit*.

ABSTRACT

The main characteristics belonging to a design of a distribution network are reliability and safety. This work has as main objective to present the elaboration of a project of a high voltage electrical network in the configuration of protected compact air network for the electric power supply of the Fortaleza Air Base. First, presents the main characteristics of protected compact air network and their advantages and disadvantages. In addition, will be discussed the necessary items and the normative criteria to elaborate a project as well as the patterns of structures used. Will be presented as results the internal high voltage network design and the main structures used in the project, as well as the network after the execution and the benefits of the implementation of the compact protected air network.

Key words: Protected Compact Air Network, Project, Distribution Network, Reliability, Retrofit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Rede de distribuição aérea compacta nos Estados Unidos.	5
Figura 2.2- Rede de distribuição aérea convencional.....	7
Figura 2.3- Rede de distribuição aérea compacta protegida.....	9
Figura 2.4- Rede de distribuição aérea isolada.....	11
Figura 2.5- Convivência entre a natureza e a rede aérea compacta protegida.....	12
Figura 2.6- Rede de distribuição aérea compacta com quatro circuitos.....	12
Figura 2.7- Trilhamento elétrico no condutor.	14
Figura 2.8- Trilhamento elétrico em local de contato do condutor com o espaçador.....	14
Figura 3.1- Cabo de alumínio protegido 25 kV.....	18
Figura 3.2- Alça preformada.	19
Figura 3.3- Espaçador losangular.	19
Figura 3.4- Separador vertical.	20
Figura 3.5- Vista em perspectiva braço tipo “L”.....	20
Figura 3.6- Vista em perspectiva braço tipo “C”.....	21
Figura 3.7- Isolador de ancoragem.	21
Figura 3.8- Isolador tipo pino.	21
Figura 3.9- Estrutura CE1A.....	23
Figura 3.10- Estrutura CE2.C.....	23
Figura 3.11- Estrutura CE2.H.....	24
Figura 3.12- Estrutura CE3.C.....	24
Figura 3.13- Estrutura CE3.U.....	25
Figura 3.14- Estrutura CE4.C.....	25
Figura 3.15- Estrutura CE4.U.....	26
Figura 3.16- Disposição das fases no espaçador.	29
Figura 3.17- Espaçamento entre espaçadores.....	29
Figura 3.18- Transposição das fases.....	30
Figura 4.1- Estrutura com o conjunto de medição.....	41
Figura 4.2- Estruturas de transição.	42
Figura 4.3- Representação da entrada de energia da Base Aérea de Fortaleza.	42
Figura 4.4- Diagrama unifilar dos trechos.....	43
Figura 4.5- Rede interna de média tensão.	44
Figura 4.6- Rede interna de media tensão 2.	44
Figura 4.7- Cabo em contato com a arborização.....	45
Figura 4.8- Diagrama unifilar de alimentação com grupo gerador.	46
Figura 4.9- Estrutura CE3-CE3.C.	52
Figura 4.10- Estrutura CE2.3.....	52
Figura 4.11- Estrutura CE2-CE3.C.	53
Figura 4.12- Estrutura CE4.U CS.....	54
Figura 4.13- Estrutura CE2.H TR.....	55
Figura 4.14- Estrutura CE3.U TR.....	55

Figura 4.15- Execução da rede de media tensão 1.	56
Figura 4.16- Execução da rede de media tensão 2.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Condutores cobertos 25 kV.	17
Tabela 3.2- Cabo mensageiro.	18
Tabela 3.3- Nomenclatura de identificação das estruturas.	22
Tabela 3.4- Nomenclatura de estruturas de equipamentos.	26
Tabela 3.5- Afastamento mínimo entre condutores de circuitos diferentes.	30
Tabela 3.6- Afastamento mínimo entre condutores e solo.	31
Tabela 3.7- Afastamento mínimo dos condutores às edificações.	31
Tabela 3.8- Coordenação de elos fusíveis.	34
Tabela 3.9- Densidade linear dos condutores.	36
Tabela 4.1- Tabela de transformadores.	43
Tabela 4.2- Cálculo da queda de tensão.	48
Tabela 4.3- Limites de tensão.	48
Tabela 4.4- Dados dos postes.	49
Tabela 4.5- Flechas e trações.	49
Tabela 4.6- Esforço mínimo do poste.	51
Tabela 4.7- Causas de interrupção.	57

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Justificativa	2
1.2	Objetivos	2
1.3	Metodologia aplicada	3
1.4	Estrutura do trabalho	3
2	Redes de distribuição aéreas de média tensão	4
2.1	Introdução	4
2.2	Histórico da rede aérea compacta protegida	4
2.2.1	<i>História da rede compacta no Brasil</i>	6
2.3	Rede aérea de distribuição convencional	7
2.4	Rede aérea de distribuição compacta protegida	9
2.5	Rede aérea de distribuição isolada	10
2.6	Vantagens e desvantagens da rede aérea de distribuição compacta protegida	11
2.7	Considerações finais	15
3	CrITÉrios de projeto para rede de distribuição aérea compacta protegida	16
3.1	Introdução	16
3.2	Normatização	16
3.3	Padrões de estruturas e materiais	17
3.3.1	<i>Materiais utilizados</i>	17
3.3.1.1	<i>Condutores cobertos</i>	17
3.3.1.2	<i>Cabo mensageiro</i>	18
3.3.1.3	<i>Preformados</i>	18
3.3.1.4	<i>Espaçadores poliméricos</i>	19
3.3.1.5	<i>Braços de fixação</i>	20
3.3.1.6	<i>Isoladores</i>	21
3.3.1.7	<i>Materiais diversos</i>	22
3.3.2	<i>Estruturas utilizadas</i>	22
3.4	Dimensionamento elétrico	26
3.4.1	<i>Levantamento de carga</i>	26

3.4.1.1	<i>Processo por medição</i>	27
3.4.1.2	<i>Processo estimativo</i>	27
3.4.2	<i>Configuração da rede</i>	28
3.4.3	<i>Dimensionamento de transformadores</i>	32
3.4.4	<i>Dimensionamento de condutores</i>	33
3.4.5	<i>Dispositivos de proteção e seccionamento</i>	33
3.4.5.1	<i>Proteção de transformadores</i>	33
3.4.5.2	<i>Proteção da rede de média tensão</i>	34
3.4.6	<i>Características do aterramento</i>	35
3.5	Dimensionamento mecânico	35
3.6	Requisitos de projeto	37
3.6.1	<i>Memorial descritivo</i>	37
3.6.2	<i>Documentação complementar</i>	38
3.6.3	<i>Plantas da rede</i>	38
3.7	Considerações finais	39
4	Estudo de caso: Mordenização da rede aérea de média tensão da Base Aérea de Fortaleza	40
4.1	Introdução	40
4.2	Padrão de fornecimento de energia elétrica	40
4.3	Subestações existentes	43
4.4	Suprimento de energia através do grupo gerador	45
4.5	Etapa de projeto	47
4.5.1	<i>Dimensionamento dos condutores</i>	47
4.5.2	<i>Dimensionamento das estruturas</i>	48
4.5.3	<i>Padrões de estruturas utilizados</i>	51
4.5.3.1	<i>Estrutura CE1A</i>	51
4.5.3.2	<i>Estrutura CE3-CE3.C</i>	51
4.5.3.3	<i>Estrutura CE2.3</i>	52
4.5.3.4	<i>Estrutura CE2-CE3.C</i>	53
4.5.3.5	<i>Estrutura CE4.U CS</i>	53
4.5.3.6	<i>Estrutura CE2.H TR</i>	54
4.5.3.7	<i>Estrutura CE3.U TR</i>	55
4.5.4	<i>Plantas que compõem o projeto</i>	56

4.6	Execução e análise dos benefícios de implantação	56
4.7	Considerações finais	58
5	Conclusão	59
	Bibliografia	61
	APÊNDICE A	63
	ANEXO A	66