



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Lígia Verônica Genésio Pessoa

**Proposta de Tecnologia para Recapitação de Linhas de Transmissão  
Baseado na Relocação de Estruturas de Concreto**

Recife

2017

Lígia Verônica Genésio Pessoa

Proposta de Tecnologia para Recapacitação de Linhas  
de Transmissão Baseado na Relocação de Estruturas de  
Concreto

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica. Área de Concentração: Processamento de Energia.

Orientador: José Maurício de Barros Bezerra, *D.Sc.*

Recife

2017

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

P475p Pessoa, Lígia Verônica Genésio.  
Proposta de tecnologia para recapacitação de linhas de transmissão baseado na relocação de estruturas de concreto / Lígia Verônica Genésio Pessoa. - 2017.  
142 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. José Maurício de Barros Bezerra, D.Sc.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2017.  
Inclui Referências e apêndices.

1. Engenharia Elétrica. 2. Linhas de transmissão. 3. Projeto de recapacitação de linhas de transmissão. 4. Relocação de estruturas de concreto existentes. I. Bezerra, José Maurício de Barros (Orientador). II. Título.

UFPE

621.3 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-147



**Universidade Federal de Pernambuco**  
***Pós-Graduação em Engenharia Elétrica***

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE  
DISSERTAÇÃO DO MESTRADO ACADÊMICO DE

**LÍGIA VERÔNICA GENÉSIO PESSOA**

TÍTULO

**“PROPOSTA DE TECNOLOGIA PARA RECAPACITAÇÃO DE  
LINHAS DE TRANSMISSÃO BASEADO NA RELOCAÇÃO  
DE ESTURUTRAS DE CONCRETO.”**

A comissão examinadora composta pelos professores: JOSÉ MAURÍCIO DE BARROS BEZERRA, DEE/UFPE, ZANONI DUEIRE LINS, DEE/UFPE e LUIZ HENRIQUE ALVES DE MEDEIROS, DEE/UFPE, sob a presidência do primeiro, consideram a candidata **LÍGIA VERÔNICA GENÉSIO PESSOA APROVADA.**

Recife, 24 de fevereiro de 2017.

---

**MARCELO CABRAL CAVALCANTI**  
Coordenador do PPGE

---

**JOSÉ MAURÍCIO DE BARROS BEZERRA**  
Orientador e Membro Titular Interno

---

**LUIZ HENRIQUE ALVES DE MEDEIROS**  
Membro Titular Externo

---

**ZANONI DUEIRE LINS**  
Membro Titular Interno

*Dedico este trabalho aos meus pais,  
Antônio Pessoa e Véra Pessoa  
por me ensinarem a ser feliz.  
Mostraram-me que estudar é sempre  
a melhor maneira de conhecer novos mundos.  
E a minha filha, Thalyta Pessoa,  
para usar o mesmo exemplo em sua vida  
e ser também muito feliz.*

# Agradecimentos

Agradeço ao professor Maurício Bezerra, sempre me entusiasmando e mostrando que este sonho seria possível. Um professor completo, dedicado, íntegro, o qual tenho a honra de poder estudar e ser orientada por ele. Agradeço a todos os colegas da DEPL/CHESF, divisão que trabalho a 13 anos e que sempre desperta a paixão de aprender mais sobre projetos de linhas de transmissão. Agradeço bastante a CHESF por ter permitido a realização do meu Mestrado e pela disponibilização dos dados aqui demonstrados. Agradeço ao grupo de estudos que faço parte, que me ajudou a desenvolver este trabalho, o GPTD/UFPE, sempre crescendo como um grupo próspero e salutar. Agradeço também a toda minha família, sempre me incentivando e mostrando com exemplos e atitudes o quanto é importante estudar, aprender e escutar, principalmente as minhas lindas sobrinhas, que sempre fazem de mim uma pessoa melhor. Agradeço a todos os meus amigos, em especial Amélia Pessoa, por ser sempre uma amiga de todas as horas.

# Resumo

Este trabalho propõe uma nova tecnologia para recapacitação de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica, através da relocação de estruturas de concreto existentes. Está alicerçado na aplicação de ferramentas e materiais específicos para travamento das estruturas de concreto, na utilização de fundações afloradas com concreto e areia adensada e em guindastes adequados para deslocamento das estruturas. A metodologia viabiliza o reprojeto de linhas de transmissão, o aproveitamento de materiais existentes e menores impactos ao meio ambiente. A partir de levantamentos topográficos mais detalhados e com o uso de ferramentas computacionais de locação otimizada de estruturas é possível obter a visualização da técnica proposta. Foram realizados estudos de caso em linhas reais, nos quais se adotou a metodologia proposta, fazendo comparações com as técnicas tradicionais e identificando os itens de serviço e materiais necessários para cada uma das soluções. Os resultados alcançados caracterizam o surgimento de uma técnica de recapacitação de linha de transmissão bastante promissora.

**Palavras-chave:** Linhas de Transmissão. Projeto de Recapacitação de Linhas de Transmissão. Relocação de Estruturas de Concreto Existentes.

# Abstract

This work proposes a new technology for the redesign of electric power transmission lines, through the relocation of existing concrete structures. It is based on the application of specific tools and many other materials for blocking of concrete structures, the use of transmission line foundations with concrete and raised sand and on suitable cranes for the displacement of concrete structures. This methodology for the revision of transmission lines design, the use of existing materials and lower impacts of the environment. From more detailed topographic surveys and the use of computational tools of location and optimization of the concrete structures. Two study cases were done in real transmission lines redesign, which the proposed standard methodology was used, making comparisons with the new techniques and identifying the service items and many materials for each of the standard solutions. The results obtained characterize an emergence of a very promising transmission line re-engineering technique.

**Keywords:** Overhead Transmission Lines. Upgrading Transmission Line Design. Relocation Existing Concrete Structures.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Amostra de cabo CA . . . . .	28
Figura 2 – Amostra de cabo CAA . . . . .	28
Figura 3 – Amostra de cabo CAL . . . . .	29
Figura 4 – Amostra de cabo ACAR . . . . .	29
Figura 5 – Amostra de cabo CALA . . . . .	29
Figura 6 – Amostra de cabo T-CAA . . . . .	29
Figura 7 – Cabo GZTACSR ou ACSR/SD . . . . .	30
Figura 8 – Cabo ZTACIR . . . . .	30
Figura 9 – Cabo ACSS . . . . .	31
Figura 10 – Cabo ACCR . . . . .	31
Figura 11 – Cabo ACCC . . . . .	31
Figura 12 – Foto de uma estrutura de concreto na configuração DUFEX . . . . .	34
Figura 13 – Exemplo da geometria do feixes DUFEX . . . . .	34
Figura 14 – Foto de uma estrutura metálica na configuração SUPERFESTÃO . . . . .	34
Figura 15 – Esquema com vista transversal em um vão da LT com feixes de subcondutores na tecnologia SUPERFESTÃO . . . . .	34
Figura 16 – Ensaio em cadeia de suspensão com quatro subcondutores com feixe expandido	35
Figura 17 – Equipamento Power Donuts sendo preparado para instalação . . . . .	37
Figura 18 – Equipamento Power Donuts em uma estrutura metálica . . . . .	37
Figura 19 – Equipamento Power Donuts em uma estrutura metálica . . . . .	37
Figura 20 – Dinamômetro do CAT-1 . . . . .	38
Figura 21 – CatMaster que recebe os dados da célula através de rádio comunicação . . . . .	38
Figura 22 – Dinamômetro instalado em uma cadeia de ancoragem . . . . .	38
Figura 23 – Instalação do sensor na LT . . . . .	39
Figura 24 – Foto do sonar embaixo da LT . . . . .	40
Figura 25 – Gráfico ilustrando os dados captados pelo sonar . . . . .	40
Figura 26 – O Sagometer dividido em seus subsistemas (A – Ponto de inserção no meio do vão da LT, B - Capturando os dados junto a estrutura e C – Foto em detalhe do aparelho no cabo condutor) . . . . .	40
Figura 27 – Esquema simplificado do funcionamento do sagometer . . . . .	41
Figura 28 – Foto em detalhe do aparelho Ampacimon no cabo condutor . . . . .	41
Figura 29 – Curvas normais representando a coleta de dados das temperaturas em quatro condições meteorológicas diferentes: verão com e sem radiação solar e inverno com e sem radiação solar . . . . .	45
Figura 30 – Representação de quadrante escolhido em escala global e trazido para tratamento em escala local . . . . .	46

Figura 31 – Tratamento de dados meteorológicos via técnica de <i>Downscaling</i> . . . . .	47
Figura 32 – Fluxograma de procedimento utilizado para predição via lógica Bayseana . . . . .	48
Figura 33 – Içamento para relocação de estrutura metálica existente com apoio de órtese e guindaste . . . . .	50
Figura 34 – Colocação da estrutura relocada em novo posicionamento em novos pés . . . . .	51
Figura 35 – Evolução do teodolito . . . . .	57
Figura 36 – Princípio de funcionamento da estação total . . . . .	58
Figura 37 – Prisma para detecção das medidas topográficas . . . . .	58
Figura 38 – Estação total . . . . .	59
Figura 39 – Estação total com prisma . . . . .	59
Figura 40 – Processo de correção dos dados topográficos . . . . .	60
Figura 41 – Fotografia da rotina de trabalho com o dispositivo RTK . . . . .	60
Figura 42 – Sobrevoos para levantamento dos dados aerofotogramétricos . . . . .	61
Figura 43 – Ortofotocarta LT 230 kV Mossoró / Açú – C2 . . . . .	62
Figura 44 – Ortofotocarta LT 230 kV Paraíso / Açú – C3 . . . . .	62
Figura 45 – Ortofotocarta LT 230 kV Bom Jesus da Lapa / Igaporã – C1 . . . . .	62
Figura 46 – Processo de geoposicionamento da aeronave . . . . .	63
Figura 47 – Distâncias medidas para captura dos dados coletados . . . . .	63
Figura 48 – Imagens processadas com exemplos de resultados das imagens . . . . .	64
Figura 49 – Planta e perfil tridimensional em formato PLS-CADD . . . . .	65
Figura 50 – Foto de satélite para mapeamento do traçado preliminar de LT urbana . . . . .	66
Figura 51 – Elevação da cruzeta de concreto . . . . .	70
Figura 52 – Setas vermelhas indicando a inserção de anéis bipartidos . . . . .	70
Figura 53 – Cadeia de suspensão para condutores padronizada . . . . .	72
Figura 54 – Cadeia de suspensão para condutores com ferragens reduzidas - ferragens SADEL e isolador Eletrovidro . . . . .	72
Figura 55 – Cadeia de suspensão para cabos condutores com isolador de engate garfo y-bola, ferragens PLP e isolador BALESTRO . . . . .	73
Figura 56 – Serviço de substituição de cadeias convencionais por cadeias reduzidas . . . . .	73
Figura 57 – Vãos em cor vermelha CAA, na cor azul CAL . . . . .	74
Figura 58 – Recondutoramento . . . . .	75
Figura 59 – Avaliação comparativa dos cabos condutores CAA DRAKE e CAL GREELEY . . . . .	76
Figura 60 – Avaliação comparativa dos cabos condutores CAA GROSBEAK e CAL FLINT . . . . .	76
Figura 61 – Avaliação comparativa dos cabos condutores CAA HAWK e CAL DARIEN . . . . .	77
Figura 62 – Avaliação comparativa dos cabos condutores CAA LINNET e CAL CANTON . . . . .	77
Figura 63 – Vibrógrafo tipo PAVICA e esquema de instalação . . . . .	79
Figura 64 – Cabo condutor com tentos partidos . . . . .	80
Figura 65 – Cabo inserido na bandola para retracionamento . . . . .	81
Figura 66 – Retracionamento do cabo condutor existente . . . . .	81

Figura 67 – Perfil de três estruturas de uma LT com problema de distância cabo - obstáculo após recapacitação . . . . .	82
Figura 68 – Perfil de três estruturas de uma LT após a troca da estrutura D e consequente retirada do cabo baixo . . . . .	83
Figura 69 – Cadeia de suspensão na vertical, indicando balanceamento das trações horizontais dos vãos adjacentes a esta estrutura. . . . .	85
Figura 70 – Cadeia de suspensão desverticalizada . . . . .	86
Figura 71 – Fissura na cabeça do poste - Esforço causado pelo diferencial de tração superando o esforço máximo suportável pela estrutura . . . . .	86
Figura 72 – Perfil de três estruturas de uma LT após a troca da estrutura D e enxerto de cabo condutor . . . . .	87
Figura 73 – Enxerto de cabo condutor após troca de estrutura . . . . .	88
Figura 74 – Perfil de três estruturas de uma LT com problema de cabo-baixo após recapacitação . . . . .	89
Figura 75 – Perfil de três estruturas de uma LT após a troca da estrutura G e retirada de cabo condutor . . . . .	89
Figura 76 – Troca de estrutura . . . . .	90
Figura 77 – Eletricista inserindo equipamento para posterior corte do cabo condutor . . . . .	90
Figura 78 – Estrutura H - ARB - típica de LT's 230 kV CHESF em concreto . . . . .	93
Figura 79 – Fundação cálice padrão . . . . .	93
Figura 80 – Fundação convencional para estrutura metálica . . . . .	94
Figura 81 – Fundações tipo cálice . . . . .	94
Figura 82 – Travamento da estrutura de concreto com pontos para pega do guindaste . . . . .	96
Figura 83 – Condição inicial da LT em 3D . . . . .	97
Figura 84 – Perfil da LT indicando as violações das distâncias de segurança . . . . .	97
Figura 85 – Construção de fundação aflorada . . . . .	98
Figura 86 – Travamento da estrutura e inserção das bandolas dos cabos condutores e pára-raios . . . . .	98
Figura 87 – Fundações afloradas concluídas (cor magenta), travamento da estrutura 1/2 e relocação para o ponto projetado . . . . .	99
Figura 88 – Relocação da torre 1/5 . . . . .	99
Figura 89 – Perfil com a relocação das torres 1/2 e 1/5 . . . . .	100
Figura 90 – Retirada dos cabos baixos existentes verificados nos círculos pretos . . . . .	100
Figura 91 – Exemplo da LT 230 kV Aquiraz / Fortaleza II antes de recapacitar . . . . .	102
Figura 92 – Exemplo da LT 230 kV Aquiraz / Fortaleza II recapacitada através da solução tradicional . . . . .	103
Figura 93 – Exemplo da LT 230 kV Aquiraz / Fortaleza II antes de recapacitada através da solução proposta . . . . .	104
Figura 94 – Exemplo da LT 230 kV Camaçari II / Cotegipe antes de recapacitar . . . . .	106

Figura 95 – Exemplo da LT 230 kV Camaçari II / Cotegipe recapitada através da solução tradicional . . . . .	107
Figura 96 – Exemplo da LT 230 kV Camaçari II / Cotegipe antes de recapitar . . . . .	108
Figura 97 – Exemplo da LT 230 kV Camaçari II / Cotegipe recapitada através da solução proposta . . . . .	109

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Resolução Normativa 191 ANEEL /2005 com fatores multiplicativos das correntes partindo da condição normal para condição de emergência . . . . .	68
Tabela 2 – Comprimento de flechas do cabo condutor CAA 636 MCM Grosbeak para vãos nivelados . . . . .	69
Tabela 3 – Dados mecânicos adicionais dos cabos analisados . . . . .	78
Tabela 4 – Banco de dados da CHESF - Atualizado em maio de 2016 . . . . .	92
Tabela 5 – Resumo modificações por troca de estruturas de concreto por metálicas - caso 1	102
Tabela 6 – Resumo modificações por relocação de estruturas de concreto - caso 1 . . . . .	104
Tabela 7 – Resumo modificações por troca de estruturas de concreto por metálicas . . . . .	106
Tabela 8 – Resumo modificações por relocação de estruturas de concreto - caso 2 . . . . .	108
Tabela 9 – Comparativo para a administração local da contratada . . . . .	110
Tabela 10 – Montagem e desmontagem de canteiros de obras . . . . .	110
Tabela 11 – Comparativo para transporte de material . . . . .	111
Tabela 12 – Comparativo para carga e descarga de material . . . . .	111
Tabela 13 – Comparativo para estradas de acesso . . . . .	111
Tabela 14 – Comparativo para supressão de vegetação . . . . .	112
Tabela 15 – Comparativo para serviços de escavação e reaterro . . . . .	112
Tabela 16 – Comparativo para montagem de estrutura metálica . . . . .	113
Tabela 17 – Comparativo para desmontagem de estrutura . . . . .	113
Tabela 18 – Comparativo para transferência da estrutura de concreto . . . . .	114
Tabela 19 – Comparativo para transferência de circuitos e recondutoramento . . . . .	114
Tabela 20 – Comparativo para a aplicação de concreto . . . . .	114

# Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACAR	Cabo de Alumínio liga 1350 com cabos de alumínio 6201
ACCC	<i>Aluminum Conductor Composite Core</i>
ACCR	<i>Aluminum Conductor Composite Reinforced</i>
ACSR	<i>Aluminium conductor steel-reinforced</i>
ACSR/SD	<i>Aluminium conductor steel-reinforced / Self Damping</i>
ACSS	<i>Aluminum Conductor Steel Supported</i>
AGS	<i>Aarmor Grip Suspension</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Áreas de Preservação Permanente
ARPS	<i>Advanced Regional Prediction System</i>
BALESTRO	Indústria Eletromecânica Balestro
CA	Cabo de Alumínio 1350
CAA	Cabo de Alumínio 1350 com Alma de Aço
CAL	Cabo de Alumínio Liga 6201
CALA	Cabo de Alumínio 6201 com Alma de Aço
CEAL	Eletrobras Distribuição Alagoas
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CIGRÈ	<i>Conseil International des Grands Réseaux Électriques</i>
<i>Downscaling</i>	Técnica utilizada para cálculo de dados meteorológicos localizados
EDS	<i>Everyday Stress</i>
ELETROVIDRO	Electro Vidro S/A
FEX	Feixe expandido

GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GpTD	Grupo de Pesquisa em Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica
GZTACSR	<i>Gap Type Ultra Thermal Resistant Aluminium Alloy, Steel Reinforced</i>
HTLS	<i>High Temperature, Low Sag</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ITC	<i>International Transmission Company</i>
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
LPNE	Linha de Potência Natural Elevada
LT	Linha de Transmissão
LT's	Linhas de Transmissão
MATLAB	<i>MATrix LABoratory</i>
MED	Medidor Eletrônico de Distância
NBR	Norma Brasileira
NCEP	<i>National Environmental Prediction</i>
NERC	<i>North American Electric Reliability Corporation</i>
NT	Nota Técnica
ONS	Operador Nacional de Sistema
PLP	<i>Preformed Line Products Company</i>
PLS-CADD®	<i>Power Line Systems - Computer Aided Design and Drafting</i>
PLS-TOWER®	<i>Power Line Systems - Analysis and Design of Steel Latticed Towers</i>
RAP	Receita Anual Permitida
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SAD	Sistema de Apoio a Decisão

SADEL	SADEL Indústria Metalúrgica
SIL	<i>Surge Impedance Loading</i>
T-CAA	Cabo de alumínio termorresistente com alma de aço
TRI	Tensão de Rádio Interferência
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
XTACIR	<i>Extra Thermal Resistant Aluminum Alloy Conductor</i>
ZTACIR	<i>Ultra Thermal Resistant Aluminum Alloy Conductor Invar Reinforced</i>
3M	<i>Minnesota Mining and Manufacturing Company</i>

# Lista de símbolos

A	Comprimento do vão
B	Desnível entre estruturas adjacentes
C	Velocidade da luz
$C_1$	Razão entre a tração horizontal do vão e a massa linear do cabo condutor
$E_{ad}$	Campo elétrico admissível na superfície dos condutores
$E_{max}$	Campo elétrico máximo na superfície dos condutores
H	Tensão mecânica do condutor horizontal média antes e depois do corte do cabo
$K_i$	Coefficiente de irregularidade da distribuição das cargas e campos superficiais nos Condutores
$K_{ut}$	Fator de utilização
L	Comprimento do vão
$L_v$	Comprimento total de cabo no vão
$m_L$	Massa por unidade de comprimento do cabo condutor
(NIP)	Retira um pedaço do cabo condutor
n	Número de condutores no feixe
ohm/km	Resistência elétrica por unidade de comprimento
$P_n$	Potência Natural
R	Distância percorrida
$r_0$	Raio do condutor
t	Tempo em que o raio Laser atinge o objeto visado e retorna para o detector.
$T_0$	Tração mecânica horizontal
(TUCK)	Regrampeamento deslocado da cadeia de suspensão do cabo condutor
$U_f$	Tensão fase-terra

$W$	Peso por unidade de comprimento do condutor
$Z_m$	Impedância mútua
$Z_p$	Impedância própria
$Z_1$	Impedância de sequência positiva
$\Delta L$	Valor do balanço dos isoladores dos dois lados como resultado do corte ( <i>NIP</i> )
$\Delta l$	Comprimento a ser cortado do cabo condutor
$\Delta S$	Redução de flecha devido o corte do cabo ( <i>NIP</i> )

# Sumário

1	INTRODUÇÃO . . . . .	21
1.1	Contextualização . . . . .	21
1.2	Motivação . . . . .	21
1.3	Objetivos da Pesquisa do Trabalho . . . . .	22
1.4	Organização Textual . . . . .	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA . . . . .	24
2.1	Definição de Revitalização e Repotencialização . . . . .	24
2.2	Reisolamento . . . . .	25
2.3	Recondutoramento Utilizando Cabos Especiais . . . . .	27
2.4	Expansão de Feixe de Subcondutores . . . . .	32
2.5	Monitoramento em Tempo Real . . . . .	35
2.5.1	Power Donuts . . . . .	36
2.5.2	CAT-1 . . . . .	37
2.5.3	Sensor Híbrido: Alimentação Fotônica e Através de Fibra Óptica . . . . .	38
2.5.4	TRENA SONAR e VFlecha . . . . .	39
2.5.5	Sagometer . . . . .	39
2.5.6	Ampacimon . . . . .	40
2.6	Recondutoramento Especial – Troca de Cabo Condutor Apenas nos Vãos onde Haja Violação das Distâncias de Segurança . . . . .	42
2.7	Predição dos dados de LT's . . . . .	43
2.7.1	Método de Predição de Dados Meteorológicos via Série de Fourier . . . . .	43
2.7.2	Método de Predição via <i>Downscaling</i> . . . . .	43
2.7.3	Método de Predição via Estatística Bayesiana . . . . .	47
2.8	Relocação de Estruturas Metálicas com Alçamento das Mesmas . . . . .	48
2.9	Método <i>NIP/TUCK</i> . . . . .	51
2.10	Conclusão . . . . .	53
3	TÉCNICAS DE LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS . . . . .	56
3.1	Teodolito . . . . .	57
3.2	Estação Total . . . . .	57
3.3	GPS-RTK . . . . .	59
3.4	Aerofotogrametria e Ortofotocarta . . . . .	60
3.4.1	Aplicações no Setor Elétrico . . . . .	61
3.5	LIDAR . . . . .	62

3.6	Imagens de Satélites . . . . .	65
4	APLICAÇÕES DE RECAPACITAÇÕES . . . . .	67
4.1	Elevação das Cruzetas (Para Torres de Concreto) . . . . .	69
4.2	Diminuição das Ferragens das Cadeias de Suspensão . . . . .	70
4.3	Recondutoramento (troca do cabo condutor convencional CAA por cabo mais leve, tipo CAL) . . . . .	74
4.4	Observações Sobre o Comportamento do Cabo Condutor CAL em Recapacitações . . . . .	75
4.5	Retracionamento dos Cabos Condutores . . . . .	78
4.5.1	Cabo Condutor . . . . .	79
4.5.2	Estruturas . . . . .	80
4.5.3	Fundações . . . . .	80
4.6	Troca de Estruturas Baixas por Estruturas mais Elevadas e a Importância de Retirada e Inserção de Cabo . . . . .	81
4.6.1	Diferença de Comprimento de Cabos . . . . .	81
4.6.2	Necessidade de Inserção de Cabo . . . . .	84
4.6.3	Necessidade de Corte de Cabo . . . . .	88
5	MODELO DE RECAPACITAÇÃO PROPOSTO . . . . .	91
5.1	Motivação . . . . .	91
5.2	Desenvolvimento da Técnica . . . . .	92
5.2.1	Fundação em Concreto Armado . . . . .	92
5.2.2	Fundação Composta de Concreto Armado e Areia Adensada . . . . .	92
5.2.3	Premissas e Cuidados Essenciais . . . . .	95
5.3	Esquema de Implantação . . . . .	96
5.4	Estudo de Caso 1: LT 230kV Aquiraz/Fortaleza II - C1 - Recapacitação . . . . .	100
5.4.1	Solução Tradicional . . . . .	101
5.4.2	Solução Proposta . . . . .	103
5.5	Estudo de Caso 2: LT 230kV Camaçari II/ Cotegipe - C1 - Recapacitação . . . . .	105
5.5.1	Solução Tradicional . . . . .	105
5.5.2	Solução Proposta . . . . .	107
5.6	Análise dos Estudos de Caso . . . . .	109
5.6.1	Canteiro de Obra (código 01.01 dos apêndices) . . . . .	109
5.6.2	Montagem e Desmontagem de Canteiros de Obras (códigos 01.01.09 e 01.01.11 dos apêndices) . . . . .	110
5.6.3	Transporte de Material (código 01.03 dos apêndices) . . . . .	110
5.6.4	Carga e Descarga de Material (código 01.04 dos apêndices) . . . . .	111

5.6.5	Estradas de Acesso (código 01.06 dos apêndices) . . . . .	111
5.6.6	Supressão de Vegetação (código 01.07 dos apêndices) . . . . .	112
5.6.7	Serviços de Escavação (código 01.11) e Reaterro (código 01.21) dos apêndices) . . . . .	112
5.6.8	Montagem de Estrutura Metálica (código 01.27.02 dos apêndices) . . .	112
5.6.9	Desmontagem de Estrutura (código 01.28 dos apêndices) . . . . .	113
5.6.10	Transferência da Estrutura de Concreto (código 01.27.80 dos apêndices)	113
5.6.11	Transferência de Circuitos e Recondutoramento (código 01.35.45,01.35.97 e 1.35.09 dos apêndices) . . . . .	113
5.6.12	Aplicação de Concreto (código 01.20 dos apêndices) . . . . .	114
5.7	Conclusão . . . . .	114
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS . . . . .	116
6.1	Trabalhos Futuros . . . . .	116
	REFERÊNCIAS . . . . .	118
	APÊNDICES . . . . .	126
	APÊNDICE A – ORÇAMENTO PARA EXECUÇÃO DA SOLUÇÃO TRADICIONAL - CASO 1 . . . . .	127
	APÊNDICE B – ORÇAMENTO PARA EXECUÇÃO DA NOVA SOLUÇÃO DO CASO 1 . . . . .	131
	APÊNDICE C – ORÇAMENTO PARA EXECUÇÃO DA SOLUÇÃO TRADICIONAL DO CASO 2 . . . . .	134
	APÊNDICE D – ORÇAMENTO PARA EXECUÇÃO DA NOVA SOLUÇÃO DO CASO 2 . . . . .	139

# 1 Introdução

## 1.1 Contextualização

A energia elétrica é atualmente considerada item fundamental para o desenvolvimento da humanidade, sem esta, não teríamos subsídios para execução da maioria das atividades desempenhadas desde os processos de subsistência até o desenvolvimento das tecnologias mais avançadas.

Os mecanismos de produção de energia em grande escala são normalmente instalados em localidades distantes dos reais pontos de suprimento da mesma, isto acarreta na necessidade de transporte desta energia entre os pontos de produção e os locais de consumo. Neste contexto visualiza-se o equipamento fundamental para este processo, as Linhas de Transmissão (LT's) de alta tensão. As mesmas são responsáveis pelo transporte seguro e eficaz de grandes blocos de energia elétrica. A segurança destas instalações é essencial para o público ocupacional e o público em geral, desde sua construção, manutenção até o seu convívio com os transeuntes que circundam as LT's e que precisam lidar com as mesmas no entorno das faixas de segurança existentes ao longo dos corredores de linhas existentes espalhados pelo mundo.

Com o crescimento exponencial do consumo de energia, a produção da mesma não ocorreu na mesma velocidade. Verifica-se a preocupação generalizada dos órgãos governamentais e das concessionárias em geral em suprir esta demanda, com o menor impacto possível. Tais impactos têm natureza ambiental, jurídica, arqueológica, empresarial, econômica, etc. O aumento da transmissão de energia, implica em construção de novas LT's, ou em aumento da capacidade de transporte das linhas existentes.

O modelo estatístico proposto na revisão da Norma Brasileira 5422 (NBR 5422) na década de 90 propõe uma base de dados meteorológicos e riscos térmicos (probabilidade de exceder a temperatura de projeto) associado a distâncias de seguranças específicas. Atualmente o Operador Nacional do Sistema (ONS) não exige a adoção deste modelo, mas desenvolveu uma metodologia estatística aplicada a uma base de dados ajustada a temperatura do ar desenvolvida por simulação e disponibilizada aos agentes através da nota técnica (NT) ONS NT 0094/2016 – Revisão 0 (ONS, 2016).

## 1.2 Motivação

O crescimento do consumo de energia trouxe aos projetistas de linhas uma tarefa cada vez mais frequente: imposições dos poderes concedentes de autorizações de repotencialização das LT's.

As autorizações ou licitações de novas LT's estão se tornando cada vez mais difíceis de serem implementadas. As exigências ambientais e arqueológicas cada vez mais restritivas para implantação das mesmas, a diminuição de traçados evitando impactos urbanos e o preço de novas faixas de passagens para LT's têm gerado muitas dificuldades para construção de novos empreendimentos deste porte. No Brasil, por exemplo, a faixa de passagem é um dos itens mais onerosos dentre todos os custos envolvidos na implantação de tal empreendimento (RIBEIRO, 2014).

As solicitações de autorizações de repotencialização de LT's estão sendo realizadas com a velocidade necessária, contudo a conclusão destes serviços não ocorrem no prazo requerido.

Desta maneira, as poucas soluções consolidadas dentro das concessionárias, a necessidade de corte de carga em determinados momentos do sistema para que não haja contingência e a pouca eficiência de implantação dos empreendimentos de repotencialização (grandes prazos para execução e altos custos) trouxe à tona um grande desafio: a busca no Brasil e no mundo de como estas soluções possam ser sanadas e desenvolvidas.

Tal motivação levou a pesquisa de tecnologias que estão sendo estudadas, desenvolvidas e realizadas na área de repotencialização de LT's, com o intuito de aumentar a capacidade de resolução desta equação, minimizando custos, trocando ideias com profissionais da área, desenvolvendo inovações e verificando suas exequibilidades técnico-econômicas.

### 1.3 Objetivos da Pesquisa do Trabalho

Estes estudos fazem parte de um desenvolvimento acadêmico-profissional, com o intuito de contribuição para a comunidade acadêmica, aos profissionais do setor e da comunidade como um todo, que precisa de mais energia, com mais eficiência e menores custos para a sociedade.

Os objetivos para desenvolvimento desta Dissertação de Mestrado estão divididos nos seguintes itens:

1. Revisão da bibliografia referente às pesquisas realizadas sobre repotencialização de LT's no Brasil e no Mundo.
2. Análise de processos para levantamentos topográficos, ressaltando a importância do levantamento topográfico de uma LT e identificação de técnicas utilizadas desde os primórdios até os dias de hoje.
3. Pesquisas de técnicas de recapitações mais usuais e peculiaridades em suas implantações.
4. Elaboração de um novo modelo de recapitação técnico-economicamente competitivo em relação à metodologia atual.

## 1.4 Organização Textual

Esta dissertação está organizada nos seguintes capítulos:

- **Capítulo 1** - São introduzidos os objetivos, as motivações e a organização do trabalho realizado.
- **Capítulo 2** - Através das pesquisas realizadas nos últimos anos, são definidos os tipos de recapacitações por técnicas distintas. Antes das descrições dessas técnicas será feita uma revisão dos conceitos associados a Recapacitação, Revitalização e Repotencialização. Conceitos estes recentemente destacados na comunidade internacional, mas ainda pouco difundido no setor elétrico.
- **Capítulo 3** - A importância dos principais processos para obtenção dos dados topográficos e a descrição das principais técnicas de levantamento topográfico realizados para projeto de recapacitação de LT's.
- **Capítulo 4** - São abordadas as principais técnicas já utilizadas para recapacitação de linhas de transmissão praticadas. Serão mostrados exemplos de aplicação, peculiaridades e experiências profissionais.
- **Capítulo 5** - Neste capítulo, será vislumbrada nova técnica de recapacitação de linha de transmissão (LT), estudos de caso aplicando o *software* PLS-CADD<sup>®</sup>, todos os exemplos serão compostos pelas metodologias propostas, prazo de execução e estimativas de custo baseadas no banco de preços da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF). Todos os estudos de caso serão comparados (preços e prazos) com soluções tradicionalmente consolidadas.
- **Capítulo 6** - Comentários finais, conclusões e propostas para refinamentos e continuidades da pesquisa.

## 2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo tem o intuito de apresentar as principais pesquisas realizadas na área de revitalização e repotencialização de linhas aéreas de transmissão.

A revisão tecnológica das repotencializações de LT's existentes no Brasil e no mundo são aqui descritas de acordo com trabalhos, forças tarefas, brochuras, artigos e estudos realizados para projetar empreendimentos de repotencializações e revitalizações em LT's de Alta Tensão. A recapacitação é a junção dos dois tipos de serviços citados e são executadas ou projetadas em diversas situações.

Neste capítulo são explicados vários pontos que merecem destaque: as atividades essenciais, técnicas recentes, inclusive algumas que ainda estão em fase de testes, engenharia reversa, novas tecnologias que modificam a composição de materiais, enfim, os principais conceitos necessários para o bom entendimento do processo de repotencialização de LT's.

Observou-se que diversas técnicas utilizadas no passado se tornam proibitivas nos dias atuais. Técnicas usuais para aumento da ampacidade das LT's como de raspagem do terreno (atualmente proibida por grande parte dos órgãos ambientais), transformação das estruturas de suspensão em falsa ancoragem (impõe à torre a hipótese de diferencial de tração não prevista em estrutura de suspensão), têm sido utilizadas para viabilizar maiores transmissões de corrente, mas as vezes não são exequíveis, ou podem prejudicar a suportabilidade mecânica das estruturas existentes.

Ao final deste capítulo são destacados os principais pontos analisados e feito um paralelo com a prática profissional adquirida, quando couber, de modo a tentar introduzir críticas construtivas, desenvolvimento do conhecimento acadêmico e compartilhamento de experiências sobre recapacitações de linhas aéreas de transmissão de alta tensão.

### 2.1 Definição de Revitalização e Repotencialização

A norma americana sobre carregamentos e esforços em LT's, embora seja um documento para aplicação em novas LT's, pode ser aplicada na determinação da confiabilidade da vida útil remanescente das LT's após sua repotencialização (IEC 60.826, 2003).

As LT's perdem suportabilidade e resistência mecânica com o tempo. Estas reduções de suportabilidade dos componentes e elementos variam de um componente ou elemento para o outro, e também depende da idade, do tipo de material do processo de fabricação e da influência ambiental (corrosão, uso, fadiga, recozimento etc).

Na maioria das publicações repotencialização (*Uprating*) tem sido definido com um

aumento da característica elétrica da linha aérea, enquanto revitalização (*Upgrading*) tem sido definido como reforços nos componentes da linha.

Nas recentes bibliografias estudadas é verificado que as definições de repotencialização (*Upgrading*) é um incremento na capacidade de transmissão e a revitalização (*Upgrading*) é um melhoramento na sua confiabilidade.

Logo é verificado que a recapacitação da LT é composta de duas técnicas, a repotencialização e a revitalização.

A vida da LT pode ser prolongada por reparo ou substituição de elementos defeituosos. A taxa de degradação também pode ser maximizada dependendo de agentes externos. É necessário também verificar quais os componentes mais frágeis da LT (LUNA; NETO, 1997).

A expectativa de vida remanescente é um bom indicador para caracterizar a taxa de degradação dos vários elementos da linha de transmissão. Este também é um bom indicador para verificação da viabilidade técnico-econômica de tomada de decisão para recapacitação de uma LT antiga (B2.06, 2006).

Normalmente uma parte da revitalização de uma LT é realizada durante a repotencialização devido à necessidade de obter confiabilidade para realização das ações necessárias para o aumento de potência. A revitalização sem repotencialização não será escopo deste trabalho, visto que, é uma atividade pertencente a área de manutenção.

Repotencializar uma linha de transmissão, significa aumentar sua capacidade de transmissão, e isto pode ser implementado pelo acréscimo da corrente nominal, aumento do nível de tensão ou aumento da potência natural da LT através, por exemplo, da modificação do feixe dos cabos condutores.

O aumento da corrente nominal significa a necessidade ou de elevar a temperatura de operação do condutor ou reconduzir a linha, enquanto que a elevação do nível de tensão requer o reisolamento da linha para o novo nível de tensão, incluindo o acréscimo da distância entre fases e fase terra. Para o aumento da potência natural elevada, precisa-se diminuir a impedância série e paralela da linha de transmissão. Estas técnicas serão mostradas com detalhe ao longo deste capítulo.

Os conceitos aqui descritos são oriundos de uma força tarefa do CIGRÈ datada de 2006 que teve o intuito de normatizar algumas nomenclaturas que já vinham sendo utilizadas no setor elétrico mundial, mas que as vezes eram trocadas ou confundidas, apesar de terem suas reais definições implementadas na prática pelos profissionais da área (B2.06, 2006).

## 2.2 Reisolamento

O reisolamento é a maneira de recapacitar a LT aumentando o nível de tensão da mesma. Esta solução é adotada quando o nível de regulação da tensão é um fator limitante ou quando

não existe solução de traçado para novas LT's (GEWEHR, 1991). O reisolamento é uma técnica bastante econômica, podendo chegar a apenas 20% a do valor de uma nova LT, quando se refere a uma LT passando da tensão de 69 kV para a tensão de 138 kV (MOREIRA et al., 1999).

Houve também a reisolação intencional de um circuito duplo de 230 kV para 500 kV, chamado de "Transformável". Isso ocorreu devido à verificação de estudos de planejamento que mostrava a necessidade de carga no Ceará, mas o investimento em uma subestação de 500 kV, seus equipamentos e comissionamento não eram viáveis economicamente a priori. Portanto, foi construída no estado do Ceará esta LT em circuito duplo 230 kV com dois cabos CAA Grosbeak por fase, que operou durante anos, postergando o investimento do início da implantação do sistema de 500 kV no estado do Ceará. Após a implantação deste sistema, a LT transformável circuito duplo e dois cabos por fase foi reisolada para um circuito simples 500 kV, com quatro cabos por fase. Esta solução foi a primeira implantada no Brasil, mas já existia nos Estados Unidos (GALIANO et al., 1979).

Para implementação do reisolamento os aspectos fundamentais a serem verificados pelos projetistas nesta fase do empreendimento são: verificações das alturas cabo-obstáculo, cabo-estrutura, cadeias de isoladores, estruturas, ferragens e fundações, pois com o aumento da tensão as distâncias de segurança para a LT aumentam e é preciso manter o nível de confiabilidade da LT diante das normas vigentes. As seguintes soluções e análises têm sido verificadas com frequência na execução desta técnica:

- o retracionamento do cabo tem sido a solução mais adotada para aumento das distâncias cabo-obstáculos, evitando violações verticais de distâncias de segurança (MOREIRA et al., 1999). Esta nova condição de esticamento mecânico dos cabos condutores exige um estudo de vibração eólica para verificação do sistema de amortecimento da LT (HATASHITA et al., 2015);
- o aumento das mísulas das estruturas metálicas ou a troca das cruzetas em caso de estruturas de concreto normalmente são realizadas a fim de manter as taxas de desligamento e religamento dos estudos da coordenação de isolamento dentro dos níveis padronizados (BRAGA; VEIGA; MOREIRA, 1993);
- quando necessário, há o travamento das cadeias de isoladores, transformando-as em cadeias do tipo "L" ou "V", evitando o desligamento da LT por abertura do espaçamento devido ao balanço da cadeia em regime permanente no vento máximo ou na condição de surto de manobra (BRAGA; VEIGA; MOREIRA, 1993);
- as análises mecânicas das estruturas e das fundações têm que ser realizadas. Caso a nova solução seja o aumento de tração dos cabos condutores ou a troca do cabo condutor por outro com maior diâmetro ou maior peso, as hipóteses de carregamento projetadas

para a condição anterior podem ser violadas, exigindo assim, reforços nas estruturas e/ou fundações existentes na LT. (SILVA et al., 1989).

## 2.3 Recondutoramento Utilizando Cabos Especiais

O recondutoramento tem se tornado uma alternativa cada vez mais atrativa no setor elétrico tendo em vista a necessidade de aumento de carregamento das LT's e suas restrições eletromecânicas.

O primeiro cabo condutor utilizado foi de cobre, em seguida alumínio e após este alumínio com alma de aço (CAA). Este dava mais sustentação mecânica aos vãos das LT's. Depois foi utilizada a liga de alumínio-magnésio-silício (CAL), esta última liga foi também utilizada com alma de aço (CALA) (LUNA, 1995).

Muitos cabos foram desenvolvidos com o objetivo de minimizar vários efeitos indesejáveis elétricos e mecânicos, além de prover cada vez mais condutividade e menores flechas. Foi quando começou a serem incorporados os cabos especiais, normalmente utilizados em casos específicos.

Os condutores que vem surgindo no mercado estão cada vez mais leves, com menos flecha e menor resistência elétrica (ohm/km).

Há também cabos especiais que não possuem menos flecha, mas a liga no qual são fabricados fornecem a capacidade de um grande aumento de corrente devido ao elevado limite térmico que esses podem trabalhar, sem que aconteça recozimento da liga metálica (perda das propriedades originais do material).

Existem trabalhos que mostram que a repotencialização através do recondutoramento da LT para um cabo especial do tipo *High Temperature, Low Sag* (HTLSC) custa cerca de 30% de todos os custos dos materiais de uma LT, comparado com um cabo convencional ACSR (BERYOZKINA, SVETLANA, SAUHATS, 2015).

Portanto a gama de cabos especiais que existem, e que estão sendo desenvolvidos devem ser analisados e verificadas a necessidade de aplicabilidade de cada um deles com os custos associados (JR et al., 1999) (WIEDMER, 2005) (WIEDMER et al., 2007).

São mostrados em seguida os principais cabos existentes na época atual utilizados em LT's de alta tensão com um resumo de suas características:

- CA (Cabo de Alumínio 1350): Cabo de Alumínio liga 1350 utilizado em vãos pequenos, pois suas flechas são grandes com o aumento do vão e da temperatura, normalmente utilizado em linhas urbanas e Subestações. Denominados por nome de flores no Idioma Inglês, a Figura 1 ilustra um exemplo do cabo citado;

- CAA (Cabo de Alumínio 1350 com Alma de Aço): São cabos com alma de aço sólido ou cabos de aço e cobertos com fios de alumínio 1350. O aço dá sustentabilidade mecânica e é recoberto com zinco para proteção a corrosão. O alumínio que fica por fora formando uma coroa condutiva e são também cobertos de zinco (galvanizados a quente). Denominados por nome de pássaros no Idioma Inglês. Um exemplo deste cabo pode ser verificado na Figura 2;

Figura 1 – Amostra de cabo CA



Fonte: (ELÉTRICOS, 2017a)

Figura 2 – Amostra de cabo CAA



Fonte: (LIMA, 2017)

- CAL (Cabo de Alumínio liga 6201): Ele possui uma liga de resistência mecânica bem superior à do Alumínio 1350, sua maneira de fabricação faz com que para a ampacidade equivalente a liga 1350 possua menor massa linear (kg/m). Além de reduzir a abrasão do condutor durante o lançamento e manuseio reduzindo assim as perdas por efeito corona. Seu diâmetro externo tem a equivalência da resistência elétrica do cabo. Devido ao custo deste cabo ter barateado bastante, este é o cabo atualmente mais utilizado na concepção de novas LT's. O mesmo é utilizado em substituição de grandes vãos para diminuição de flecha em recapacitações e evitando ao máximo a construção de novas estruturas (WIEDMER et al., 2007). O cabo tipo CAL pode ser verificado na Figura 3;
- ACAR (Cabo de Alumínio liga 1350 com cabos de alumínio 6201): Este cabo é mais leve do que o cabo CAA, e possui menos flecha que o CA. O alumínio 6201 dá mais sustentabilidade mecânica enquanto a capacidade de corrente aumenta e a resistência elétrica por unidade de comprimento diminui devido à ausência da alma de aço. Vem sendo uma alternativa cada vez mais utilizada em novas LT's. Um exemplo do cabo ACAR é visto na Figura 4;
- CALA (Cabo de Alumínio 6201 com Alma de Aço): O cabo CALA é um condutor encordado composto de uma ou várias camadas de fios de liga 6201, reforçado por uma alma de aço. Condutores liga 6201 são mais duros, portanto, têm maior resistência à abrasão que os condutores de alumínio 1350. Este cabo chega a possuir de 40% a 60% a mais de carga de ruptura mecânica e conduzir 8% a 10% mais de corrente do que o

Figura 3 – Amostra de cabo CAL



Fonte: (CABLE, 2017)

Figura 4 – Amostra de cabo ACAR



Fonte: (JINYUAN, 2016)

seu equivalente CAA (JR., 2016). São indicados para grandes vãos, onde é impraticável a utilização de torres intermediárias. O cabo CALA pode ser visto com seus tentos em camadas, conforme Figura 5;

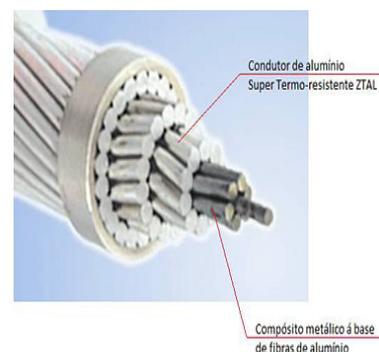
- T-CAA (Cabo de alumínio termorresistente com alma de aço): Este cabo contém zircônio no alumínio 1350, este elemento faz com que a liga possa operar a 150°C e 180 °C nas condições normais e de emergência (WIEDMER, 2005), onde o alumínio 1350 normal opera a 90°C e 120 °C nestas condições. Esse cabo pode ser utilizado para uma maior passagem de corrente com uma menor seção condutiva, é preciso verificar se as perdas devido ao efeito Joule ( $I^2R$ ) não ultrapassará os valores máximos aceitáveis (UEDA, 1995). Este cabo normalmente deve ser utilizado para aumento de condução de corrente, ou diminuição dos esforços nas estruturas. Um exemplo de cabo termoresistente, pode ser verificado na Figura 6;

Figura 5 – Amostra de cabo CALA



Fonte: (ELÉTRICOS, 2017b)

Figura 6 – Amostra de cabo T-CAA



(PORTO, 2017)

- GZTACSR ou ACSR/SD (Conductor tipo gap de liga de alumínio ultra termorresistente reforçado com aço): Esse cabo possui um gap entre o alumínio e o aço que é inserido uma graxa para absorção da vibração. As camadas externas de alumínio são compactas, diminuindo o espaço entre as camadas de alumínio. Este cabo deve ser lançado com

cuidados especiais e requer também ferragens especiais (JR., 2016). Na Figura 7 mostra os tentos externos achatados e um intervalo entre este e a sua alma;

- ZTACIR (Condutor de liga de alumínio ultra termorresistente reforçado com Invar): A sua diferença para o ZTACSR é que a alma do cabo é feita de aço com níquel. Desta forma esse cabo pode operar a 210°C e 240 °C em condições normais e de emergência respectivamente. A tração mecânica é praticamente toda transferida para o núcleo da liga de aço. Ele tem a desvantagem de ter uma resistência elétrica maior do que o CAA equivalente. Também há o XTACIR, alma extra resistente que faz com que o cabo possa operar até a 230°C e 310 °C em condições normais e de emergência respectivamente. A Figura 8 mostra a seção transversal do cabo descrito;

Figura 7 – Cabo GZTACSR ou ACSR/SD



Fonte: (PRODOTTI, 2017)

Figura 8 – Cabo ZTACIR



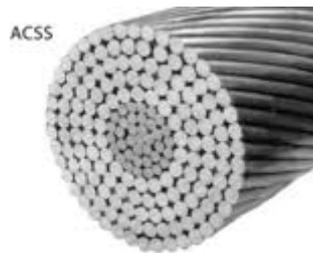
Fonte: (PORTO, 2017)

- ACSS: (Cabo de alumínio suportado pelo aço): Cabo de alumínio liga 1350-O, possui a capacidade de condução de até 200 °C e 250°C (normal e emergência respectivamente) da coroa condutiva. A alma de aço suporta todo tracionamento mecânico. A liga por ser mais mole transfere toda tração para a alma de aço, fazendo com que o mesmo se comporte mecanicamente como se fosse o cabo só de aço. Após alongado, o cabo não volta a condição elástica. Os tetos transferem a vibração para o aço, fazendo com que este possa ser esticado cerca de 50% mais que o equivalente CAA. Mas este cabo possui a desvantagem de ser de difícil manejo e possui baixa carga de ruptura, ocasionando em grandes flechas e dificuldades construtivas. Este não deve ser utilizado para aumento de temperatura por um CAA de bitola equivalente (B2.12, 2004). Na Figura 9 há um exemplo deste cabo, a alma de aço pode ser verificada pelos tentos mais escuros;
- ACCR (Cabo de alumínio reforçado por compósito): Este cabo da 3M (*Minnesota Mining and Manufacturing Company*) tem a alma com finíssimos tentos metalo-cerâmico e uma coroa com tentos de liga de alumínio-zircônio, esta propriedade faz com que o cabo possa conduzir muito mais, ser mais leve e praticamente não possuir flecha. É um cabo que pode triplicar a capacidade de condução de um cabo equivalente em peso e diâmetro. As propriedades da liga utilizadas na coroa permitem a operação do condutor a 210°C em regime permanente e 240°C em emergência (NASCIMENTO et al., 2009). Já vem sendo

utilizado em LT's no Brasil e no mundo. A Figura 10 indica como é visualizada a alma deste cabo, e o detalhe de um dos tentos da alma aparentando fibras capilares;

Figura 10 – Cabo ACCR

Figura 9 – Cabo ACSS



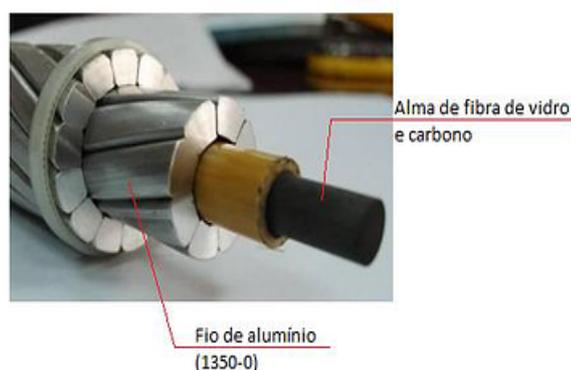
Fonte: (PORTO, 2017)



Fonte: (BRASIL, 2014)

- ACCC (Condutor de alumínio com alma de compósito): Este cabo possui alma de fibra de vidro com carbono e seus tentos são em formato trapezoidal. Esta alma faz com que o cabo praticamente não tenha flecha e é bem mais resistente mecanicamente. Quando comparado ao cabo CAA de mesma bitola, possui o mesmo peso, redução de 18% das perdas elétricas e resistência mecânica 25% superior. Opera a 180°C e em regime de emergência a 200°C. Vem sendo aplicado em alguns países em caráter experimental, porém seu custo ainda continua altíssimo (FAVORETTO, 2013). Na Figura 11 podem ser verificados os tentos em forma de trapézio com a alma exposta mais a frente da Figura;

Figura 11 – Cabo ACCC



Fonte: (PORTO, 2017)

O cabo ACCR é o cabo condutor que possui maior custo por quilômetro instalado e também possui a maior relação entre corrente transmitida versus valor de flecha por vão de uma LT.

Devido à grande variedade de cabos na atualidade disponíveis no mercado, cabe ao projetista verificar a necessidade de aplicação de cada um deles, levando sempre em consideração o custo-benefício de forma a decidir qual o melhor cabo a ser utilizado em uma LT que necessita ser recapitada (FAVORETTO, 2013) (SILVA, 2009) (AUGUSTO; BAUMANN, 1997).

## 2.4 Expansão de Feixe de Subcondutores

A expansão dos feixes dos subcondutores surgiu na Rússia, berço da LPNE (Linha de Potência Natural Elevada). A necessidade de transferência de grandes blocos de energia a grandes distâncias se deparava com a queda acentuada de tensão e da instabilidade do sistema elétrico (JR; MAIA; NETO, 1993).

A introdução desta tecnologia no Brasil iniciou em 1992 e têm sido desenvolvida em larga escala desde então (Robson Celso Pires, 2009).

Ao se expressar a equação da Potência Natural para uma LT relacionando as tensões e os campos elétricos se obtém (JR. et al., 1997):

$$P_n = \frac{1}{20} \cdot n \cdot r_0 \cdot U_f \cdot E_{ad} \cdot K_{ut} \quad (1)$$

sendo:

$$K_{ut} = \frac{E_{max}}{E_{ad}} \cdot \frac{1}{K_i} \quad (2)$$

Em que:

- $n$  -> número de condutores no feixe
- $cr_0$  -> raio do condutor ( $m$ )
- $U_f$  -> tensão fase-terra ( $kV$ )
- $E_{ad}$  -> campo elétrico admissível na superfície dos condutores (90° do gradiente crítico para corona visual) ( $kV/m$ )
- $K_{ut}$  -> fator de utilização (<1)
- $E_{max}$  -> campo elétrico máximo na superfície dos condutores ( $kV/m$ )
- $K_i$  -> coeficiente de irregularidade da distribuição das cargas e campos superficiais nos condutores (>1).

A equação 1 mostra que a potência natural de uma linha, para o mesmo valor de tensão é proporcional ao número e área de condutores. Mas é inversamente proporcional ao coeficiente de irregularidade da distribuição das cargas e campos superficiais nos condutores.

Neste caso, a otimização do arranjo geométrico dos feixes e fases de subcondutores equaliza o campo  $E_{\max}$  elevando o fator de utilização ( $K_{ut}$ ) aumentando a Potência Natural, podendo ter ganhos de até 200 % da potência ativa, quando é refeita a configuração geométrica dos subcondutores.

A Potência Natural de uma LT (*Surge Impedance Loading* ou *SIL*) é inversamente proporcional a impedância de sequência positiva. Considerando a teoria de impedâncias em componentes de fase pode ser comprovada que o afastamento dos subcondutores de uma fase diminui o acoplamento magnético, reduzindo a impedância própria por fase. Outra maneira é manter o feixe tradicional e aproximar as fases (torre compacta), pois há um aumento na impedância da potência mútua, aumentando a impedância de sequência positiva. A impedância de sequência positiva é dada por (JR. et al., 1997):

$$Z1 = Zp - Zm \quad (3)$$

Em que:

- $Z1$  -> Impedância de sequência positiva (*ohm/km*)
- $Zp$  -> Impedância própria (*ohm/km*)
- $Zm$  -> Impedância mútua (*ohm/km*)

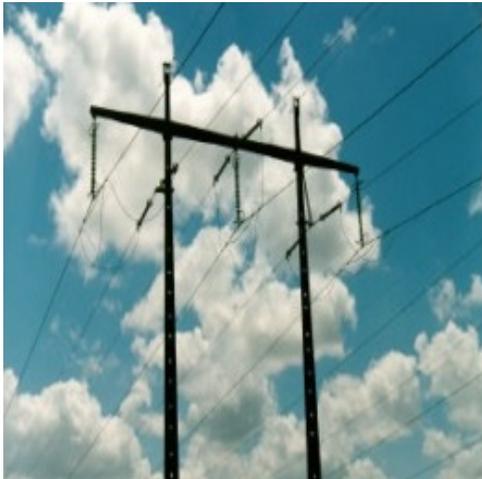
As linhas onde são aplicados este conceito chamam-se de LPNE no qual se desenvolveu a tecnologia (feixe expandido)(JR. et al., 1997).

A LPNE foi aplicada pela primeira vez no hemisfério sul na CHESF, através da expansão do feixe dos cabos condutores utilizando ferragens especiais para execução deste tipo de empreendimento de recapacitação. Foram concebidos e aplicados vários tipos de feixes tais como o FEX, DUFEX e o SUPERFESTÃO, estes últimos exclusivamente para aumento da Potência Natural da LT (CAVALCANTI et al., 1999), (SILVA; NETO; JÚNIOR, 2003).

Esta solução foi fundamental na época que foi implantada, pois a necessidade de transporte de grandes blocos de cargas com Potência Natural elevada era fundamental, devido ao sistema não suportar altas capacitâncias naquela fase de implementação do sistema (SILVA; LACERDA; LIMA, 1997).

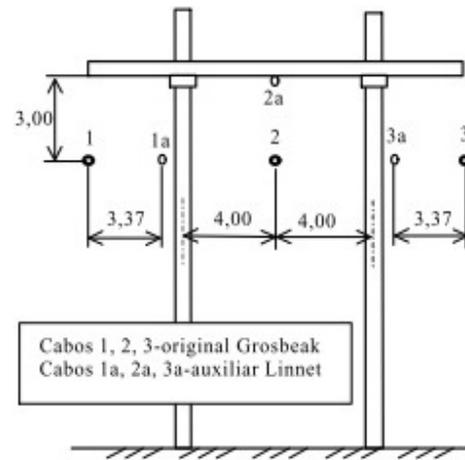
As Figuras 12 e 13 mostram o DUFEX em fotografia e sua forma geométrica inicial respectivamente.

Figura 12 – Foto de uma estrutura de concreto na configuração DUFEX



Fonte: (NETO et al., 1999)

Figura 13 – Exemplo da geometria do feixes DUFEX



Fonte: (NETO et al., 1999)

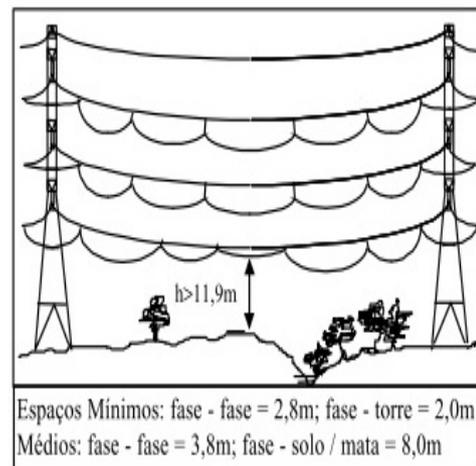
As Figuras 14 e 15 ilustram a foto e o desenho da configuração SUPERFESTÃO respectivamente.

Figura 14 – Foto de uma estrutura metálica na configuração SUPERFESTÃO



Fonte: (NETO et al., 1999)

Figura 15 – Esquema com vista transversal em um vão da LT com feixes de subcondutores na tecnologia SUPERFESTÃO



Fonte: (NETO et al., 1999)

É válido salientar que estes novos feixes assimétricos de cabos condutores criados para maximizar a Potência Natural das LT's foram exaustivamente testados e validados através de ensaios elétricos, mecânicos e medições de interferências eletromagnéticas a fim de manter a confiabilidade requerida das normas técnicas nacionais e internacionais (CAVALCANTI et al., 1997) (JUNIOR et al., 2007) (DART et al., 1999). A Figura 16, ilustra um ensaio de tensão

suportável realizado no CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) com uma cadeia de suspensão com feixe expandido.

Figura 16 – Ensaio em cadeia de suspensão com quatro subcondutores com feixe expandido



Fonte: (DART et al., 1999)

Às vezes, apenas o aumento da ampacidade da LT não é suficiente para maximizar a capacidade das LT's existentes em um corredor com muitas linhas em paralelo ou para uma LT muito longa. O custo de implantação de expansão de feixe de condutores para aumento da Potência Natural é normalmente muito atrativo para a estabilidade do sistema (JUNIOR, O. R.; CAVALCANTI, S. J. G.; WAVRIK, 1995).

## 2.5 Monitoramento em Tempo Real

O estudo de uma LT por monitoramento no intuito de recapacitá-la é uma forma de prover mais segurança dos parâmetros a serem utilizados no projeto de incremento de capacidade operativa. Diminuir as incertezas das condições físicas da LT existente, e aumentar a precisão da verificação do comportamento dos cabos a altas temperaturas são essenciais para uso desta técnica (CARRINGTON, 1998).

O monitoramento em tempo real da capacidade térmica de linhas de transmissão pode normalmente aumentar a capacidade de transporte da linha entre 10% e 30%. Essa capacidade adicional pode ser alcançada com um custo geralmente pequeno comparando com outras técnicas de recapacitação (SEPPA, 2002).

O monitoramento também é bastante difundido quando há urgência de carga em determinados centros, e, pode-se monitorar as distâncias de segurança mais críticas por um curto

intervalo de tempo (JR.; DOMINGUES, 2015).

Existem várias técnicas de monitoramento em tempo real, serão descritas algumas delas neste capítulo.

Estações meteorológicas e medição da temperatura superficial do condutor são dados que podem ser obtidos ao longo da LT. Com o levantamento topográfico atualizado se pode verificar em tempo real as distâncias cabo-obstáculo e aumentar a carga caso algum outro parâmetro ambiental esteja a favor da segurança (radiação solar menor, temperatura ambiente mais baixa, altas velocidades de vento etc). Este método é muito utilizado com a equação do equilíbrio térmico, trazendo segurança ao profissional no momento que o sistema precisa crescer potência não projetada na LT.

Existem vários equipamentos de medição meteorológica e de temperatura superficial sendo comercializados, alguns modelos são dispostos conforme descritos a seguir:

### 2.5.1 Power Donuts

O Power Donuts faz a leitura da temperatura no cabo condutor, é necessário instalar estações meteorológicas para medição de dados fundamentais tais como: velocidade do vento, temperatura ambiente, radiação solar etc. Caso exista o levantamento topográfico atualizado da LT, apenas a temperatura do cabo condutor é suficiente para saber se a temperatura de projeto não está sendo excedida. Na Figura 17 pode ser observado o equipamento Power Donuts no campo antes de sua instalação. Na Figura 18 o mesmo já está instalado na LT próximo ao amortecedor na fase inferior da estrutura de ancoragem. Na Figura 19 encontra-se a vista longitudinal do equipamento descrito.

Figura 17 – Equipamento Power Donuts sendo preparado para instalação



Fonte: (SOLUTIONS, 2016)

Figura 18 – Equipamento Power Donuts em uma estrutura metálica



Fonte: (JR.; DOMINGUES, 2015)

Figura 19 – Equipamento Power Donuts em uma estrutura metálica



Fonte: (JR.; DOMINGUES, 2015)

### 2.5.2 CAT-1

O sistema CAT-1 é instalado na cadeia de isoladores e mede a tração de esticamento dentro da seção de tensionamento (tramo entre duas estruturas de ancoragem). Ele possui um sensor de carga (célula), e também contém sensores de temperatura ambiente e um sensor que simula as influências das variáveis ambientais no cabo condutor.

Ele possui dois componentes principais: sensores e dispositivos de comunicação de apoio localizados perto da LT e um software que recebe as informações deste sistema. Na Figura 20 é

observada a Célula que capta a tração mecânica do cabo condutor. A Figura 21 mostra o receptor dos dados e na Figura 22 é verificada a aplicação do CAT-1 na cadeia de ancoragem da LT.

Figura 20 – Dinamômetro do CAT-1



Fonte: (PRODUCTS, 2014)

Figura 21 – CatMaster que recebe os dados da célula através de rádio comunicação



Fonte: (PRODUCTS, 2014)

Figura 22 – Dinamômetro instalado em uma cadeia de ancoragem



Fonte: (NEXANS, 2009)

O primeiro Sistema de monitoramento de LT's através do CAT-1 foi realizado pela Virginia Power (USA) em 1991. Desde então, mais de 300 Sistemas de Monitoramento de Linha de Transmissão foram instalados em cerca de 100 concessionárias em mais de 20 países em 5 continentes (PRODUCTS, 2014).

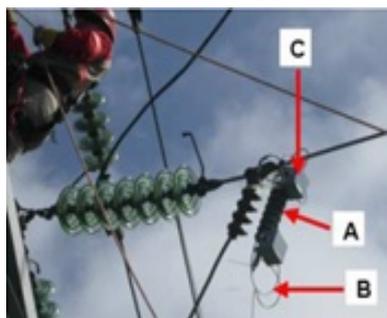
### 2.5.3 Sensor Híbrido: Alimentação Fotônica e Através de Fibra Óptica

Este sensor possui outros três sistemas para verificação da temperatura do cabo e da corrente do mesmo: um sensor de temperatura, um sensor de corrente e uma estação-base que armazena os dados na região de baixa tensão. Este sistema é colocado em duas torres adjacentes

de um vão crítico, de modo a verificar como a flecha se comporta independente da variação das condições meteorológicas, dependendo apenas da temperatura do condutor.

Na Figura 23, letra A é ilustrada a instalação do equipamento em uma LT 69 kV, a indicação da letra B mostra a fibra óptica que capta os dados. A cápsula para proteção do equipamento em alta tensão é mostrada na Figura 23 letra C (NAZARÉ; NAZARÉ, 2010) (NAZARÉ; WERNECK; NETO, 2013).

Figura 23 – Instalação do sensor na LT



Fonte: (NAZARÉ; WERNECK; NETO, 2013)

#### 2.5.4 TRENA SONAR e VFlecha

O sistema SONAR mede com laser a altura precisa cabo-solo do condutor, trabalhando com ele também outros sensores (termômetros e transmissões de dados para a base). Este tem o inconveniente de ficar exposto ao público, sujeito a vandalismo já que trabalha sem tensão. Mas a precisão e transmissão dos valores transferidos para as estações coletoras é bastante eficaz (NASCIMENTO et al., 2001). Na Figura 24 é apresentada a trena SONAR. Na Figura 25 é exemplificado o gráfico no qual é descrita a variação da altura cabo-solo ao longo do dia.

O VFlecha possui sensores LED e Laser que se comunicam através de um GPRS, ele mede as alturas cabo - obstáculo e também possui sensores para capturar os dados fixados junto a estrutura (NASCIMENTO et al., 2001). Na Figura 26 é ilustrado um esquema de implantação do sensor no cabo condutor. Na Figura 26 - B e C são mostradas fotos do anteparo e do sensor que capta as distâncias cabo-solo respectivamente.

#### 2.5.5 Sagometer

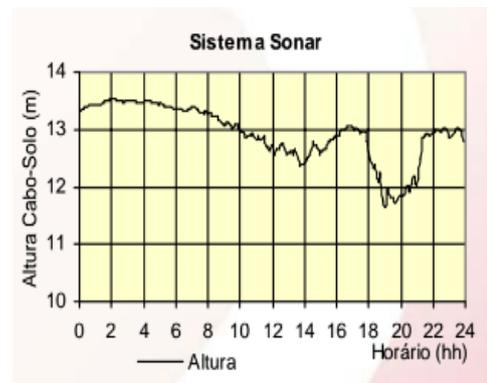
O sistema Sagometer instalado inclui uma câmera inteligente, sensores climáticos, dispositivos de iluminação, banco de armazenamento de dados, sistema de comunicações e uma antena para comunicações sem fio. Este sistema mede com precisão as flechas das LT's permitindo o monitoramento das distâncias de segurança em tempo real (PENNWELL, 2016). Na Figura 27 é ilustrado um resumo do sistema de funcionamento do Sagometer.

Figura 24 – Foto do sonar embaixo da LT



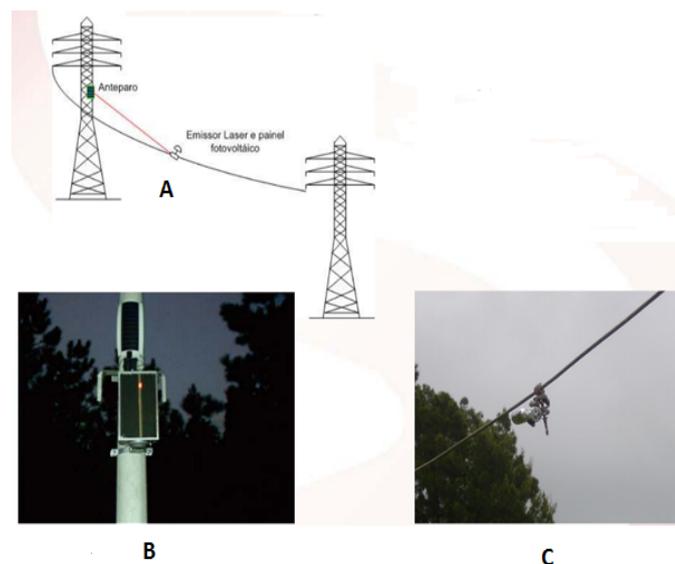
Fonte: (NASCIMENTO et al., 2001)

Figura 25 – Gráfico ilustrando os dados captados pelo sonar



Fonte: (NASCIMENTO et al., 2001)

Figura 26 – O Sagometer dividido em seus subsistemas (A – Ponto de inserção no meio do vão da LT, B - Capturando os dados junto a estrutura e C – Foto em detalhe do aparelho no cabo condutor)

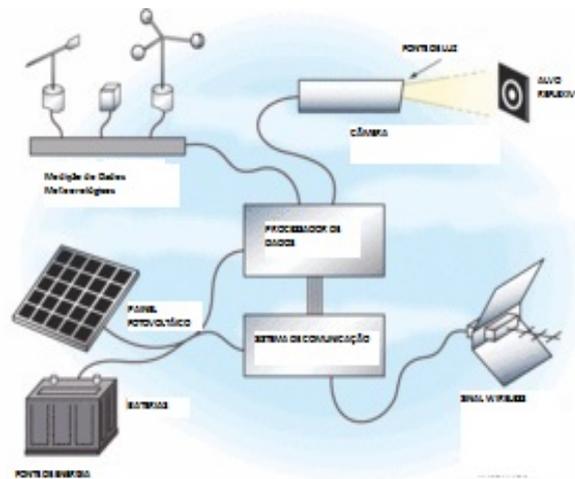


Fonte: Adaptado de (NASCIMENTO et al., 2007)

### 2.5.6 Ampacimon

O Ampacimon é um sensor conectado diretamente na LT. Ele pode avaliar a vibração em tempo real de um vão sem a necessidade de quaisquer dados suplementares (como carregamento da LT, dados topográficos, dados de condutores e dados meteorológicos). Ampacimon é um dispositivo patenteado, que analisa a vibração do condutor e detecta as frequências fundamentais de vibração dentro de um intervalo. As frequências fundamentais fornecem o valor exato da flecha do vão. Uma flecha maior significa frequências mais baixas e vice-versa. As condições

Figura 27 – Esquema simplificado do funcionamento do sagometer



Fonte: (PENNWELL, 2016)

externas tais como: carregamento da LT e valores meteorológicos afetam o crescimento da flecha e são portanto, automaticamente incorporados nas leituras de frequência. Ampacimon é um medidor automático de flecha. Os módulos podem ser instalados em qualquer lugar ao longo do vão (CLOET; LILIEN, 2011). Na Figura 28 é ilustrado o Ampacimon em fotografia aérea ao longo de um cabo condutor do vão de uma LT.

Figura 28 – Foto em detalhe do aparelho Ampacimon no cabo condutor



Fonte: (AMPACIMON, 2015)

## 2.6 Recondutoramento Especial – Troca de Cabo Condutor Apenas nos Vãos onde Haja Violação das Distâncias de Segurança

O trabalho de Alessandro Aleixo, intitulado de MODELAGEM PARA REPOTENCIALIZAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE CONDUTORES ESPECIAIS veio a agregar uma metodologia inédita: a troca de cabos condutores convencionais por cabos especiais apenas nos vão onde há violação de alturas cabo-obstáculo, sem necessidade de troca do cabo condutor de toda a seção do tramo (SILVA, 2009).

Foram introduzidos equacionamentos específicos para condutores especiais inseridos em vão onde há violação, trocando apenas o condutor convencional por um condutor especial neste vão. Nesse equacionamento é verificado que muitas vezes a utilização do vão regulador para todos os vão da seção nem sempre representa todos os vão daquela seção, principalmente quando o mesmo é bem diferente do vão regulador.

A técnica utilizada mostra que podem ser empregadas cadeias de semi- ancoragem com elementos verticais (cadeias de isoladores de ancoragem com hastes verticais), nesse caso devido ao cabo condutor especial ser mais leve que o condutor tradicional há uma tendência de diminuição das distâncias cabo-solo nos vão adjacentes a este, pois o vão mais pesado "rouba" cabo do vão mais leve. Portanto deve ser utilizado apenas quando os vão adjacentes possuírem folga nas distâncias cabo-obstáculo. Isto não acontece se as cadeias do vão com cabo especial forem compostas apenas por falsa ancoragem.

É importante a afirmação através de demonstração matemática que vão menores tendem a variar bem mais sua tração e flecha do que vão maiores em função da temperatura (SILVA et al., 2013).

A implantação de mais de um tipo de cabo na mesma seção (tramo) é desenvolvida através de equações não lineares e implementadas através de método iterativo. Este equacionamento foi validado no programa MATLAB®, onde foi desenvolvida a metodologia proposta pelo autor.

Apesar de ser uma prática do sistema, a utilização de estruturas de suspensão transformadas em estruturas de falsa-ancoragem (troca da cadeia de suspensão por cadeias de ancoragem) sem elemento vertical pode ultrapassar os limites de carregamento das estruturas.

A utilização do elemento vertical é importante para que as estruturas não ultrapassem estes limites de carregamento quando da utilização da falsa amarração sem verificação dos diferenciais de tração. O uso do elemento vertical pode ser previsto em vão nivelados e desiguais, e que deve ser analisado o benefício do uso dos condutores especiais apenas nos vão necessários e que seja feita a verificação nos vão adjacentes aos mesmos tanto das distâncias cabo-obstáculo, quanto do ponto de vista estrutural.

O desenvolvimento da metodologia para cálculo de flechas e trações em tramos mistos se mostra validado e bastante eficaz para os casos de recapacitação de LT's. A metodologia proposta foi validada em campo, na LT 69 kV Rio Largo / Pilar da empresa CEAL (Eletrobras Distribuição Alagoas) (BEZERRA et al., 2016).

## 2.7 Predição dos dados de LT's

A predição de dados utiliza os valores existentes dos dados meteorológicos de implantação da LT e da sua corrente e simula através da equação do equilíbrio térmico de forma determinística qual a temperatura do cabo condutor. Este método determinístico foi por muito tempo a única maneira de cálculo da previsão da ampacidade do cabo condutor, pois antes se utilizavam ábacos (SILVA, 2009).

Com a implantação de estações meteorológicas mais sofisticadas e em maior número, atualmente é possível utilizar muitos dos dados que alimentam a equação do equilíbrio térmico com dados estatísticos, massa de dados coletadas em regiões próximas ao traçado da LT de interesse.

Os novos métodos de predição trabalham com estimativas que visam calcular através de séries históricas de dados a temperatura do cabo condutor e demais variáveis necessárias ao cálculo da ampacidade da LT através de modelos probabilísticos. Estas metodologias vêm avançando e trazendo mais precisão do que a clássica equação de equilíbrio térmico, pois através de modelos estatísticos é possível prever o risco térmico de exceder a temperatura calculada do condutor, como por exemplo utilizando a curva log-normal para verificação do mesmo. Já no modelo determinístico isto não é possível (JR et al., 1991).

### 2.7.1 Método de Predição de Dados Meteorológicos via Série de Fourier

Este método possui um banco de dados contendo uma coleta meteorológica histórica e outra contendo uma previsão climática. Há um tratamento via série de Fourier destes dados coletados de forma que, após a aplicação do sistema de redes neurais encontra-se um padrão de dados que deve ser tratado por ajustes. Estes ajustes fazem uma previsão de temperaturas ambientes e também da velocidade de vento da região estudada (SILVA, 2009).

### 2.7.2 Método de Predição via *Downscaling*

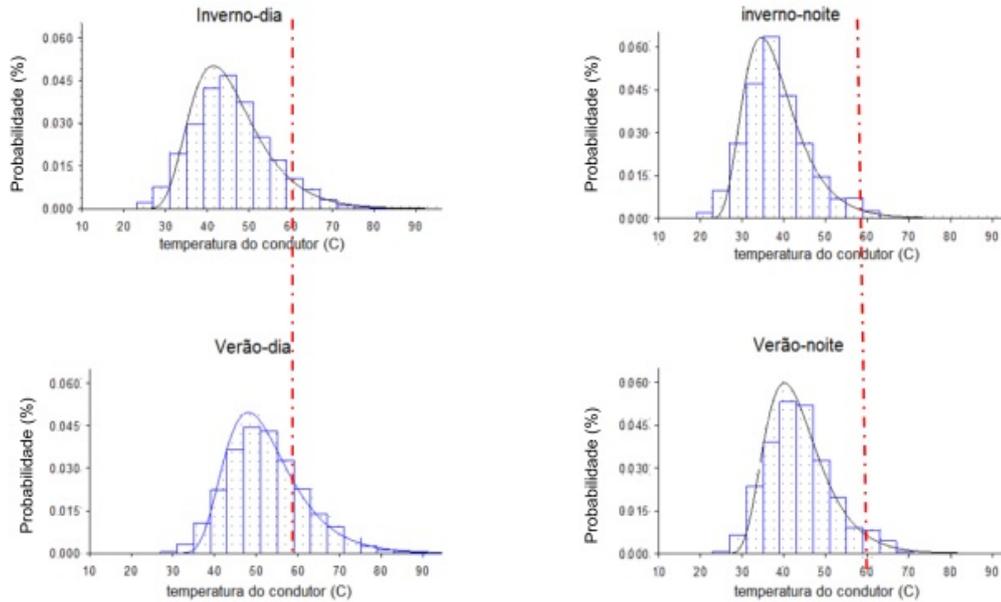
A obtenção dos conjuntos de dados ambientais é feita através do uso de uma técnica denominada *Downscaling*, que é uma técnica de interpolação física dos campos de temperatura, radiação e vento, entre outros, a partir das chamadas re-análises do NCEP (*National Environmental Prediction Center*) dos Estados Unidos de modo a se obter dados com alta resolução e grande frequência temporal. As re-análises do NCEP coleta um conjunto de dados

mais precisos e incluem basicamente todos os dados existentes, desde valores de superfície até os de satélite. O *Downscaling* é processado através de um software chamado ARPS (*Advanced Regional Prediction System*) o qual está sendo elaborado pela Universidade de Oklahoma desde 1993. Na atualidade este é um dos mais modernos modelos existentes no mundo e seus resultados são adequados aos objetivos de uma recapacitação. O programa ARPS efetua simulações numéricas sobre a superfície terrestre a partir da malha de dados disponibilizada pelo NCEP. Para o caso brasileiro, esta malha tem dimensões de 10 x 10 km e cada um dos nós desta malha é representado por um conjunto de dados entre coletados entre os anos de 1998 a 2007, com valores de temperatura ambiente, velocidade e direção do vento e radiação solar coletados de hora-em-hora (COSENTINO, 2011) (MACHADO, 2013) (SILVA, 2009).

O ONS divulgou em agosto de 2016 um programa para cálculo das correntes dos cabos condutores nas condições de sazonalidades de inverno-dia, inverno-noite, verão-dia e verão-noite utilizando esta técnica de *Downscaling* (ONS, 2016). Na Figura 29 é possível verificar as representações estatísticas da temperatura do condutor, através da representação da curva normal. Na Figura 30 é ilustrada uma simulação encontrada para uma estação local realizada pela UFSC. O pós-processamento do *Downscaling* é corrigido por estações locais, conforme esquema apresentado na Figura 31.

Figura 29 – Curvas normais representando a coleta de dados das temperaturas em quatro condições meteorológicas diferentes: verão com e sem radiação solar e inverno com e sem radiação solar

## temperatura do condutor - $I_{\text{constante}}$ diferenciação por sazonalidade



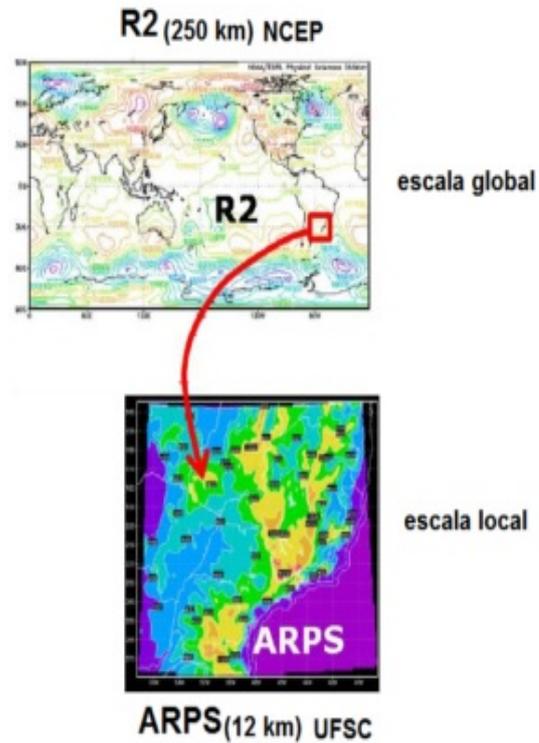
Temperatura do condutor horária – 10 anos

Fonte: (ONS, 2016)

Figura 30 – Representação de quadrante escolhido em escala global e trazido para tratamento em escala local

## DOWNSCALING DINÂMICO

estudo da UFSC para ONS



R2 dados reanálise II *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP)

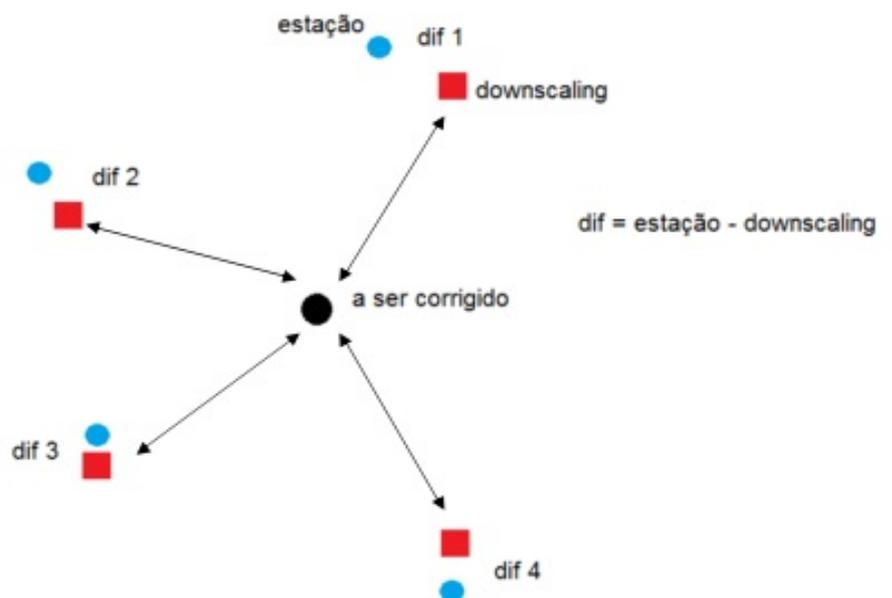
Fonte: (ONS, 2016)

Figura 31 – Tratamento de dados meteorológicos via técnica de *Downscaling*

## mapas com os dados do *downscaling* pós-processados

### Procedimento

- correção ponderada com a distância a pontos do *downscaling* corrigidos com medições em estações meteorológicas



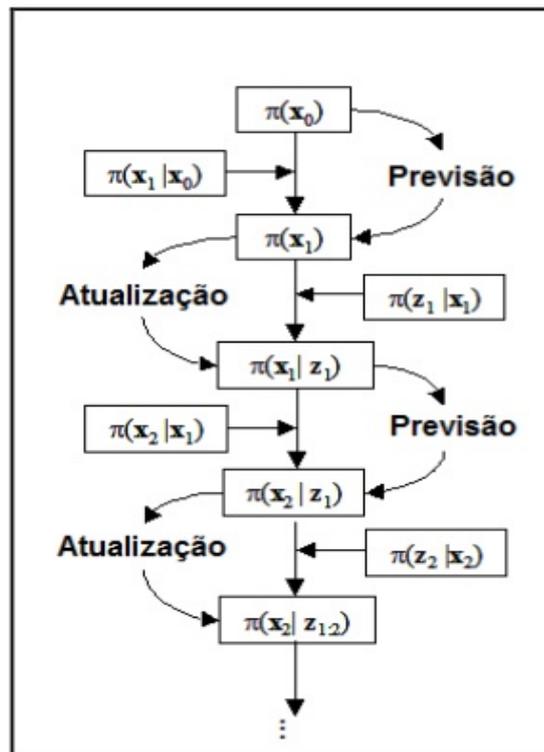
Fonte: (ONS, 2016)

### 2.7.3 Método de Predição via Estatística Bayesiana

A inferência Bayesiana tem sido utilizada para predição da ampacidade dos cabos condutores. É uma maneira de sempre realimentar os dados de entrada para obtenção de melhores ajustes na corrente calculada. Os dados de entrada podem ser coletados pelo sistema de monitoramento preferencial da concessionária. Dados tais como velocidade de vento, temperaturas ambiente e radiação solar são dados de entrada para a função de predição da temperatura do condutor. A inferência Bayesiana utiliza os dados dos últimos 6 dias (144 h) para gerar um modelo meteorológico e utiliza os dados da hora atual para prever a temperatura do condutor e o risco de sobrecarga térmica através de simulações de Monte Carlo (ZHANG et al., 2002).

Este método também tem sido utilizado com filtros de partículas Bayesianas que aferem a temperatura externa do cabo condutor (com termopares ou termovisores) e processam uma função de distribuição de probabilidade conhecida, aplicando a predição através dos dados conhecidos do cabo condutor (SALAS et al., 2015). O processo lógico de predição de dados via lógica Bayseana é ilustrado na Figura 32.

Figura 32 – Fluxograma de procedimento utilizado para predição via lógica Bayseana



Fonte: (SALAS et al., 2015)

## 2.8 Relocação de Estruturas Metálicas com Alteamento das Mesmas

Em uma Linha de Transmissão extremamente importante no sistema ITC (*International Transmission Company*) no estado de Michigan localizado na região norte-nordeste dos Estados Unidos, uma LT de circuito duplo, metálica, na tensão de 345 kV, era preciso elevar sua capacidade operativa, com pouco tempo para desligamentos durante a execução do empreendimento.

Para definição da solução de relocação de estruturas metálicas com alteamento das mesmas, houve previamente um estudo de viabilidade técnico-econômica para as três possíveis alternativas:

1. substituição de 25 torres treliçadas de aço existentes com novas torres treliçadas de aço;
2. substituição das torres treliçadas existentes por novas torres tubulares de aço;
3. aumentar das torres treliçadas de aço existentes com novas extensões da torre.

A opção 3 foi avaliada como tendo o menor impacto negativo do ponto de vista de confiabilidade. As opções 1 e 2 requeriam muitas interrupções da linha para ambas, tanto a inserção de novas estruturas quanto para a remoção das estruturas existentes. A opção 3 necessita de apenas uma interrupção para soltar os cabos e por nas bandolas e deslocar as estruturas existentes, que era bem menos tempo do que o necessário para as opções 1 ou 2. Opção 3 também foi avaliada como a mais fácil e rápido de colocar novamente a LT em serviço durante a realização dos serviços, em caso de emergência.

Levando em consideração o projeto de programação dos desligamentos e execução, a opção 3 foi avaliada como a solução que poderia ser implementada mais rapidamente. Porque ela utilizou modelos de estruturas existentes e necessidade de aquisição de um mínimo de materiais. Esta solução diminuiu substancialmente o tempo das fases de confecção e entrega do material e resultou em um cronograma global mais curto. A duração total da realização dos serviços em cada uma das três opções era bem semelhantes.

Analisando os aspectos econômicos a opção 1, a substituição por novas torres treliçadas de aço, foi verificada ser a mais cara com o mais alto custo de construção e o segundo maior custo para a aquisição de estruturas. A opção 2, a substituição com novas estruturas tubulares de aço, se configurou como a segunda mais cara com os custos mais elevados para a aquisição de estruturas. A opção 3, levantando e relocando as torres treliçadas existentes, apresentou-se como a mais barata com o menor custo de suprimento de material, e custo para realização dos serviços aproximadamente igual a opção 2 e fundações com custo igual a opção 1. Por estas questões a opção 3, levantando e relocando as torres treliçadas de aço existentes, foi avaliada como a melhor solução em termos de confiabilidade, programação e economia, portanto, a concessionária ITC decidiu prosseguir com essa opção.

- após a identificação dos cabos baixos através do PLS-CADD® (BUBNIAK et al., 2005) verificou-se onde eram necessárias alterações para retirada dos pontos limitantes que violavam as distâncias de segurança;
- também foram feitos cálculos estruturais para verificação da exequibilidade do remanejamento das estruturas;
- foram realizados ensaios de protótipos para verificação da solução em laboratórios com células de carga.

Nos últimos três anos, com esta solução a equipe de projeto desta empresa completou quatro projetos de repotencialização de 345 kV adicionais utilizando uma torre semelhante (DUPREE et al., 2015).

O içamento da estrutura metálica é feito através de guindastes conforme ilustrações contidas na Figura 33.

Figura 33 – içamento para relocação de estrutura metálica existente com apoio de órtese e guindaste



Fonte: (DUPREE et al., 2015)

Antes da relocação da estrutura, há o preparo das fundações, dos pés e das extensões da estrutura. A relocação da estrutura é feita após a base (fundação e *stubs*) já terem sido concretados, conforme ilustrações contidas na Figura 34.

Figura 34 – Colocação da estrutura relocada em novo posicionamento em novos pés



Fonte: (DUPREE et al., 2015)

Pode-se concluir que:

- o projetista estudou várias maneiras de recapitação através do *software* PLS-CADD®;
- foram realizados estudos detalhados das estruturas treliçadas para verificação da movimentação das estruturas para outros locais, melhorando a cota e acrescentando pés a extensão da torre, aumentando a altura dos condutores onde necessário;
- o teste de protótipo foi essencial para validação da solução;
- a formação de uma equipe de várias áreas de atuação foi necessária para o sucesso do empreendimento.

## 2.9 Método *NIP/TUCK*

O método *NIP / TUCK* consiste de duas maneiras de retirada de cabo nos vãos com violação cabo-obstáculo. Quando um vão está com excesso de flecha simplesmente remove-se um pedaço do cabo daquele vão, esta técnica se chama de (*NIP*). Há, portanto, um aumento de tração mecânica daquele vão diminuindo-se a flecha do mesmo.

No caso de haver vãos adjacentes com folga de distâncias de segurança e o vão consecutivo com cabo baixo, simplesmente desliza-se o grampo do cabo condutor para aumentar a quantidade de cabo no vão que está com folga e diminui-se a quantidade de cabo no vão

problemático. É como remover cabo do vão com cabo baixo e entregá-lo para o vão que tem folga nas distâncias de segurança, este procedimento não corta cabo, apenas há o reposicionamento do grampo de suspensão através do regrampeamento deslocado da cadeia. Esta técnica denomina-se (*TUCK*).

Para execução deste método é necessário verificar se as estruturas existentes suportarão o diferencial de tração imposto pela técnica. O uso do PLS-CADD® pode ser feito para esta avaliação.

Foram realizados dois estudos, em uma LT de 765 kV e de outra LT 345 kV na empresa Norte Americana NERC (*North American Electric Reliability Corporation*). No primeiro caso o proprietário da LT solicitou que as cadeias continuassem verticalizadas, portanto foi necessário aplicar tanto o corte de cabo (*NIP*) como o deslizamento dos grampos dos cabos condutores (*TUCK*), de modo a atender o cliente. Portanto neste caso teve que ser feito por tentativa e erro no PLS-CADD®. Primeiro se retira o pedaço de cabo e depois se verifica a relocação do grampo de suspensão e o diferencial de tração causado nas estruturas. Para facilitar, o projetista deve fazer uma tabela contendo todas as alterações de comprimento contabilizados e um resumo dos serviços a serem executados.

A sofisticação mostra que atualmente os engenheiros têm mais opções disponíveis para resolver questões relacionadas a distâncias verticais cabo-obstáculos. Através do uso de pesquisas avançadas de levantamentos topográficos tridimensionais e o uso da técnica de elementos finitos de sistemas multi-span (PLS-CADD®), os engenheiros agora têm os meios para corrigir problemas usando o Método *NIP / TUCK*. Quer por remoção de um pedaço do cabo condutor (*NIP*), deslizando o grampo do cabo condutor (*TUCK*), ou uma combinação de ambos, as distâncias de segurança de vãos individuais podem ser modificadas para proporcionar folgas adicionais. O método *NIP / TUCK* permite ajustes efetivos das trações mecânicas. Este método funciona bem nos casos em que a quantidade de folgas existentes nos vãos adjacentes a serem obtidas é relativamente pequena em comparação com as flechas (BELANGER et al., 2013).

Para aplicação do método *NIP / TUCK* pode-se prever o balanço da cadeia de isoladores dentro de um limite aceitável. Normalmente se executa primeiro o corte (*NIP*), isso faz a cadeia de isoladores balançar entre estes dois vãos (vante e ré da estrutura analisada). Para diminuição do balanço da cadeia pode haver o regrampeamento (*TUCK*) uma única vez, no máximo 0,5m do ponto anteriormente grampeado. Para se determinar com uma certa precisão o quanto é preciso cortar, deve-se utilizar a seguinte equação (LU; PFRIMMER; KIELOCH, 2006):

$$\Delta S = \frac{1.5(H/W)}{L}(\Delta l - \Delta L) \quad (4)$$

Em que:

- $\Delta S$  -> redução de flecha devido o corte do cabo (*NIP*) (m)

- $H$  -> tensão do condutor horizontal média antes e depois do corte ( $N$ )
- $W$  -> peso por unidade de comprimento do condutor ( $N/m$ )
- $L$  -> comprimento do vão ( $m$ )
- $\Delta l$  -> comprimento a ser cortado condutor ( $m$ )
- $\Delta L$  -> valor do balanço dos isoladores dos dois lados como resultado do corte ( $NIP$ ) ( $m$ ).

A redução da flecha é aproximadamente o dobro do comprimento do corte do condutor. Assim, um corte de 0,5 m irá aumentar cerca de 1 m a altura cabo-obstáculo aproximadamente.

A relação custo benefício da utilização desta técnica *NIP / TUCK* é competitivo, porém torna-se caro quando precisa aplica-lo em locais de difícil acesso. Causa aumento nas trações e é necessário a verificação do amortecimento da LT.

Para aplicação do *Nipping* e *Tucking* no PLS-CADD® , pode ser manipulado o comprimento do reestricamento contido na aba "*Wire Lengths and Attachment Stiffness*" (que pode ser acessado clicando no botão "*Edit Lengths/Stiffness*" na janela "*Section Modify*", onde pode ser executado facilmente a tarefa do *nipping and tucking* de maneira numérica.

Retensionamento em uma seção particular de tensão pode ser facilmente modelados em PLS-CADD® verificando primeiro a opção "Clip Insulators" na janela "Section Modify" e, em seguida, digitando o valor de tensão horizontal na condição de carregamento na janela "Section Modify".

A estrutura da suspensão, normalmente, não é projetada para levar uma carga longitudinal elevada, devido à diferença de tração dos dois lados. Deve-se não ultrapassar o valor de 100 kgf para não comprometer a integridade estrutural das torres da LT.

A existência de uma equipe multidisciplinar, entre projetistas mecânicos, civis, elétricos geotécnicos, construtores e mantenedores é essencial para determinação de melhores soluções de recapitação (LU; PFRIMMER; KIELOCH, 2006).

A verificação do diferencial de tração gerado entre estruturas de suspensão no regrampeamento deve ser examinada para assegurar que não haverá violação das cargas mecânicas suportáveis das estruturas. Outro ponto que tem que ser considerado é o redimensionamento do sistema de amortecimento devido a LT trabalhar com novas condições de tracionamento.

## 2.10 Conclusão

A grande preocupação com o uso e ocupação do solo, bem como com a compra de novas faixas de terras, devido ao crescimento urbano, melhoria da preservação ambiental, arqueológica

e convívio com o público em geral, faz na atualidade com que a constituição de faixa de passagem no Brasil seja um dos itens mais onerosos e mais trabalhosos na constituição de um empreendimento de uma nova LT. Estes fatores levam cada dia uma maior demanda por parte do poder concedente em viabilizar a autorização de execução de recapacitação de LT's no Brasil e no Mundo.

Um item que é imprescindível na hora de iniciar o processo de recapacitação de uma linha de transmissão é o levantamento topográfico detalhado de onde se encontra a LT. Em todos os empreendimentos citados nesta revisão bibliográfica verificou a importância desta atividade e na sua maioria, teve que ser feita engenharia reversa, isto é, recuperar os dados de projeto "in loco". Como as LT's são antigas, há alterações bastante significativas da faixa onde a LT foi originalmente projetada. A criação de estradas, ruas, condomínios, açudes, linhas de distribuição, subtransmissão etc, leva ao projetista uma grande responsabilidade de reaver toda a área em que a LT está atravessando. O que antes existia como obstáculos para verificação das distâncias de segurança não correspondem mais a realidade atual. Um excelente levantamento topográfico tem que ser novamente realizado com um único intuito: O levantamento topográfico de uma LT é a "coluna vertebral" do projeto da mesma, assegurando também um projeto de recapacitação bem feito. Os objetos atravessados pela LT durante a implantação de um empreendimento deste porte, revelado pelo levantamento topográfico inicial, e com o auxílio da conferência topográfica dos pontos críticos da LT, devem estar no topo da prioridade do projetista. Isso trará uma confiabilidade enorme dos critérios por ele aplicados, bem como a segurança de objetos e pessoas que precisam conviver com esta infra-estrutura.

Os dados meteorológicos são parte inseparáveis do projeto de recapacitação de uma LT. Na atualidade existem inúmeras técnicas de monitoramento destes dados (vento, temperaturas, radiação solar etc), deve-se reaver estes dados, possibilitando um melhor cálculo da corrente da LT.

Esses trabalhos resumidos nesta revisão bibliográfica tratam a ampacidade como a principal alternativa para o aumento da corrente nas LT's, e tem o uso de cabos condutores especiais como preferencial solução. Evoluindo a cada ano, estudando com mais detalhes os efeitos da aplicabilidade destes cabos condutores, tais como:

- aspectos construtivos, melhoramento das ligas de alumínio e do núcleo dos cabos condutores, de modo a ocasionar menores flechas a grandes temperaturas;
- cabos especiais com melhor acessibilidade de manuseio do ponto de vista construtivo e de manutenção;
- minimizar custo, alternando o tipo de cabo, e selecionando os melhores locais para aplicação do mesmo.

São também utilizadas técnicas de minimização global, técnicas multi-critério que utiliza equações lineares e não lineares de modo a realizar através de método iterativo a minimização ou maximização de várias funções que o projetista deve verificar relacionadas com os fenômenos mais importantes que governam o comportamento eletro-mecânico de uma LT.

A inserção de extensões nas estruturas existentes para alteamento das mesmas, remodelagem de estruturas para reisolamento de tensão também foram aplicadas para repotencialização. A relocação de estruturas metálicas com o seu alteamento (mostrada no item 2.9) revela uma excelente maneira de eliminação de violações de distâncias de segurança em uma recapacitação com minimização de uso de materiais.

O *software* atualmente consagrado no Brasil e no mundo para projetar a recapacitação de uma LT é o PLS-CADD®. Pois através de suas ferramentas poderosas este programa automatiza a locação das estruturas, é de fácil manipulação e pode ser integrado a outro programa, o PLS-TOWER® que modela tridimensionalmente todos os esforços mecânicos das torres.

Com o PLS-CADD® é possível projetar o retensionamento dos cabos condutores, reprojeter o grampeamento das cadeias de suspensão dos cabos, retirar pedaços de cabo, fornecendo ao projetista uma gama enorme de alternativas para mesclar várias soluções de engenharia no intuito de minimizar o custo de implantação do empreendimento de recapacitação.

A análise destes trabalhos sintetiza muito o que o projetista de recapacitação de LT's vive no dia a dia. A falta de documentos de projeto, a necessidade de um bom levantamento topográfico e da análise dos dados meteorológicos, cálculos estruturais para verificar a suportabilidade das torres e o custo do investimento de acordo com o incremento de potência que se deseja impor a LT. A investigação minuciosa de vários aspectos do projeto da LT e a viabilidade de execução também são descritos e ponderados na hora de escolher as melhores soluções a serem utilizadas.

### 3 Técnicas de Levantamentos Topográficos

Neste capítulo são analisadas as principais técnicas utilizadas no levantamento topográfico de linhas de transmissão (LT's) aéreas de energia elétrica, suas aplicações e limitações. Atenção especial é dedicada às técnicas de LIDAR (*Light Detection and Ranging*) e LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), capazes de determinar os relevos, vegetações e obstáculos existentes para aprimoramento das soluções das LT's.

O levantamento topográfico como já mencionado é considerado de fundamental importância no projeto de uma LT. Um levantamento topográfico mal elaborado ou com dados pouco realísticos sempre acarreta em excesso de reprojeto durante a construção de uma LT, em erros após a finalização do empreendimento e aditivos contratuais de preço e prazo, seja por conta de novas LT's ou devido a necessidade de recapacitação de LT's. A experiência executiva, e, todas as pesquisas realizadas sobre recapacitação de LT's detectam que é imprescindível levantamento topográfico bem elaborado e também uma posterior conferência destes dados, que deve ser realizada por outra equipe de topografia, com o propósito de minimização de erros.

É normalmente verificado que ao longo da vida útil de uma LT, há uma mudança contínua nos obstáculos pela LT atravessados. O surgimento de rodovias, linhas de distribuição, áreas de preservação permanentes, urbanização etc leva o projetista a se conscientizar do quanto é importante ter o levantamento topográfico atualizado antes de escolher as opções de recapacitação a ser adotada.

Por outro lado, a atividade de levantamento topográfico tem se caracterizado como um caminho crítico para o cumprimento dos cronogramas obtidos junto a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Isto por que, fatores tais como a necessidade de licença prévia formal, adicionado a negação de mais da metade dos proprietários de glebas para obtenção da autorização de abertura de picadas junto aos órgãos ambientais (ARAÚJO, 2003), tanto federal como estadual, tem dificultado o início das atividades de campo, requeridas para a elaboração da plotação e projeto de recapacitação de LT's.

Preocupadas com o atraso da atividade de levantamento topográfico, assim como com as fortes pressões sociais que tem envolvido a construção e recapacitação de LT's, as concessionárias têm buscado alternativas que propiciem a otimização do tempo utilizado na obtenção de informações necessárias para elaboração do projeto de uma linha de transmissão (RAMOS, 2013).

Para a realização das atividades concernentes à obtenção dos dados necessários para elaboração do projeto da LT, com tecnologia tradicional amplamente consolidada, são utilizados o teodolito e as estações totais, associadas aos sistemas de posicionamento por satélite GPS-RTK (*Global Positioning System - Real Time Kinematic*). Essas tecnologias, contudo, apresentam o

inconveniente de requererem a abertura de picada, em áreas de vegetação interceptadas pelo traçado da Linha de Transmissão.

Técnicas e equipamentos para a realização das atividades de levantamentos topográficos que são utilizadas na elaboração de projetos de LT's são apresentadas nas seções a seguir.

### 3.1 Teodolito

O teodolito é um instrumento contendo um jogo de lentes, no qual é possível aferir medidas a longas distâncias e desníveis de terrenos e objetos (DIGGES, 1571). Para LT's, este foi o primeiro instrumento utilizado para mapear o traçado, obstáculos e plantas e perfis dos terrenos atravessados pelas LT's. Como as medidas das LT's não são diretas, as distâncias são calculadas de forma indireta, a partir dos dados coletados, utilizando relações trigonométricas.

O instrumento Teodolito vem sendo utilizado para levantamento topográfico da maioria das LT's do Brasil, e reinou no mundo durante cerca de 450 anos (FONTES, 2005). A sua utilização foi fundamental para o projeto do Sistema de Transmissão Nacional em operação. Na década de 90, entretanto, com a aquisição das estações totais, as concessionárias começaram a abandonar este instrumento para os propósitos aqui registrados. A Figura 35 expõem a evolução deste aparelho desde o século XIX até os dias atuais.

Figura 35 – Evolução do teodolito



À esquerda, um modelo de teodolito do século XIX (Acervo MAST) e à direita, um teodolito eletrônico (da marca ZEISS).

Fonte: (GRANATO; VASCONCELLOS; ALVES, 2010)

### 3.2 Estação Total

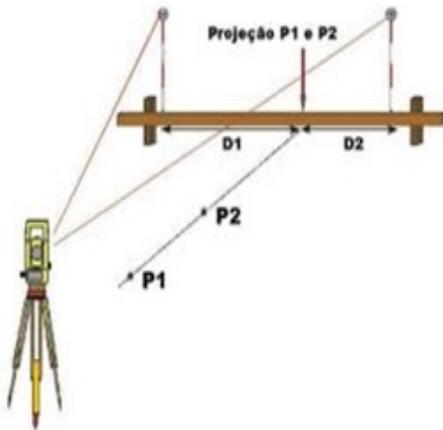
A Estação Total é uma junção do teodolito com o distanciômetro (medidor de distâncias). A maior praticidade deste equipamento está associada a levantamentos planialtimétricos em menores prazos, quando comparados aos levantamentos feitos com teodolitos. Este equipamento surgiu logo depois do advento do primeiro medidor eletrônico de distância (MED) (FONTES,

2005). A rapidez deste sistema é obtida através da possibilidade de armazenamento interno dos dados e o processamento de cálculos preliminares, ainda no campo.

A Estação Total aliada ao GPS (*Global Positioning System*) de Navegação e ao GPS geodésico ainda é largamente utilizada para desvios de novas LT's, determinação das alturas dos obstáculos aéreos, aliada ao RTK (*Real Time Kinematic*). Esta tecnologia também é aplicada à identificação da tração existente nos cabos condutores, grandeza fundamental ao projeto de recapacitação de LT's (GRANDO; LAND; RHODEN, 2015).

Na Figura 36 são ilustrados os pontos de visada da Estação Total e a Figura 37 mostra o detalhe do prisma que reflete o raio oriundo da Estação. A trigonometria é aplicada aos ângulos e distâncias levantados, permitindo o cálculo das coordenadas (x,y,z) dos pontos examinados. Na Figura 38 é mostrado um exemplo deste tipo de equipamento. Na Figura 39 é verificada a rotina de utilização deste método por uma equipe de topografia.

Figura 36 – Princípio de funcionamento da estação total



Fonte: (MUNDOGEO, 2001)

Figura 37 – Prisma para detecção das medidas topográficas



Fonte: (SUL, 2011)

Figura 38 – Estação total



Fonte: (SUL, 2011)

Figura 39 – Estação total com prisma



Fonte: (ABOUTUGANDA.COM, 2016)

### 3.3 GPS-RTK

Levantamentos topográficos realizados pelo GPS-RTK (*Global Positioning System - Real Time Kinematic*), vem ganhando espaço dentre as técnicas de georreferenciamento mais atuais. Para o levantamento topográfico de LT's não é diferente. Desde o fim da segunda guerra mundial o geoposicionamento tem sido empregado em escala comercial (FONTES, 2005).

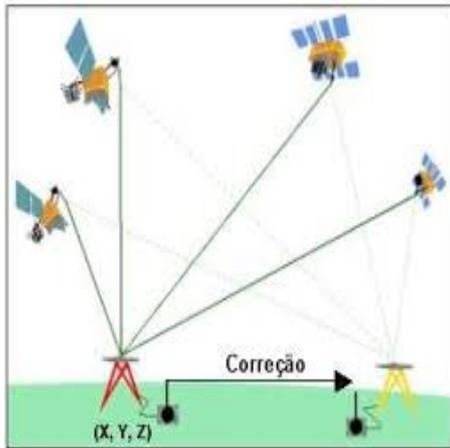
No sistema RTK, além do rastreamento de sinal pela base fixa e pela base móvel, os receptores permitem uma comunicação via rádio entre si, o que possibilita que o receptor da base móvel tenha condições de fornecer uma correção em tempo real em relação a base fixa. Nesse sistema é possível definir o erro padrão aceitável de trabalho a ser realizado, bem como realizar processamento de áreas, distâncias, entre outras informações, ainda no campo. No levantamento geodésico, não há a necessidade de visualização entre os pontos levantados, apenas é necessário que haja abertura dos obstáculos para recepção do sinal dos satélites e o sinal de rádio da base. O fácil manuseio dos equipamentos simplifica o trabalho dos topógrafos, agiliza o levantamento dos dados dos terrenos e incorpora uma grande precisão dos dados coletados (FREIBERGER et al., 2003) (GRANDO; LAND; RHODEN, 2015).

Os maiores problemas enfrentados com levantamentos com RTK, portanto, estão relacionados a qualidade de sinal de GPS, o que é prejudicado por vegetações, construções, acidentes geográficos e por sombras do sinal de rádio. Para LT's o levantamento dos obstáculos aéreos (redes de telecomunicações, redes de distribuição etc) pode ser feito via estação total. Esta técnica está sendo utilizada pelas concessionárias desde os anos 2000 com grande eficácia, promovendo o georreferenciamento dos traçados das estruturas das LT's.

O erro encontrado neste tipo de levantamento topográfico se encontra na faixa de 0,5 cm a 2 cm na horizontal, e de 1 a 3 cm na vertical (AEROLEVANTAMENTOS, 2007). A Figura

40 apresenta o esquema de correção realizado pelo dispositivo RTK com o apoio de satélites. A Figura 41 verifica-se a rotina deste tipo de levantamento realizado em campo.

Figura 40 – Processo de correção dos dados topográficos



Fonte: (IBGE, 2006)

Figura 41 – Fotografia da rotina de trabalho com o dispositivo RTK



Fonte: (OHIO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2017)

### 3.4 Aerofotogrametria e Ortofotocarta

Na definição da tecnologia que propicie um ganho tecnológico, associado a um custo competitivo, as concessionárias optaram por testar a utilização do levantamento fotográfico, por meio de avião. Foram introduzidas as ortofotocartas, que permitem a obtenção das cotas e progressivas necessárias à definição da planta e do perfil.

A fotogrametria é a ciência que permite executar medições exatas com o uso de fotografias métricas. Ela possui várias aplicações na ciência, tais como: topografia, geologia, astronomia, medicina, meteorologia etc. No entanto ela possui a maior aplicação no mapeamento topográfico.

A Aerofotogrametria é a cobertura aerofotográfica realizada com o intuito de mapear. Tem por finalidade determinar a forma, dimensões e posição dos objetos contidos numa fotografia, através de medidas efetuadas sobre a mesma.

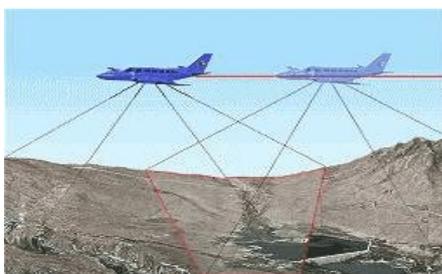
A ortofoto consiste geometricamente em um mapa de traço, onde todos os pontos se apresentam na mesma escala, podendo os elementos nela contidos serem medidos e vetorizados com precisão. É possível medir distâncias, posições, ângulos e áreas, como num mapa qualquer. Esta técnica corrige a foto de todas as deformações presentes na fotografia aérea, advindas da projeção cônica das fotografias que oferece para a foto um aspecto distorcido, como se a imagem tivesse sido arrastada do centro para as bordas da foto, e também devido as variações do relevo, que decorre, portanto em alteração na escala dos objetos fotografados.

É necessário que as imagens sejam digitalizadas e que existam pontos de controle para que um modelo digital do terreno seja orientado.

Desta forma, é obtida com precisão as fotos da região atravessada pela linha de transmissão, sem nenhuma distorção relacionada ao ambiente, sem contato com o solo nem com a população, caso exista (IACOVINO et al., 2010).

A desvantagem deste método de levantamento topográfico consiste em ser uma técnica cara para aquisição de dados para levantamento topográfico de uma Linha de Transmissão comparado com as técnicas anteriores. Também é necessário verificar a época do ano que se deseja fazer o levantamento aerofotogramétrico, pois o mesmo não pode ser realizado quando há muitas nuvens na região a ser sobrevoada (IBGE, 2011). A Figura 42 apresenta um trabalho realizado no sobrevoo para execução do levantamento topográfico através de aerofotogrametria com ortofotocarta.

Figura 42 – Sobrevoos para levantamento dos dados aerofotogramétricos



Fonte: (CARTOGRAFIA, 2016)

### 3.4.1 Aplicações no Setor Elétrico

A fotogrametria surgiu em 1851 com o uso do fototeodolito terrestre, evoluindo até 1940 com o aparecimento de câmeras mais modernas e aerofotos devido a segunda grande guerra mundial. Teve seu início empregado com eficácia no Brasil no início dos anos 2000 para Linhas de Transmissão com a evolução do sistema fotogramétrico digital (SILVA, 2015). O levantamento aerofotogramétrico foi fundamental para execução do Projeto Executivo dessas linhas, pois devido a existência de regiões bastante povoadas e a necessidade eminente de suprimento de energia na região, o trabalho de levantamento topográfico pôde ser realizado com rapidez.

Desde então, a utilização da Ortofotocarta tem sido direcionada para identificação das Glebas (áreas constituídas para a faixa de passagem da LT), plantas e perfis de LT's que possuam dificuldade de acesso devido aos fatores mencionados (cronogramas arrojados, negação de abertura de picadas pelos proprietários das futuras faixas de passagens etc). A utilização desta técnica tem ganhado força com o passar dos anos em projetos de recapitação de LT's.

Nas Figuras 43, 44 e 45 são apresentados exemplos de aplicação da Ortogotocarta.

Figura 43 – Ortofotocarta LT 230 kV Mos-soró / Açu – C2



Fonte: (CHESF, 2011)

Figura 44 – Ortofotocarta LT 230 kV Paraíso / Açu – C3



Fonte: (CHESF, 2011)

Figura 45 – Ortofotocarta LT 230 kV Bom Jesus da Lapa / Igaporã – C1



Fonte: (CHESF, 2011)

### 3.5 LIDAR

O LIDAR *Light Detection and Ranging* significa detecção de luz a distância. Em registros históricos se observa que o primeiro Laser Ótico foi desenvolvido em 1960 pela Hughes Aircraft, INC. Mas o primeiro vôo para perfilhamento de uma LT datou de 1993 sob a responsabilidade de um grupo de pesquisa alemão (BUBNIAK et al., 2005) (BRANDALIZE, ). Sua primeira aplicação foi para levantamento da topografia de terrenos (GOMES, 2011). Seu princípio de aplicação consiste em um sistema de controle, um transmissor e receptor. Estes pulsos são

lançados pelo transmissor em direção ao local desejado e o receptor captura seu retorno. Ele calcula o tempo de retorno através da equação (GOMES, 2011):

$$t = \frac{R}{C} \quad (1)$$

Em que:

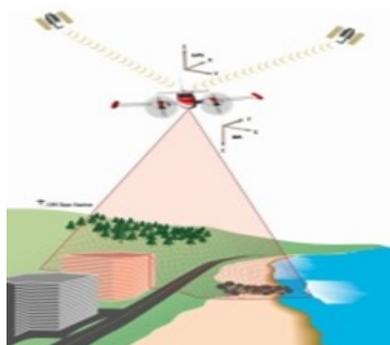
- $t$  -> tempo em que o raio Laser atinge o objeto visado e retorna para o detector  $s$
- $R$  -> distância percorrida  $m$
- $C$  -> velocidade da luz  $m/s$

Este equipamento utiliza mecanismos de controle de forma que possa girar 360 graus. Devido a existência de alguns obstáculos bastante sólidos que impedem a penetração do laser, faz-se necessário o posicionamento do equipamento em mais de um local para obtenção de todos os pontos.

Após o escaneamento, é gerado uma quantidade significativa de pontos, chamada de nuvem de pontos (KERSTING; MÜLLER; HOFFMANN, 2005). As informações são registradas em coordenadas (X,Y,Z), intensidade do sinal e, se necessário, as cores R, G e B, pós processamento. Com estes dados, que podem ter extensão PTX, LAS ou TXT, são geradas as imagens dos terrenos e das instalações (LT's que serão recapitadas) (GOMES, 2011).

Este equipamento pode ser terrestre ou aéreo. O sistema aéreo é um sistema que adquire dados digitais de elevação do terreno com precisão equivalente ao GPS, mas de forma muito mais eficaz, pois o sensor principal do sistema está localizado em uma aeronave cujo deslocamento, sobre uma área de interesse, é extremamente rápido quando comparado com os levantamentos convencionais (BRANDALIZE, 1999). Nas Figuras 46 e 47 são ilustrados equipamentos para de aplicação desta técnica.

Figura 46 – Processo de geoposicionamento da aeronave



Fonte: (BASTOS; FILHO, 2006)

Figura 47 – Distâncias medidas para captura dos dados coletados

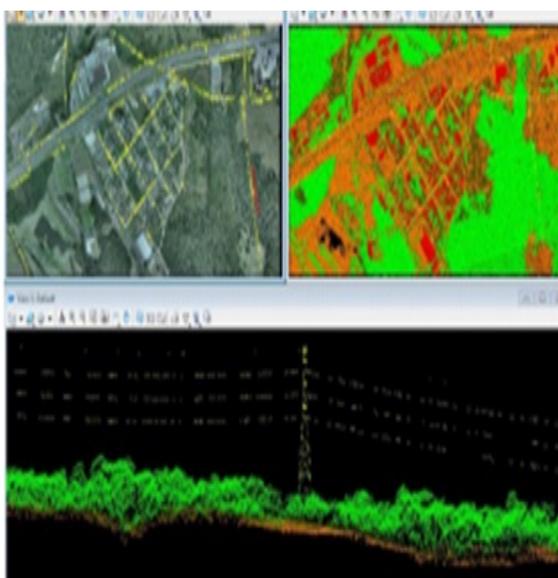


Fonte: (BRANDALIZE, 1999)

Na Figura 48 é mostrado o resultado de imagens do levantamento topográfico, em planta e em perfil de uma LT, após o processamento das imagens originais.

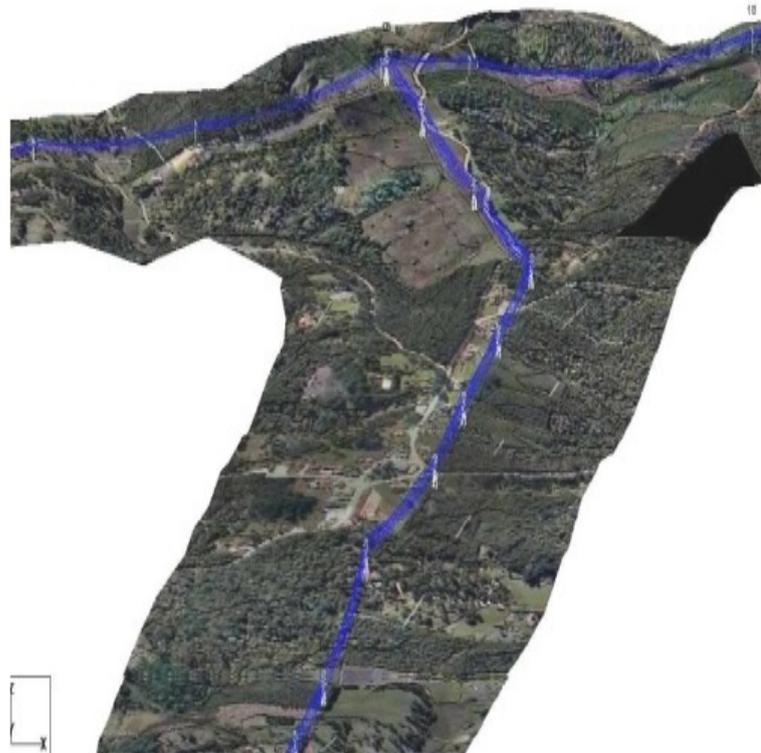
Na Figura 49 a imagem é gerada a partir do levantamento topográfico em 3D em uma LT com o LIDAR e processamento no Software PLS-CADD (BUBNIAK et al., 2005).

Figura 48 – Imagens processadas com exemplos de resultados das imagens



Fonte: (BASTOS; FILHO, 2006)

Figura 49 – Planta e perfil tridimensional em formato PLS-CADD



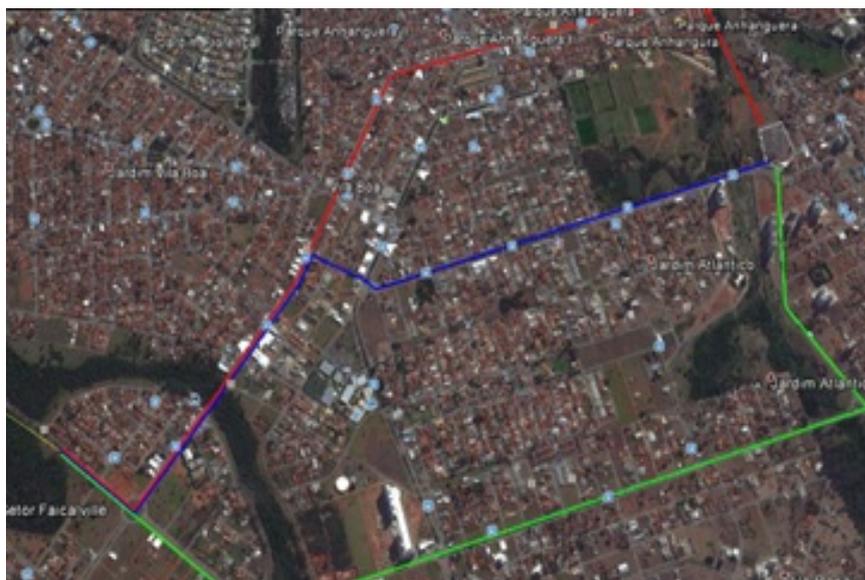
Fonte: (BUBNIAK et al., 2005)

### 3.6 Imagens de Satélites

Os levantamentos topográficos processados através de imagens de satélites ainda não possuem a acurácia necessária para levantamentos topográficos de LT's pois a precisão na altimetria tem erros superiores aos aceitáveis para projetos desta natureza (BORGES et al., 2007). A precisão cartográfica é obtida através da ortocorreção e/ou retificação das imagens. Esta técnica pode ser utilizada para estudos preliminares de traçado, identificação de vegetações, áreas urbanas, Áreas de Preservação Permanente (APP's) etc, verificações básicas para definição das técnicas de levantamento topográficos que serão utilizadas.

A Figura 50 é um exemplo de imagem de satélite no estado de Goiás.

Figura 50 – Foto de satélite para mapeamento do traçado preliminar de LT urbana



Fonte: (GOIÁS, 2014)

## 4 Aplicações de Recapacitações

Neste capítulo são observadas as principais soluções para recapacitação de LT's aplicadas nos últimos anos. Atualmente já tendo passado a fase de necessidade de expansão de feixes de subcondutores de linhas antigas, são abordadas soluções autorizadas pela ANEEL apenas para a necessidade de aumento de corrente. Isso é válido, pois todas as novas LT's em 500 kV já estão sendo concebidas com o padrão de feixe expandido (FEX).

Após a entrada em vigor da resolução normativa nº 191, de 12 de dezembro de 2005 (ANEEL, 2005), foram introduzidos os conceitos de capacidade operativa de longa duração da linha de transmissão, capacidade operativa de curta duração de LT's e capacidade operativa sazonal de LT's.

A descrição destes conceitos estão postos na resolução nº 191 de 2005 ANEEL da seguinte forma (ANEEL, 2005):

Art. 2º Para os fins e efeitos desta Resolução ficam estabelecidos os seguintes termos e respectivas definições:

I - Capacidade Operativa de Longa Duração de LT: valor especificado em projeto, para a corrente de uma linha de transmissão (LT) em condições normais de operação, em conformidade com a Norma Técnica ABNT NBR-5422, de fevereiro de 1985;

II - Capacidade Operativa de Curta Duração de LT: valor da corrente que uma linha pode transportar em condições de emergência, em conformidade com a Norma Técnica ABNT NBR-5422, de 1985;

III - Capacidade Operativa Sazonal de LT: valor especificado em projeto, para a corrente de uma linha de transmissão nas condições de operação verão-dia, verão-noite, inverno-dia e inverno-noite;

O termo condição normal de operação tornou-se condição operativa de longa duração, e condição de emergência de operação na atualidade condição operativa de curta duração.

Os fatores multiplicativos para obter a corrente da linha na condição de curta duração a partir da temperatura de projeto da LT na condição de longa duração é feito com a utilização da Tabela 1 presente na Resolução ANEEL 191/2005 (ANEEL, 2005):

Exemplificando, se a LT conduz 100 ampères de corrente na condição de longa duração e esta corrente para as condições meteorológicas na qual está inserida ocasiona em uma temperatura de projeto do cabo condutor de 50°C, essa LT terá que conduzir no máximo  $100 \times 1,42 = 142$  ampères na condição de curta duração.

Tabela 1 – Resolução Normativa 191 ANEEL /2005 com fatores multiplicativos das correntes partindo da condição normal para condição de emergência

<b>Fator</b>	<b>Temperatura °C</b>
1,42	50
1,33	55
1,26	60
1,24	64
1,23	65
1,19	70
1,17	75
1,15	80
1,12	90

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2005)

Após a apresentação desta resolução ocorreram diversas críticas de agentes do setor elétrico brasileiro, pois a maioria das Linhas de Transmissão concebidas antes da Norma Técnica ABNT NBR-5422/1985 (ABNT, 1985) não poderiam trabalhar acima de 50°C, pois não tinham distâncias de segurança suficientes para aplicação do fator multiplicativo que surgiu nesta nova resolução ANEEL 191/2005 (ANEEL, 2005).

Várias concessionárias fizeram levantamentos das condições de todas as suas LT's através da metodologia proposta nesta resolução e apresentou a ANEEL/ONS tabelas demonstrando que muitas LT's não poderiam atender esta resolução.

Apenas na CHESF, foram verificadas que das 156 LT's da Rede Básica, cerca de 25% delas não teriam como atender a esta resolução, devido às limitações existentes nas distâncias de segurança anteriormente projetadas (EDUARDO; NOGUEIRA; JR, RÉGIS, 2007).

Desta forma a ANEEL entendeu que algumas LT's de concessionárias brasileiras não poderiam atender a esta resolução e propôs as seguintes Resoluções Autorizativas ANEEL:

- retirada de fatores limitantes das LT's (para que as antigas LT's possam atender a Resolução ANEEL 191/2005)(ANEEL, 2005);
- recapacitação de LT's (aumento real da corrente, já atendendo o Normativo ANEEL 191/2005 (ANEEL, 2005) - condições de longa duração ou curta duração.

As soluções mais comuns utilizadas atualmente pelas concessionárias para recapacitação de LT's, visando o aumento da corrente com a retirada de fatores limitantes estabelecidos na Resolução Normativa 191 de 2005 da ANEEL são descritas nas seções a seguir.

## 4.1 Elevação das Cruzetas (Para Torres de Concreto)

Em muitos casos, os quais foram autorizadas pela ANEEL, a retirada de fatores limitantes ou até o aumento real das capacidades de corrente de LT's, esta solução tem uma excelente aplicabilidade.

Na existência de estruturas de concreto a solução de elevação de cruzeta se torna viável, podendo elevar as alturas cabo-solo até dois metros.

Após a elevação das cruzetas são inseridos anéis bipartidos, de forma a fixá-la em uma altura mais elevada do que a anteriormente projetada.

Na Tabela 2, pode-se verificar a diferença de flechas para o cabo CAA 636 MCM Grosbeak com o aumento das temperaturas de projeto. De acordo com esta tabela, é possível verificar que o ganho de flecha é proporcional ao aumento da temperatura e inversamente proporcional ao tamanho do vão para cabos CAA. As LT's antigas possuem geralmente o cabo CAA 636 MCM Grosbeak como cabo condutor e possuem vãos médios em torno de 250 m. Esta tabela apresenta valores de flechas para vãos nivelados.

Tabela 2 – Comprimento de flechas do cabo condutor CAA 636 MCM Grosbeak para vãos nivelados

<b>Temperatura °C</b>	<b>200m</b>	<b>300m</b>	<b>400m</b>	<b>500m</b>	<b>600m</b>
15	256	605	1103	1748	2539
20	270	624	1124	1770	2562
26	287	646	1150	1797	2590
35	313	680	1187	1837	2631
50	357	734	1248	1902	2698
60	385	769	1287	1944	2743
70	413	804	1326	1986	2786
80	440	837	1364	2027	2829
90	467	870	1401	2067	2872

Fonte: Próprio Autor

É imprescindível que na fase de projeto seja feita a verificação estrutural para que as torres possam adotar esta solução, pois com a elevação da cruzeta, automaticamente os pontos de aplicação dos esforços provocados pelos cabos condutores ficarão em uma cota mais alta, provocando maiores momentos fletores na estrutura. Na Figura 51 é ilustrada a elevação da cruzeta com um guindaste.

Esta solução também está limitada a verificação dos estudos de coordenação de isolamento. Isto porque, devido a elevação da cruzeta, há um aumento do ângulo de blindagem das LT's. Na Figura 52 é apresentado o alteamento desta cruzeta. É preciso estudar o nível cerâmico da região e realizar os estudos de blindagem atmosférica. Este aumento do ângulo de blindagem não poderá violar os critérios mínimos de um desligamento/100 km/ano exigido no

procedimento de rede do ONS (ONS, 2005).

Figura 51 – Elevação da cruzeta de concreto



Fonte: Adaptado de (CHESF, 2015)

Figura 52 – Setas vermelhas indicando a inserção de anéis bipartidos



Fonte: Adaptado de (CHESF, 2015)

## 4.2 Diminuição das Ferragens das Cadeias de Suspensão

Em LT's antigas com estruturas de concreto, as cadeias de suspensão para cabos condutores possuem um formato padronizado. Esta padronização possui grandes facilidades para a equipe de manutenção.

Esta uniformidade faz com que estas LT's contenham normalmente os seguintes componentes da Figura 53:

- chapa de fixação da cadeia a estrutura (1);
- manilha de engate a chapa (2);
- elo-bola com suporte para proteção da cadeia de isoladores (3);
- raquetes de proteção para arco de potência (4);

- 14 a 16 isoladores de disco V-8, com 146 mm de passo (5);
- concha-olhal (6);
- grampo de suspensão tri-articulado (7).

A partir da configuração de cadeia, verifica-se que a quantidade de ferragens podem ser diminuídas, sem comprometimento das distâncias entre partes metálicas, distâncias de isolamento e carga mecânica de ruptura já projetadas para as cadeias de isoladores usuais.

Deste modo, foi proposta pela equipe de projetos de linhas da CHESF a diminuição das ferragens da Figura 53, aderindo a utilização dos seguintes componentes que podem ser verificados na Figura 54:

- cavalote reduzido (1);
- isolador polimérico engate tipo elo-bola, com passo equivalente ao tamanho da cadeia de isoladores de vidro (2);
- concha-olhal reduzida (3);
- grampo AGS (*Armor Suspension Clamp*) (4).

Assim, houve a redução de mais de 50 cm no comprimento das cadeias em estruturas de concreto e metálicas.

Conforme as variações de flechas mostradas na Tabela 1, esta é uma boa solução para retirada de fatores limitantes, onde em muitos casos, pode aproveitar tal solução para correção das violações cabo-solo que pudessem ocorrer quando da utilização do fator multiplicativo da Resolução 191/ANEEL (ANEEL, 2005).

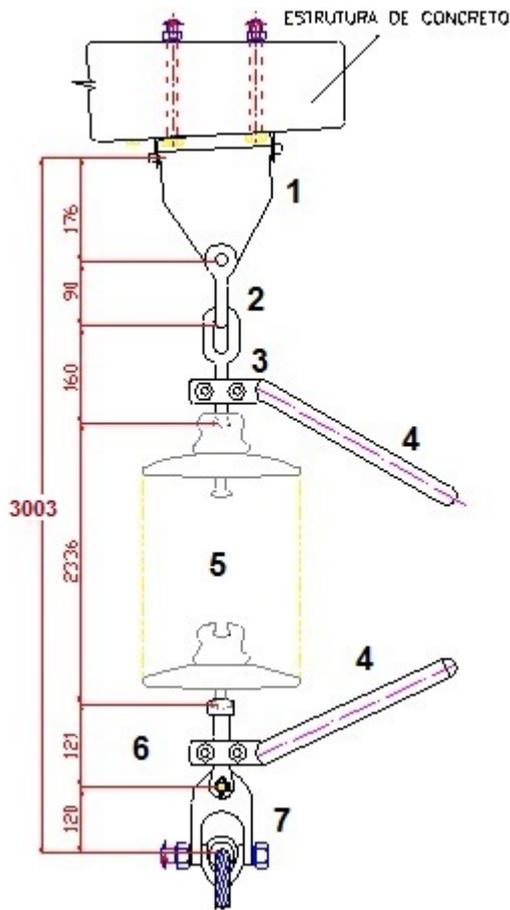
Na Figura 53 há a representação da cadeia padrão com 16 isoladores para estruturas de concreto.

Conforme verificado na Figura 54 há troca das ferragens e isoladores da cadeia, diminuindo suas conexões.

Esta técnica tem sido utilizada para elevação do cabo condutor em vãos curtos até 300 m quando há o acréscimo de até 16°C (mudança da temperatura de projeto de longa duração para a temperatura de curta duração).

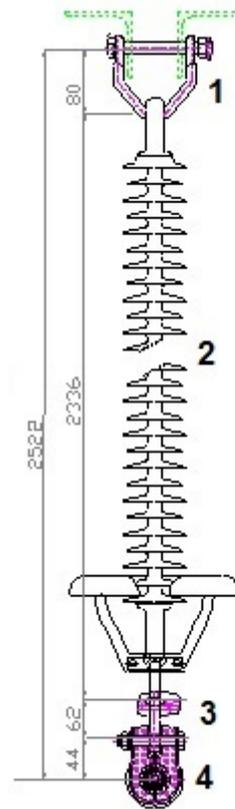
Na recapacitação da LT 230 kV Mossoró/Açu - C1 de 235 MVA para 300 MVA, LT com 71 km de extensão, circuito simples, com estruturas metálicas e de concreto apenas elevando as cruzetas de duas estruturas de concreto, todos os outros cabos baixos para esta nova condição foram retirados com a substituição da cadeia convencional (Figura 53) pela cadeia encurtada (Figura 54).

Figura 53 – Cadeia de suspensão para condutores padronizada



Fonte: Próprio Autor

Figura 54 – Cadeia de suspensão para condutores com ferragens reduzidas - ferragens SADEL e isolador Eletrovidro

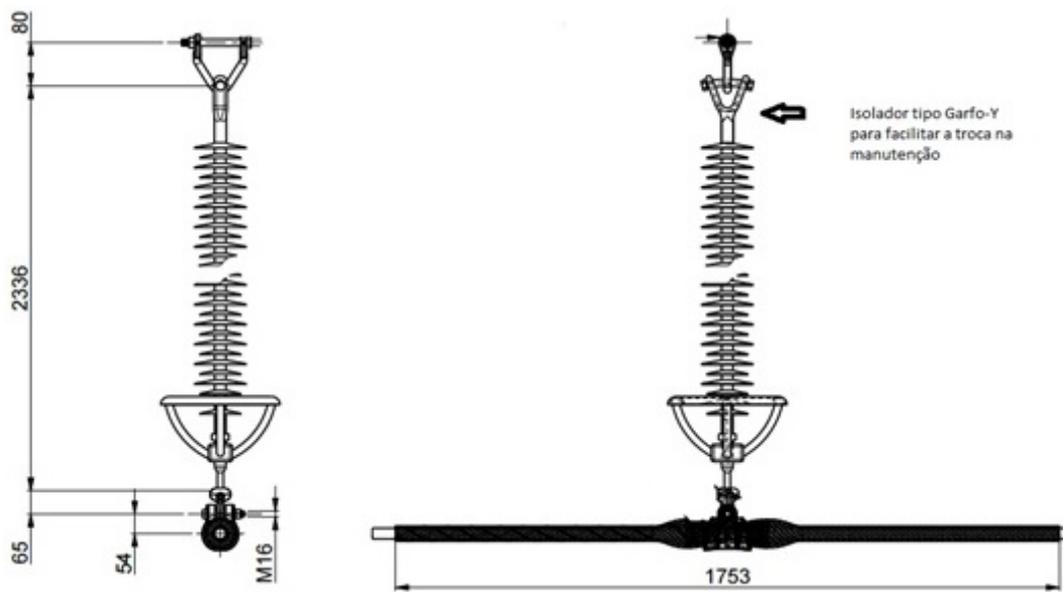


Fonte: Adaptado de (CHESF, 2006)

Salienta-se que a cadeia substituída não teve redução de nenhum dos requisitos elétricos e mecânicos exigidos nas normas nacionais e internacionais vigentes. Houve a homologação desta nova cadeia através de testes de tipo tais como: teste de arco de potência, tensões disruptivas e suportáveis, TRI (tensão de rádio interferência) e corona.

Esta solução tem sido utilizada em muitos casos, evoluindo também para o uso de isoladores poliméricos com engate do tipo garfo y-bola, para o qual facilita a condição de manutenção (troca do isolador), que pode ser observada na Figura 55 em duas vistas.

Figura 55 – Cadeia de suspensão para cabos condutores com isolador de engate garfo y-bola, ferragens PLP e isolador BALESTRO



Fonte: Adaptado de (CHESF, 2013)

Na Figura 56 mostra o momento de troca da cadeia de isoladores convencional pela cadeia reduzida.

Figura 56 – Serviço de substituição de cadeias convencionais por cadeias reduzidas



Fonte: Adaptado de (CHESF, 2013)

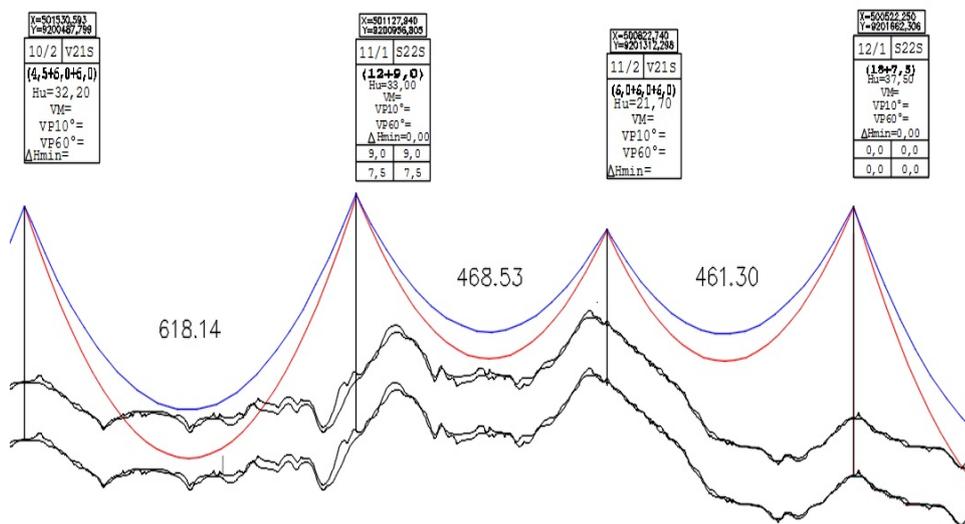
### 4.3 Recondutoramento (troca do cabo condutor convencional CAA por cabo mais leve, tipo CAL)

A troca do cabo condutor CAA pelo cabo CAL entre tramos é uma forma economicamente viável dependendo do tipo de recapacitação.

De acordo com a similaridade em resistência mecânica e elétrica, o cabo CAL pode chegar a ser 30% mais leve do que o cabo condutor CAA convencional. Esta característica faz com que as flechas nos vãos utilizando este condutor CAL seja mais de 10% inferior ao cabo CAA para grandes vãos. O cabo também possui mais resistência à corrosão devido à ausência da alma de aço. O custo do mesmo nos últimos 15 anos têm sido competitivo em relação ao cabo CAA equivalente, tornando o seu uso cada vez mais frequente em empreendimentos de recapacitações e na escolha mais econômica na concepção de novas LT's (JUNIOR et al., 2005). Esta solução tem sido utilizada em várias concessionárias com sucesso (WIEDMER, 2005), (HOFFMANN; LIMA, 2003).

Na Figura 57 é ilustrada uma aplicação de vãos do cabo existente CAA em cor vermelho e CAL com as mesmas condições de tracionamento em cor azul 20% do EDS *everyday stress*) e à temperatura de 75°C. O EDS é definido como a tração mecânica que os cabos de uma LT está submetida durante a maior parte da sua vida útil.

Figura 57 – Vãos em cor vermelha CAA, na cor azul CAL



Fonte: Próprio Autor

É necessário verificar se a troca do cabo condutor convencionalmente utilizado do tipo CAA (cabo de alumínio liga 1350 com alma de aço) pelo cabo CAL (cabo de alumínio liga 6201) é economicamente viável.

A Figura 58 mostra o lançamento de um cabo CAL utilizando o cabo convencional CAA antigo como cabo piloto ou cabo guia.

Figura 58 – Recondutoramento



Fonte: (SERVICE, 2017)

As premissas básicas para o recondutoramento são sempre manter as partes que possam ser induzidas (cabos, ferragens, estruturas) aterradas antes e durante o recondutoramento, evitando choque via indução (WHITE; BEAULIEU; ALBERTSON, 2003).

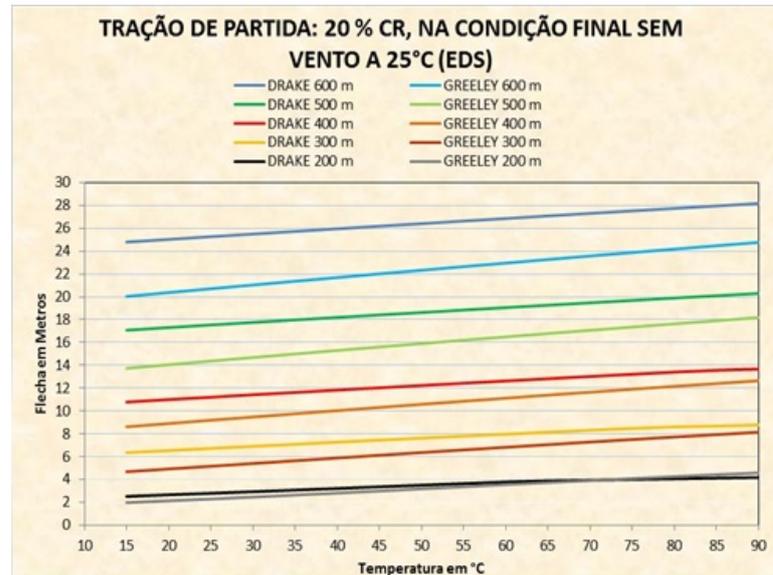
#### 4.4 Observações Sobre o Comportamento do Cabo Condutor CAL em Recapacitações

Dependendo dos vãos da LT e as novas temperaturas de recapacitação não haverá grandes ganhos de altura cabo - obstáculo, pois com o aumento da temperatura e a diminuição dos vãos estas flechas vão se aproximando e podem se igualar ou até se inverter (a flecha do cabo condutor CAL pode ficar maior do que a do cabo condutor CAA).

Em altas temperaturas as flechas do cabo CAL começam a se aproximar das flechas do cabo CAA, podendo se igualar ou ficar maior do que a flecha do cabo CAA. Em altas temperaturas o cabo CAA, que contém alma de aço, faz com que apenas a alma de aço trabalhe mecanicamente, ficando a coroa de alumínio 1350 apenas conduzindo corrente. Como a alma de aço possui um coeficiente de dilatação térmica baixo, sua elasticidade varia pouco com o aumento da temperatura. Já o cabo CAL, que é todo de alumínio liga 6201, continua alongando linearmente com o aumento da temperatura. Este fenômeno é mais fácil de perceber em vãos pequenos e em cabos CAA com maiores percentuais de aço.

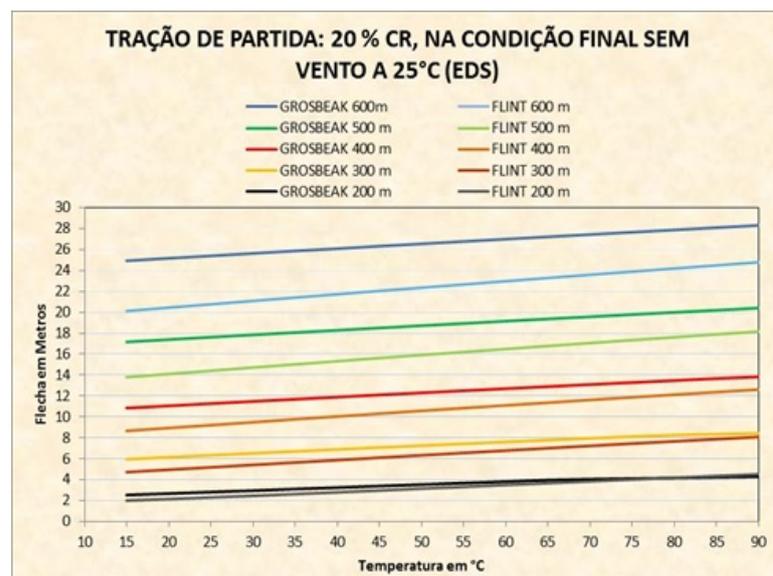
São verificados alguns exemplos comparativos de flechas de cabos condutores CAA e CAL similares em resistência elétrica (ohm/km) e mesma capacidade de condução de corrente, conforme verificadas nas Figuras 59, 60, 61 e 62, estes cabos estão esticados com o mesmo percentual da carga de ruptura (CR).

Figura 59 – Avaliação comparativa dos cabos condutores CAA DRAKE e CAL GREELEY



Fonte: Próprio Autor

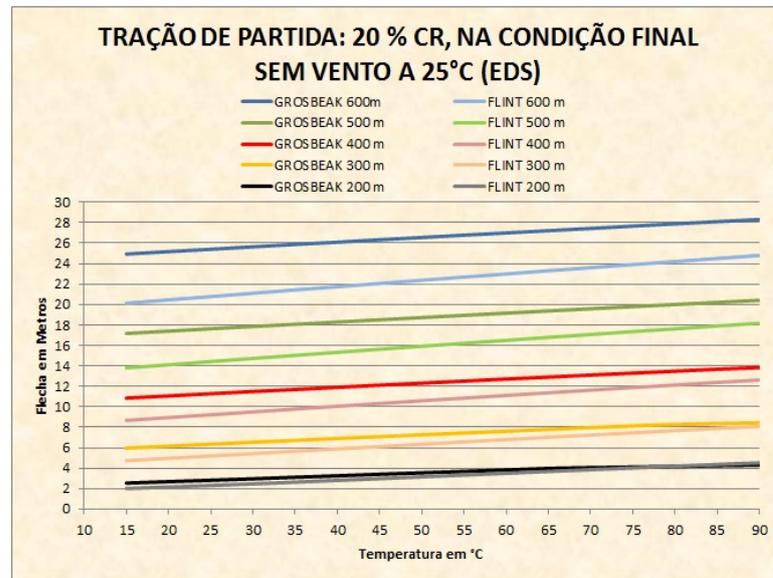
Figura 60 – Avaliação comparativa dos cabos condutores CAA GROSBEAK e CAL FLINT



Fonte: Próprio Autor

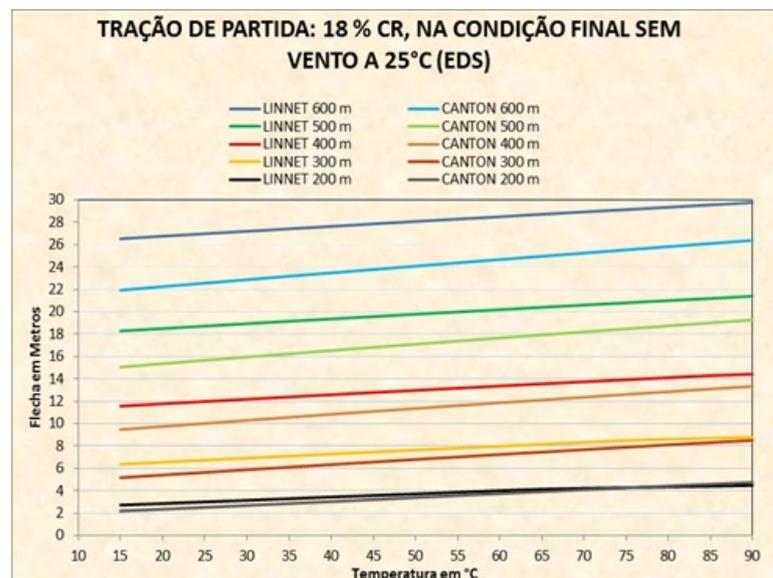
Na Tabela 3 são verificados dados adicionais dos cabos similares, mostradas nas Figuras 59, 60, 61 e 62, que mostram para cabos equivalentes que a área condutiva (bitola em MCM) do

Figura 61 – Avaliação comparativa dos cabos condutores CAA HAWK e CAL DARIEN



Fonte: Próprio Autor

Figura 62 – Avaliação comparativa dos cabos condutores CAA LINNET e CAL CANTON



Fonte: Próprio Autor

cabo CAL é maior, pois a condutividade do alumínio 6201 é menor do que a do alumínio 1350, que fabrica a coroa condutiva do cabo CAA. Porém a densidade do cabo CAL é menor do que a do cabo CAA equivalente. Isto pode ser visto na massa linear (kg/m).

É preciso se ater às condições do projeto de recapitação, isto é: quais são os vãos e as temperaturas de curta duração após a recapitação. Estes variam muito para cada região, para

Tabela 3 – Dados mecânicos adicionais dos cabos analisados

<b>NOME DO CABO</b>	<b>BITOLA (MCM)</b>	<b>DIÂMETRO (mm)</b>	<b>MASSA (kg/m)</b>
CAA DRAKE	795	28,13	1,629
CAL GREELEY	927,2	28,15	1,289
CAA GROSBEAK	636	25,15	1,302
CAL FLINT	741	25,16	1,07
CAA HAWK	477	21,78	0,976
CAL DARIEN	560	21,8	0,778
CAA LINNET	336,4	18,29	0,688
CAL CANTON	394,5	18,3	0,549

Fonte: Próprio Autor

cada nível de tensão e tipos de estruturas de LT's a serem recapitadas.

Pode ser verificado nas Figuras 59, 60, 61 e 62 que em vãos curtos e elevadas temperaturas (acima de 70°C), as flechas igualam ou até se invertem, tornando o cabo CAL não atrativo economicamente para fins de recapitação em vãos curtos.

LT's de 69 kV, 138 kV ou 230 kV em estruturas de concreto, possuem vãos básicos desta ordem de grandeza (250 m). Portanto a troca do cabo CAA pelo cabo CAL deve ser feita com critérios bem definidos de projeto. O cabo condutor é o elemento mais caro em uma recapitação que adota o recondutoramento como solução (ANEEL, 2011). Há uma grande probabilidade da troca do cabo condutor não acrescer o ganho de alturas cabo-obstáculo para essas condições.

Um exemplo seria a troca de um cabo condutor CAA Linnet, que na região nordeste normalmente atinge 220 MVA a uma temperatura de 90°C, para um cabo CAL Canton correspondendo a mesma potência a 90°C, em ambos os casos foram utilizadas as mesmas condições meteorológicas. É possível verificar que com um cabo CAL Canton para um vão de 200 m sua flecha é 4,74 m, enquanto que para o mesmo vão e temperatura o cabo CAA Linnet gera uma flecha de 4,47 m, conforme pode ser visto na Figura 62. Neste caso, há a tendência de aumento de violações na LT, piorando as condições de segurança.

As simulações dos gráficos foram realizadas com o software PLS-CADD® (PLS-CADD, 2017).

## 4.5 Retracionamento dos Cabos Condutores

Uma técnica de recapitação que tem sido incorporada entre as soluções para retirada de cabos baixos nas LT's é o retracionamento dos cabos condutores existentes.

Esta técnica requer uma série de verificações tanto nos cabos condutores e cabos para-raios, como nas estruturas e fundações.

### 4.5.1 Cabo Condutor

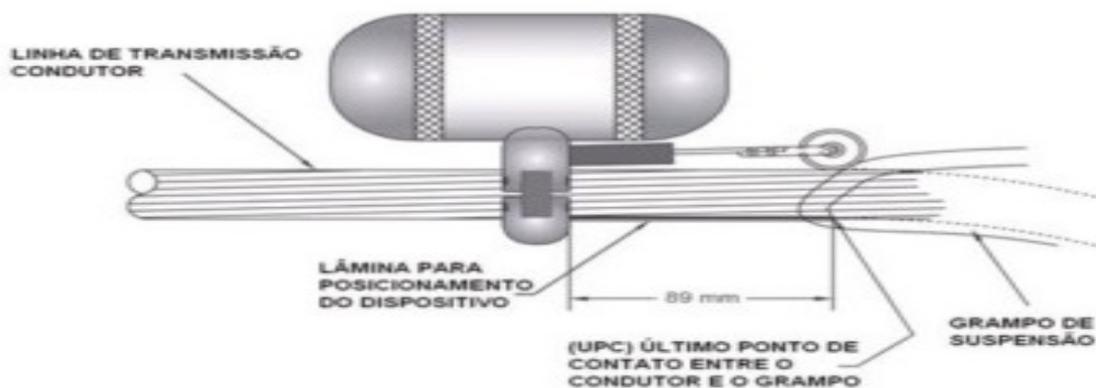
As principais preocupações a serem aferidas no cabo condutor a ser retracionado são relacionadas a seguir.

As trações máximas às quais o cabo condutor será submetido não devem ultrapassar os limites normatizados (cargas de vento máximo e de temperatura mínima).

Estas tensões mecânicas devem ser testadas através de monitoramento com vibrógrafos em campo para verificar as vibrações eólicas, no intuito de reprojeter, se necessário, o sistema de amortecimento dos cabos condutores da LT.

A Figura 63 mostra um esquema de instalação de um vibrógrafo em um cabo condutor para fins de monitoramento das vibrações eólicas em campo.

Figura 63 – Vibrógrafo tipo PAVICA e esquema de instalação



Fonte: Adaptado de (FADEL, 2010)

O CIGRÈ realizou uma força tarefa para revisão do conceito do EDS (tração do dia a dia), esta força tarefa visa orientar as concessionárias a respeitar a relação  $H/w$  (razão entre a tensão horizontal em daN pela massa linear do cabo kg/m), no intuito de evitar fadiga mecânica no cabo condutor, e consequente ruptura precoce dos tentos do mesmo (B2.12, 2004).

Na Figura 64 é ilustrado um cabo condutor com tentos rompidos devido a fadiga mecânica.

Figura 64 – Cabo condutor com tentos partidos



Fonte: (ENGINEERING, 2017)

Para evitar a fadiga precoce do cabo condutor, é necessário que o tracionamento do mesmo não ultrapasse 30% da sua carga de ruptura (FADEL, 2010). Para a força tarefa do CIGRÈ, a relação  $H/w$  (tensão horizontal pela massa linear do cabo), não deve ultrapassar 2500 m para grupos de quatro subcondutores utilizando sistema de amortecimento. Para os demais casos (tipos de cabos e conjunto de subcondutores) há ainda bastante divergência nos estudos realizados (B2.11.04, 2005) (SILVA et al., 2009).

#### 4.5.2 Estruturas

As estruturas existentes nas LT's retracionadas devem ser estudadas detalhadamente, fazendo uma modelagem das mesmas submetidas às novas cargas de projeto para assegurar que esses novos esforços possam ser absorvidos pelas estruturas da LT.

#### 4.5.3 Fundações

A análise realizada nas estruturas subsidiará as novas cargas mecânicas transferidas para as fundações. Estas novas cargas transmitidas às fundações devem ser comparadas com os projetos existentes e aplicado o mesmo raciocínio das estruturas, isto é, caso seus limites de carregamento sejam ultrapassados, devem ser realizados reforços nas fundações existentes, ou em último caso, confecção de novas fundações. A Figura 65 mostra um equipamento auxiliar (apoio de bandolas) para o retracionamento. Na Figura 66 pode ser verificado parte do maquinário necessário para retracionamento do cabo condutor existente.

Figura 65 – Cabo inserido na bandola para retracionamento



Fonte: (PRODUCTS, 2017)

Figura 66 – Retracionamento do cabo condutor existente



Fonte: (CONSTRUCTORS, 2017)

## 4.6 Troca de Estruturas Baixas por Estruturas mais Elevadas e a Importância de Retirada e Inserção de Cabo

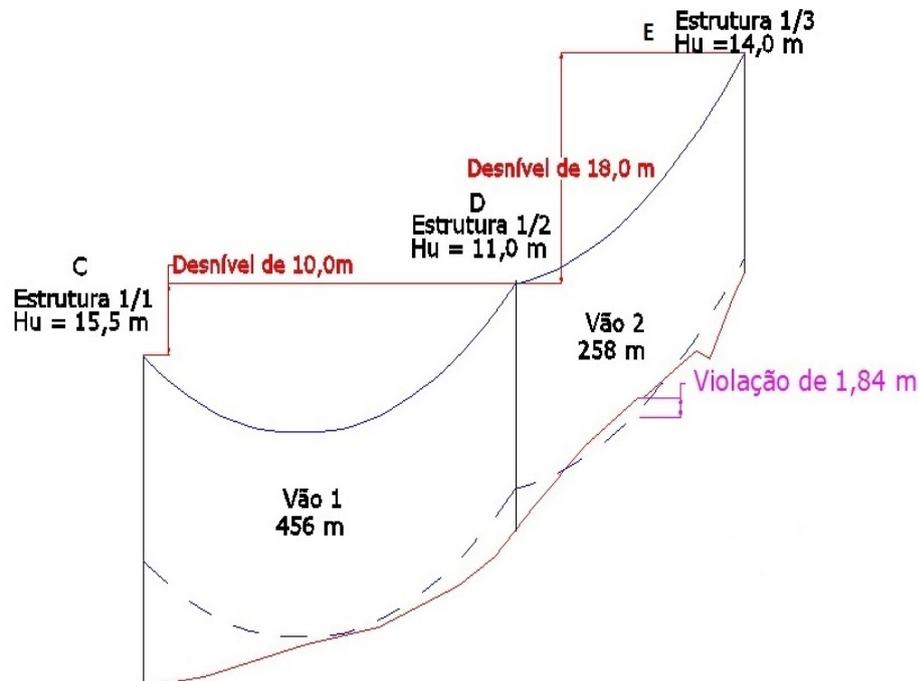
Nas situações onde as soluções anteriores não são suficientes ou não aplicáveis para recapitação ou retirada dos fatores limitantes das LT's é comum a troca de estruturas mais baixas por estruturas mais altas.

Verifica-se nas ilustrações como é realizada a troca de uma estrutura mais baixa por uma estrutura mais alta.

### 4.6.1 Diferença de Comprimento de Cabos

Inicialmente é detectado no projeto a necessidade descrita, através do levantamento topográfico e da identificação dos pontos de violação quando houver o aumento da potência da LT, conforme ilustração contidas na Figura 67.

Figura 67 – Perfil de três estruturas de uma LT com problema de distância cabo - obstáculo após recapacitação

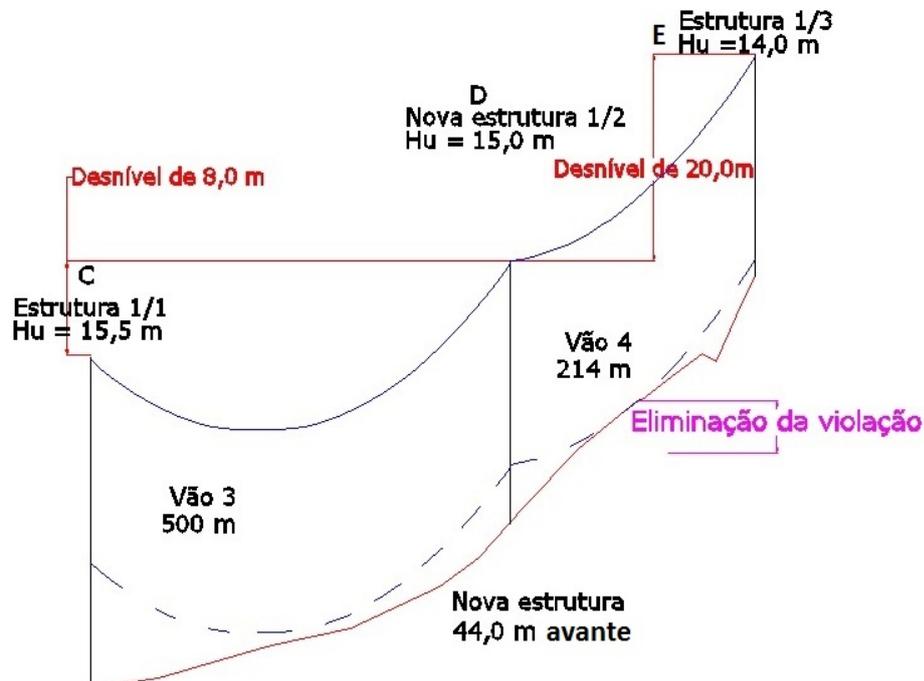


Fonte: Próprio Autor

Após a averiguação da linha de terra (linha tracejada), é constatado que após a recapacitação existe cabo baixo entre as estruturas D e E. Esta violação de distância de segurança chega a 1,84 m conforme visto na Figura 67.

Para solucionar o caso acima é preciso trocar a estrutura D existente por uma estrutura mais alta, verifica-se como ficaria a situação na Figura 68.

Figura 68 – Perfil de três estruturas de uma LT após a troca da estrutura D e consequente retirada do cabo baixo



Fonte: Próprio Autor

É possível perceber que houve a troca da estrutura D (1/2) para uma cota de terreno mais alta e 44,0 m avante da estrutura anteriormente instalada e também um acréscimo na altura útil da nova estrutura D de 4,00 m.

Para que haja equilíbrio da tração existente, de forma a não haver desbalanceamento das cadeias de isoladores, é preciso verificar se a variação do comprimento do cabo existente na nova situação se mantém, ou é necessário acrescentar ou retirar cabo. Pois comprimento do cabo do vão de uma linha de transmissão depende da sua tração horizontal, da massa linear do cabo utilizado, desníveis entre as estruturas e do tamanho do vão.

Utilizando a equação 3.39 do Fuchs (FUCHS, RUBENS DÁRIO, 1982), que trata do comprimento de cabo para vãos desnivelados:

$$L_v = \sqrt{B^2 + A^2 \left(1 + \frac{A^2}{12C_1^2}\right)} \quad (1)$$

Em que:

$L_v$  -> Comprimento total de cabo no vão (m)

$B$  -> Desnível entre estruturas adjacentes (m)

$A$  -> Comprimento do vão (m)

$C_1 = T_0 / m_L$  (razão entre a tração horizontal do vão e a massa linear do cabo condutor).  
Supondo a tração de 2000 kgf e o cabo condutor como o CAA Grosbeak que possui peso linear de 1,302 kgf/m.

Foram inseridos apenas dois termos da equação hiperbólica, simplificando o comprimento do condutor para uma parábola e não para uma catenária. Como a variação de comprimento de vão fica em torno de 0,066% e 0,5% (para vãos entre 350 m e 1000 m), esta simplificação é válida e bastante prática para tais fins (FUCHS, RUBENS DÁRIO, 1982).

Calculando pela equação acima o comprimento total de cabo entre os vãos C-D e D-E:

$$L_{\text{Antes da recapacitação}} = L_1 + L_2$$

$$L_{\text{Antes da recapacitação}} = 457,78 \text{ m} + 258,93 \text{ m} = 716,71 \text{ m de cabo condutor.}$$

Para eliminar a violação existente, utilizando o mesmo raciocínio para encontrar o comprimento total de cabo entre os vãos C-D e D-E, sendo a estrutura D uma nova estrutura construída 44,0 m avante da anterior e com nova altura útil:

$$L_{\text{Depois da recapacitação}} = L_3 + L_4$$

$$L_{\text{Depois da recapacitação}} = 502,27 \text{ m} + 215,11 \text{ m} = 717,38 \text{ m de cabo condutor.}$$

Com este exemplo, verifica-se que:

$$\text{Vão 1} + \text{Vão 2} = \text{Vão 3} + \text{Vão 4.}$$

O que não ocorre com o comprimento de cabos, devido aos novos desníveis e novos vãos:

$$L_1 + L_2 < L_3 + L_4$$

Neste caso:

$$L_{\text{Depois da Recapacitação}} - L_{\text{Antes da Recapacitação}} = 717,38 \text{ m} - 716,71 = 0,67 \text{ m.}$$

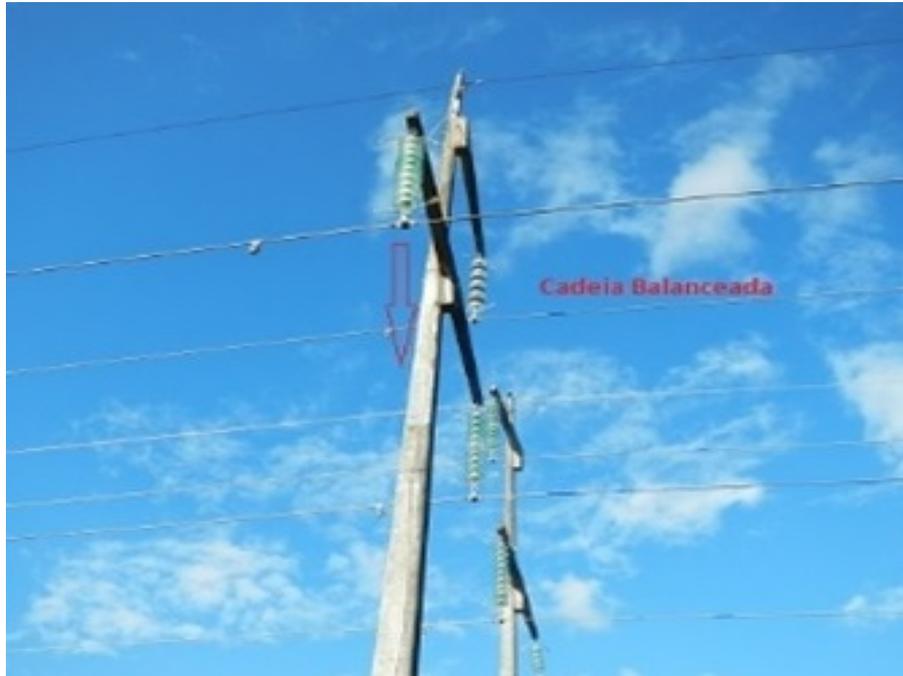
Observa-se no que concerne ao equilíbrio da tração dos vãos adjacentes após a troca da estrutura D é necessária a inserção de 0,67 m de cabo condutor neste trecho.

Portanto após os cálculos poderá ocorrer a necessidade de inserção de cabo (descrita na seção 4.6.2 e necessidade de corte de cabo (descrita na seção 4.6.3).

#### 4.6.2 Necessidade de Inserção de Cabo

A inclusão de cabo muitas vezes é necessária devido ao desbalanceamento das cadeias dos condutores, pois com comprimento de cabo insuficiente dentro do vão ocorrerá o desequilíbrio das cadeias de suspensão, gerando diferenciais de tração entre as estruturas e, dependendo do valor deste diferencial de tração, poderá ocorrer deformação plástica dos pontos de fixação das cadeias nas estruturas, ou até mesmo fissuras permanentes no caso de estruturas de concreto. Na Figura 69 é ilustrada a posição da cadeia com relação a sua verticalidade.

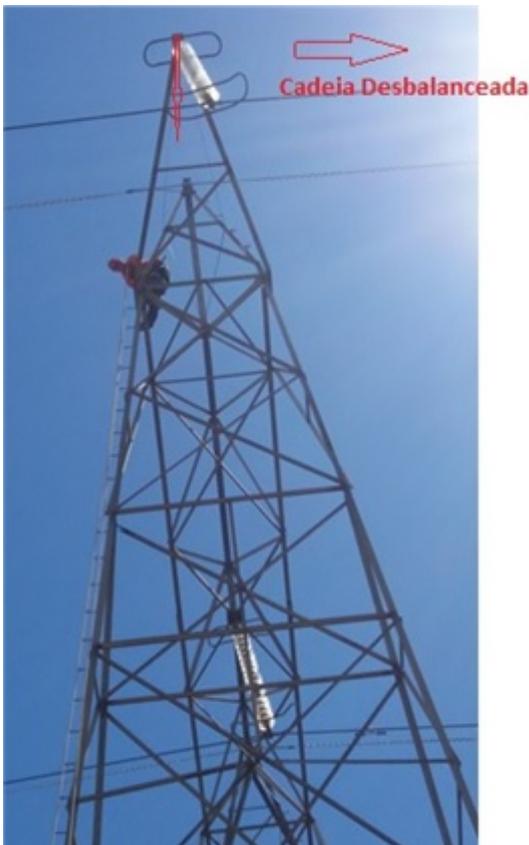
Figura 69 – Cadeia de suspensão na vertical, indicando balanceamento das trações horizontais dos vãos adjacentes a esta estrutura.



Fonte: (CHESF, 2015)

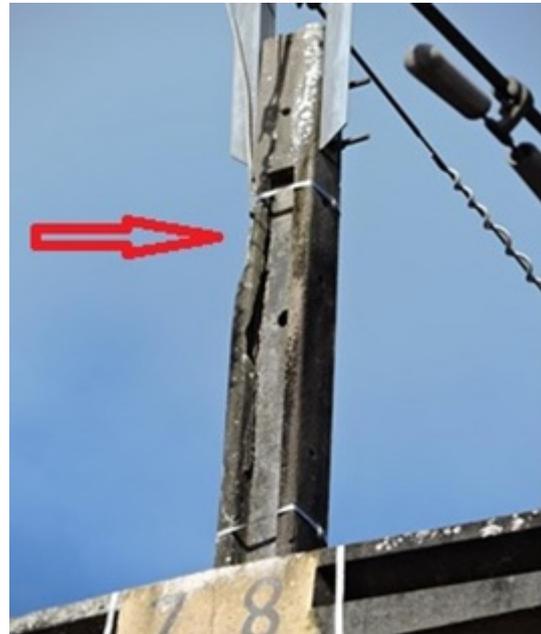
Na Figura 70 é ilustrado o desbalanceamento da cadeia de isoladores de suspensão. Esta condição ocasiona diferenças nas trações horizontais dos vãos adjacentes a estrutura. Na Figura 71 é apresentada rachaduras na cabeça do poste da estrutura, indicando que o esforço solicitante está acima do limite do esforço suportável pela torre.

Figura 70 – Cadeia de suspensão desverticalizada



Fonte: (CHESF, 2013)

Figura 71 – Fissura na cabeça do poste - Esforço causado pelo diferencial de tração superando o esforço máximo suportável pela estrutura

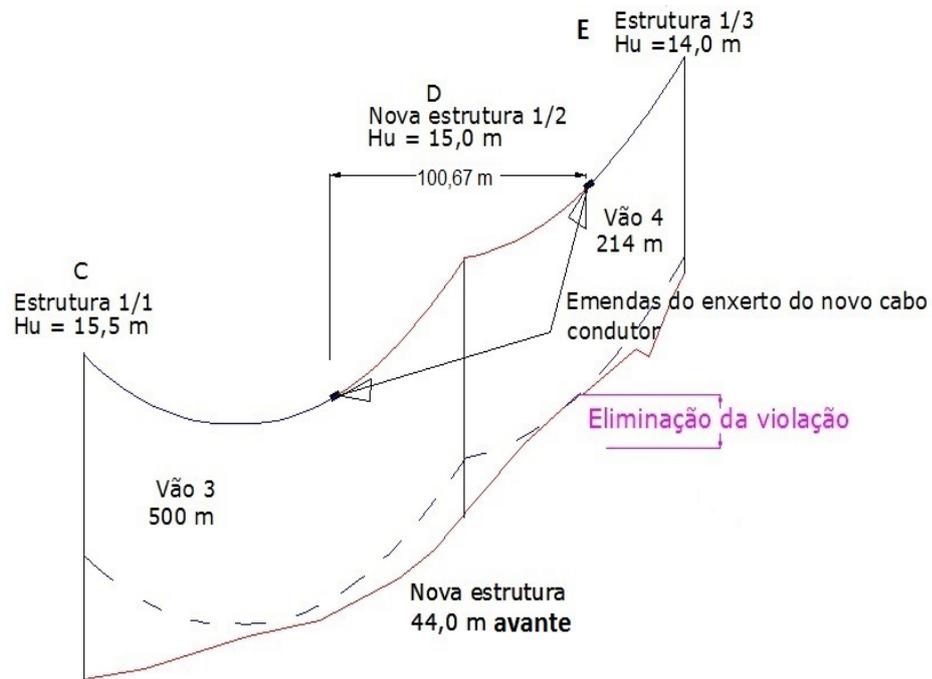


Fonte: (CHESF, 2015)

Quando da necessidade de inserção de cabo, é realizado enxerto de cabo condutor de modo a não haver emendas do cabo condutor ou para-raios a no mínimo 50 metros de distância do ponto de fixação da estrutura mais próxima, evitando assim, excesso de vibração eólica e conseqüente fadiga mecânica precoce dos cabos condutores ou cabos para-raios. Evita-se também emendas em vãos contendo cadeias de ancoragem (amarração) e duas emendas no mesmo vão.

Assim, por exemplo para fazer a inserção de 0,67 m de cabo, retira-se 100 m de cabo existente e insere 100,67 m de cabo pré tensionado (já com o alongamento plástico permanente), centrando a metade para cada lado da nova estrutura D, como ilustrado na Figura 72.

Figura 72 – Perfil de três estruturas de uma LT após a troca da estrutura D e enxerto de cabo condutor



Fonte: Próprio Autor

Assim ocorre o equilíbrio das trações horizontais entre os vãos, sem haver desbalanceamento das cadeias de condutores da LT após a recapacitação. Na Figura 73 pode ser vista a atividade de enxerto de cabo.

Figura 73 – Enxerto de cabo condutor após troca de estrutura



Fonte: (CHESF, 2015)

### 4.6.3 Necessidade de Corte de Cabo

Em outro exemplo de troca de estrutura, ocorre a necessidade de retirada de cabo baixo entre as estruturas G e H como mostrado na Figura 74:

Aplicando a equação (1) do item 4.6.1, e utilizando os mesmos dados da LT descrita no item 4.6.1 ( $T_0 = 2000 \text{ kgf}$  e cabo CAA Grosbeak com  $m_L = 1,302 \text{ kgf/m}$ ):

$$L_{\text{Antes da recapacitação}} = L1 + L2$$

$$L_{\text{Antes da recapacitação}} = 292,59 \text{ m} + 212,86 \text{ m} = 505,45 \text{ m de cabo condutor.}$$

Após a troca da estrutura:

$$L_{\text{Depois da recapacitação}} = L3 + L4$$

$$L_{\text{Depois da recapacitação}} = 315,84 \text{ m} + 188,79 \text{ m} = 504,63 \text{ m de cabo condutor.}$$

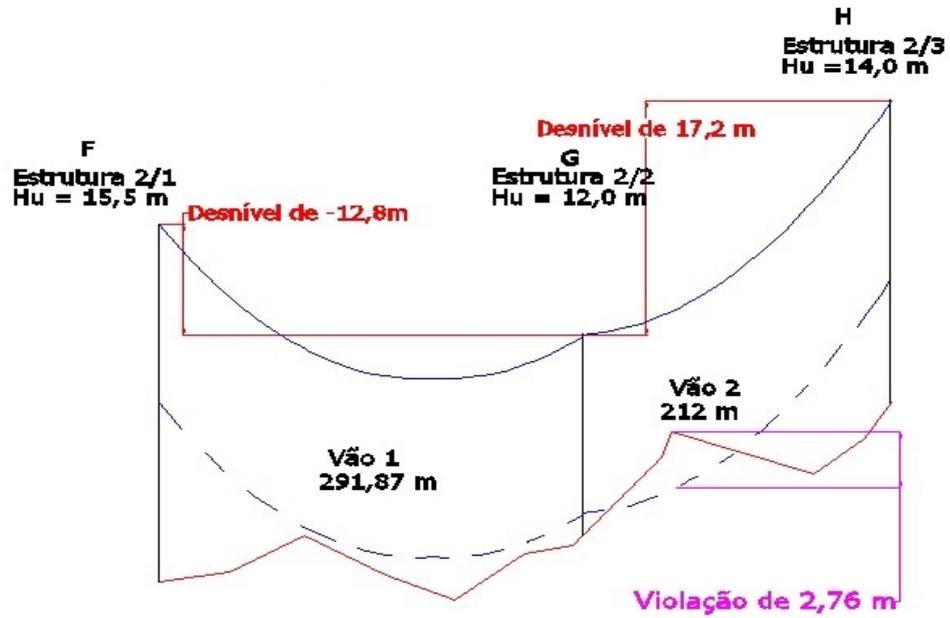
O resultado é:

$$L_{\text{Depois da recapacitação}} - L_{\text{Antes da Recapacitação}} = 504,63 - 505,45 \text{ m} = -0,82 \text{ m.}$$

Portanto, é possível verificar que há a necessidade de retirada de 0,82 m de cabo condutor entre as estruturas F, G e H para que a tração horizontal  $T_0$  seja mantida, conforme Figura 75.

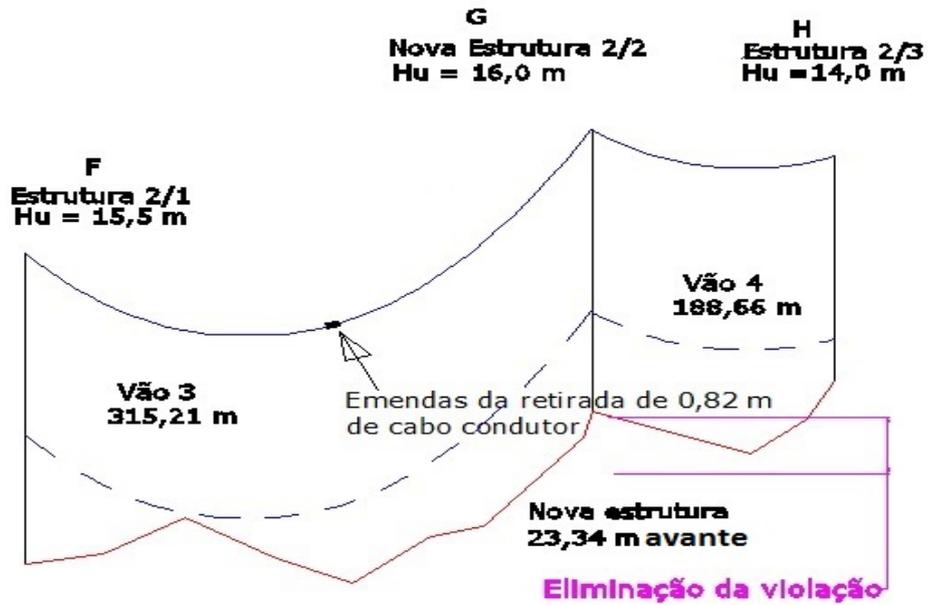
Ressalta-se que a emenda deve sempre ser feita a mais de 50 m do ponto de fixação da cadeia de isoladores mais próxima, de modo a evitar fixações dos cabos muito próximas. A

Figura 74 – Perfil de três estruturas de uma LT com problema de cabo-baixo após recapacitação



Fonte: Próprio Autor

Figura 75 – Perfil de três estruturas de uma LT após a troca da estrutura G e retirada de cabo condutor



Fonte: Próprio Autor

proximidade de emendas do ponto de fixação dos cabos pode causar vibração excessiva dos cabos, e conseqüente diminuição da vida útil do cabo por quebra de tentos.

Na Figura 76 é verificado o momento de transferência dos cabos condutores da estrutura mais baixa para a estrutura mais alta. Na Figura 77 o eletrícista faz os últimos ajustes (preparação para corte do cabo condutor).

O *software* PLS-CADD® (PLS-CADD, 2017) simula o comprimento de cabo nas duas situações (antes e depois da troca da estrutura), de forma a calcular o comprimento do cabo necessário a ser retirado ou inserido nos vãos modificados.

Figura 76 – Troca de estrutura



Fonte: (CHESF, 2013)

Figura 77 – Eletrícista inserindo equipamento para posterior corte do cabo condutor



Fonte: (CHESF, 2013)

## 5 Modelo de Recapacitação Proposto

Neste capítulo está apresentado o desenvolvimento da tecnologia de relocação de estruturas de concreto. Esta técnica de relocação de estruturas de concreto está apresentada neste capítulo em dois estudos de caso. Estes estudos mostram as maneiras mais tradicionais para recapacitação de LT's com estruturas de concreto e faz um comparativo com tabelas de preços, serviços e quantitativos de materiais para construção com esta nova tecnologia proposta para relocação de estruturas de concreto.

Uma menor quantidade de peças é conseguida (normalmente a torre de concreto possui três peças, dois postes e uma cruzeta) e isto facilita a análise do processo e o estudo econômico comparativo com recapacitações convencionais.

### 5.1 Motivação

Através da revisão bibliográfica realizada neste trabalho, foi possível desenvolver estudo de relocação de estruturas de concreto. Pesquisas em artigos e brochuras mostraram a capacidade de relocação de estruturas metálicas treliçadas, com inserção de novas extensões, pés e fundações (DUPREE et al., 2015). Desta maneira foi vislumbrada a solução proposta.

É observado que as estruturas de antigas LT's não foram locadas nos pontos ideais. A existência de levantamentos topográficos precários na época de sua implantação causou pouca eficiência na locação das estruturas. Atualmente é possível realizar levantamentos topográficos que incorporam riqueza de detalhes da faixa de servidão onde atravessam estas antigas LT's e com o apoio da ferramenta computacional PLS-CADD® (PLS-CADD, 2017), que muitos problemas de cabos-baixos podem ser solucionados com a relocação destas torres.

Como a maioria das LT's da concessionária CHESF, que possuem fatores limitantes para incremento de corrente, são LT's antigas, a maioria das estruturas são de concreto (setenta LT's energizadas do início dos anos 60 até o final dos anos 80) (CHESF, 2016).

Na Tabela 4 pode ser verificada a composição do sistema CHESF contendo os tipos de estruturas, extensão das LT's e classe de tensão. Nesta tabela é possível verificar a grande quantidade de estruturas de concreto que existem no sistema CHESF.

A ideia para o caso em questão é deslocar as estruturas originais de concreto com guindastes apropriados instalando-as em um local mais propício (com melhores cotas e com melhores locais de implantação) e construir uma fundação podendo ser aflorada (acima da cota do solo), com altura útil suficiente para realização de uma recapacitação ou retirada dos fatores limitantes de LT's.

Tabela 4 – Banco de dados da CHESF - Atualizado em maio de 2016

Tensão Nominal	Quantidade de LT	Extensão (km)	Concreto	Aço	Estruturas
69	17	311	752	294	1.046
138	8	462,6	1.445	19	1.464
230	201	14.080,80	11.078	17.183	28.261
500	45	5.371,90	1.713	9.815	11.528
<b>TOTAIS</b>	<b>271</b>	<b>20.226,30</b>	<b>14.988</b>	<b>27.311</b>	<b>42.299</b>

Fonte: (CHESF, 2016)

No deslocamento da estrutura apresentada na Figura 78, haverá apenas três peças (dois postes e uma cruzeta), que com medidas de travamento, pode-se tornar a estrutura em um pórtico monolítico, dispensando o cuidado de distribuição da carga de içamento nos nós (cuidado indispensável em estruturas treliçadas) (DUPREE et al., 2015).

O dimensionamento geotécnico da fundação é feito, normalmente, sem considerações específicas, levando em consideração, basicamente, os efeitos de tombamento. Para tanto, lançando mão de teorias como as de Sulzberger (SULZBERGER, 1945), ou Broms (BROMS, 1964). A única diferença para o dimensionamento geotécnico da estrutura original é o aumento do momento solicitante por conta do aumento do afloramento.

## 5.2 Desenvolvimento da Técnica

Nas fundações estruturais são empregadas basicamente dois tipos de soluções descritas nas subseções a seguir.

### 5.2.1 Fundação em Concreto Armado

Esse tipo de fundação é feita necessariamente concretada em duas fases, que por um lado facilita o dimensionamento estrutural, com formulação e teoria conhecidas mas que por outro lado, dificulta a execução, pois haverá necessidade de estaiar os postes para que seja empreendida a segunda fase da concretagem de tal forma a se atingir a resistência característica à compressão desejada.

### 5.2.2 Fundação Composta de Concreto Armado e Areia Adensada

Este tipo de solução já foi utilizado com sucesso. Facilita sua execução, não havendo necessidade de estaiar os postes, pois a segunda fase de concretagem, neste caso, trata-se de areia adensada. Por outro lado se entra em um processo de dimensionamento estrutural "empírico" devido o trecho do afloramento, sem confinamento do solo, que não é levado em consideração nos dimensionamentos estruturais de fundações, mas que se sabe do seu efeito prático no sentido de redução dos esforços.

Na existência das duas soluções de fundação, pode-se concluir que a segunda opção trará vantagem principalmente executiva, mas também financeira, pois haverá substituição de parte do concreto por areia, como também dispensará o uso dos estais, mas haverá indispensável necessidade de realização de ensaios, para validar, sobretudo, o dimensionamento estrutural.

Ainda neste sentido há uma solução intermediária, inclusive normatizada, que é a utilização de "cálice"(ABNT, 2006) que também dispensa a segunda fase da concretagem, porém exige "encaixe" mais justo. O orçamento é realizado nos estudos de caso com o projeto da fundação tipo cálice com preenchimento da forma realizado com areia adensada e selo de concreto por cima para finalização da fundação.

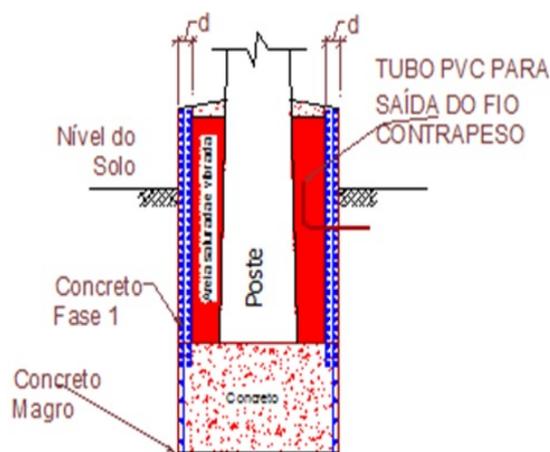
Esta é a solução proposta, porém ensaios de suportabilidade mecânica será essenciais para definir a melhor solução do ponto de vista estrutural das fundações. Na Figura 78 é mostrada a torre típica que será utilizada para relocação nos estudos de caso. Na Figura 79 é apresentado o perfil da fundação proposta com areia adensada, no qual o afloramento acima do solo varia de acordo com a necessidade do projeto.

Figura 78 – Estrutura H - ARB - típica de LT's 230 kV CHESF em concreto



Fonte: (CHESF, 2015)

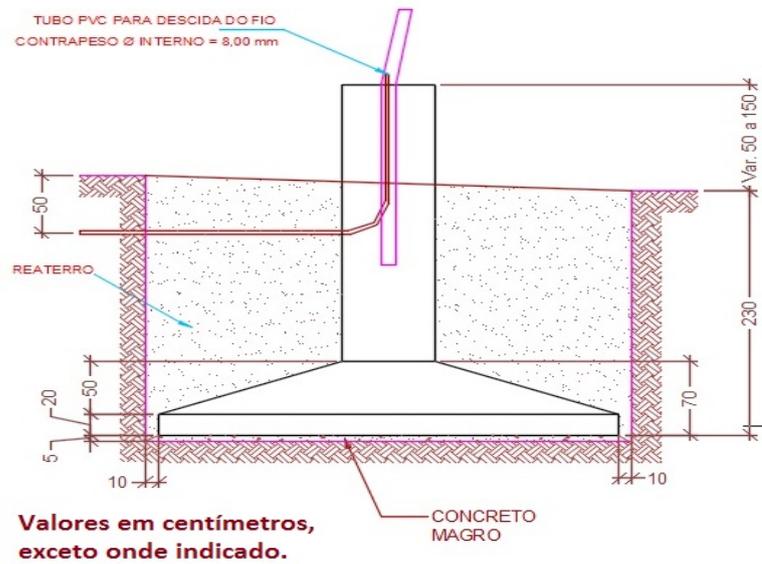
Figura 79 – Fundação cálice padrão



Fonte: (CHESF, 2015)

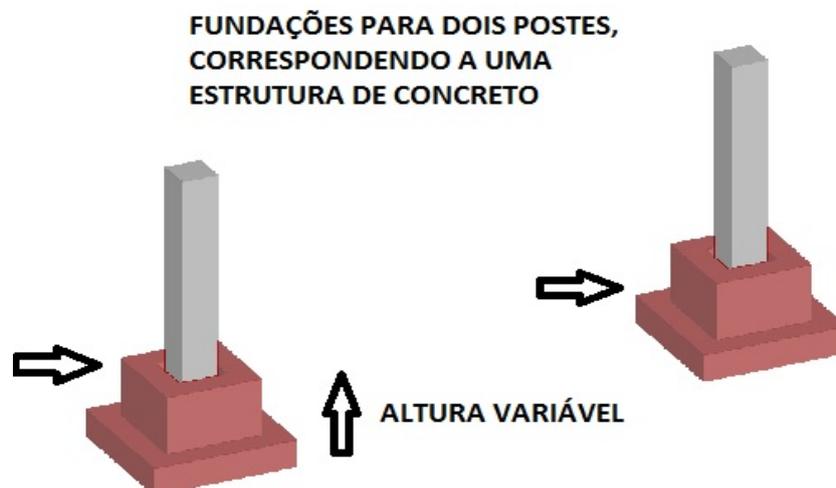
Na Figura 80 é mostrado o perfil típico de uma fundação para estrutura metálica autoportante. Na Figura 81 pode ser vista a fundação em perspectiva dos dois pés da estrutura de concreto após a relocação.

Figura 80 – Fundação convencional para estrutura metálica



Fonte: (CHESF, 2015)

Figura 81 – Fundações tipo cálice



Fonte: (ALTOQI, 2017)

Além do aspecto econômico, a razão principal é não esperar pela cura do concreto (mesmo com acelerador de pega), após o posicionamento do poste na nova fundação.

A fundação tipo cálice possui cerca de 30% menos aço do que a fundação tradicional.

Também há diminuição de duas fundações por estrutura relocada, devido à estrutura de concreto possuir duas fundações e a estrutura metálica autoportante possuir 4 fundações.

### 5.2.3 Premissas e Cuidados Essenciais

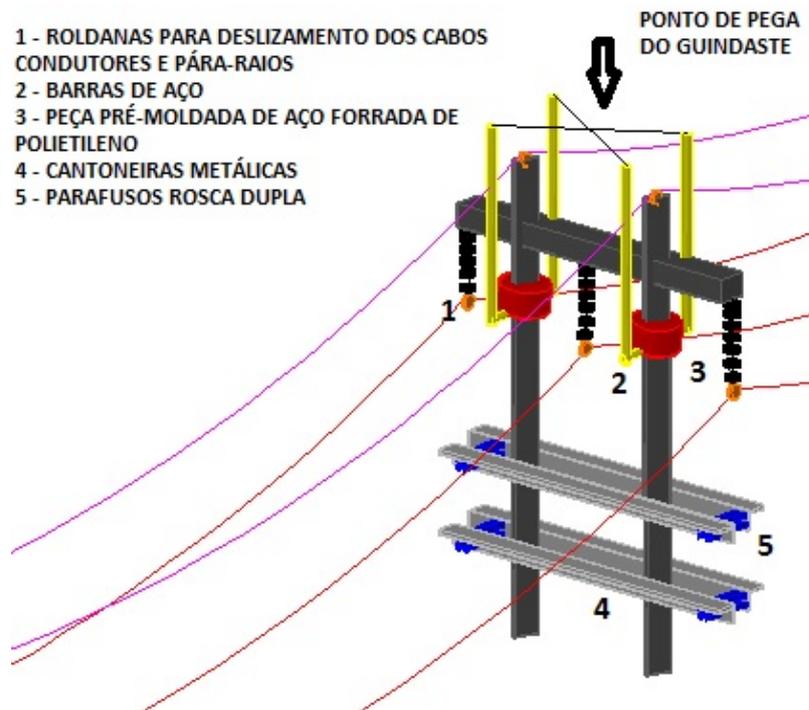
Ressalta-se a necessidade de atentar para as seguintes premissas e procedimentos de segurança:

- é necessário fazer a fixação na torre acima do seu centro de gravidade (para não ocorrer o tombamento);
- é preciso amarrar com cintos específicos de modo a não ferir a torre;
- o alinhamento deve ser feito (manobras com cordas para que a estrutura não saia do prumo);
- a torre tem que estar intertravada (fixação dos postes à cruzeta e entre os postes) de modo a funcionar como uma única peça;
- saber o quanto de engastamento será necessário para fazer a fundação sob medida;
- o guindaste precisa elevar entre 10t e 12t (e acrescer o vão de peso, cerca de 1,5t), e relocar a torre a ré ou a vante entre 4 e 30 metros.

Na Figura 82 é mostrada como a fase final de intertravamento antes da remoção da estrutura com guindaste seria implementada. As roldanas (item 1 da Figura 78) serve para permitir o deslizamento dos cabos da estrutura quando a mesma estiver sendo implementada.

As barras de aço (item 2 Figura 78) são verticalizadas de forma que a retirada da estrutura ocorra com a maior estabilidade possível. As braçadeiras (item 3 Figura 78) são necessárias para a fixação na estrutura, estas têm que estar forradas com material que não fira a estrutura. O material escolhido foi o polietileno composto. As cantoneiras metálicas (item 4 Figura 78) sendo fechadas com os parafusos (item 5 Figura 78), são necessárias para a transformação da estrutura em uma única peça.

Figura 82 – Travamento da estrutura de concreto com pontos para pega do guindaste



Fonte: Próprio Autor

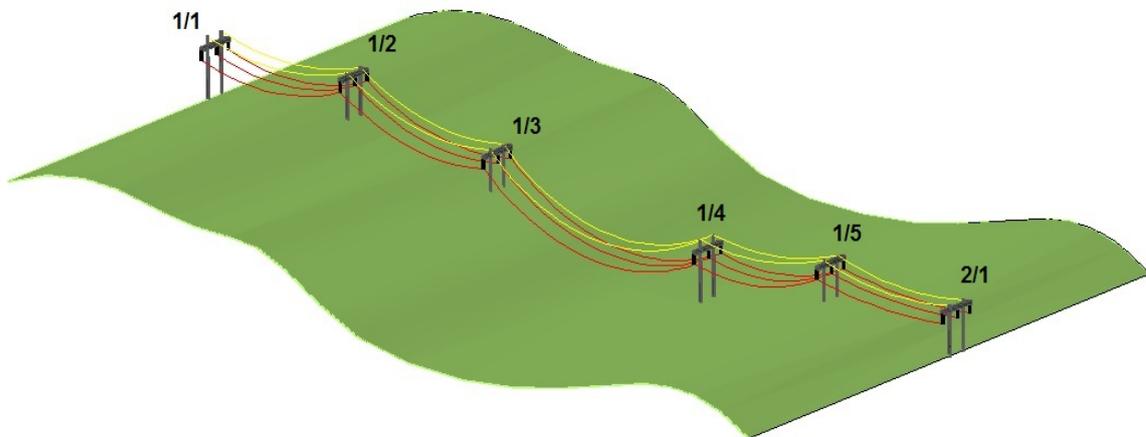
### 5.3 Esquema de Implantação

Inicialmente, deve ser analisada a necessidades do projeto quanto ao aumento da corrente da LT. Isto pode ser realizado através de várias técnicas de levantamento do estado real da LT. Deve ser realizado levantamento topográfico dos pontos do eixo central e eixos laterais, verificação do estado dos materiais, condições meteorológicas e demais dados imprescindíveis para definir a condição atual da LT e a nova temperatura de projeto do cabo condutor em questão. Na Figura 83 está apresentado o levantamento topográfico tridimensional de trecho de uma LT. Neste estudo, podem ser verificadas quais as necessidades de aumento nas verificado quais as necessidade de aumento das distâncias de segurança para atender à nova condição de projeto.

Após o levantamento topográfico deve ser verificado em perfil, se a LT possui cabos-baixos. No exemplo ilustrado na Figura 84, verifica-se a existência de cabos baixos entre as estruturas 1/1 - 1/2, entre 1/2 - 1/3 e entre as estruturas 1/5 - 2/1, indicados através de círculos pretos na Figura 84.

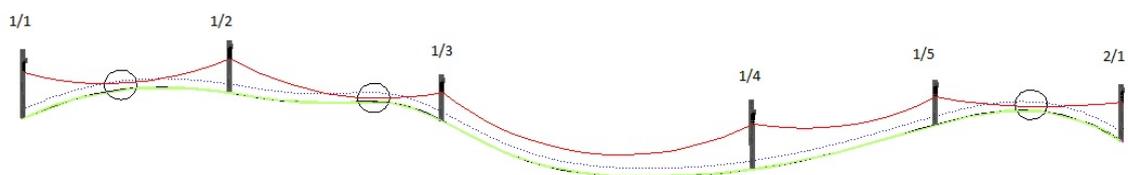
Após a conclusão da primeira etapa, isto é, a identificação dos pontos onde é preciso aumentar as distâncias cabo-obstáculo para não violar distâncias normatizadas (ABNT, 1985), deve ser iniciada a fase de estudo do novo projeto.

Figura 83 – Condição inicial da LT em 3D



Fonte: Próprio Autor

Figura 84 – Perfil da LT indicando as violações das distâncias de segurança



Fonte: Próprio Autor

A partir deste ponto, devem ser feitos os estudos de viabilidade de relocação das estruturas existentes, e quanto é preciso aflorar as novas fundações nestes novos pontos. Este estudo é rapidamente verificado no programa PLS-CADD® (PLS-CADD, 2017), caso já tenham sido identificados todos os critérios de projeto e inseridas todas as informações no programa para o novo empreendimento. É necessário que o projetista ao relocar as estruturas manualmente no PLS-CADD® (PLS-CADD, 2017) verifique se estes novos pontos de implantação das estruturas estejam aptos para locação, isto é, sejam locais de bom acesso de máquinas, com poucos declives e solo estável.

Encontrados os novos pontos de relocação das estruturas existentes, e o quanto é preciso aflorar as fundações, devem ser iniciadas as etapas de relocação.

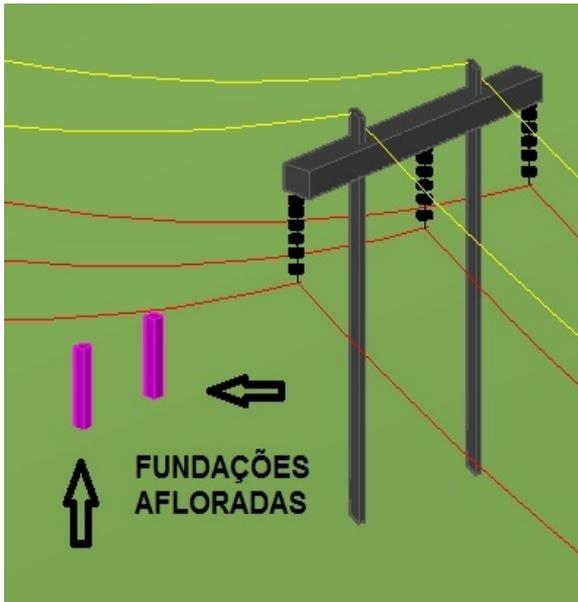
Com os locais de relocação das estruturas já definidos e afloramentos das fundações já calculados, se necessários, serão travadas as estruturas e executadas as fundações.

Concluídas as fundações e o travamento das torres, o guindaste deve ser estabilizado no local mais adequado. A escavação deve ser realizada para retirada da estrutura do ponto onde

está engastada e o guindaste deve levar a estrutura até o eixo das novas fundações executadas.

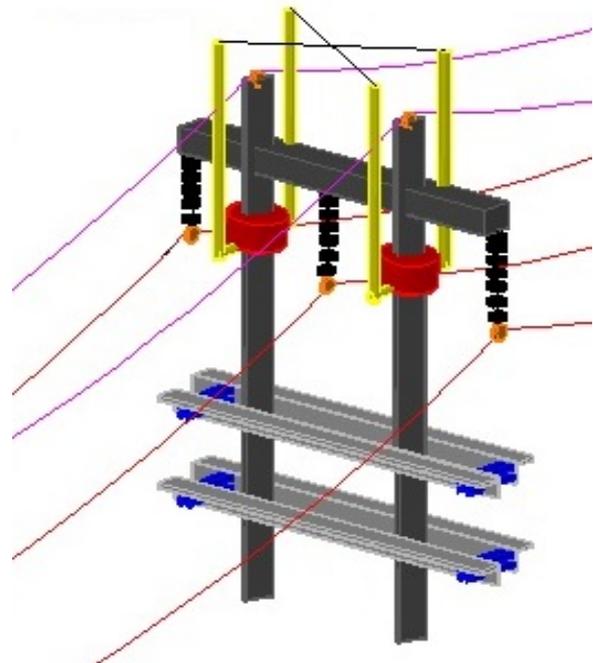
O processo descrito é ilustrado em sequência nas Figuras 85, 86, 87 e 88.

Figura 85 – Construção de fundação aflorada



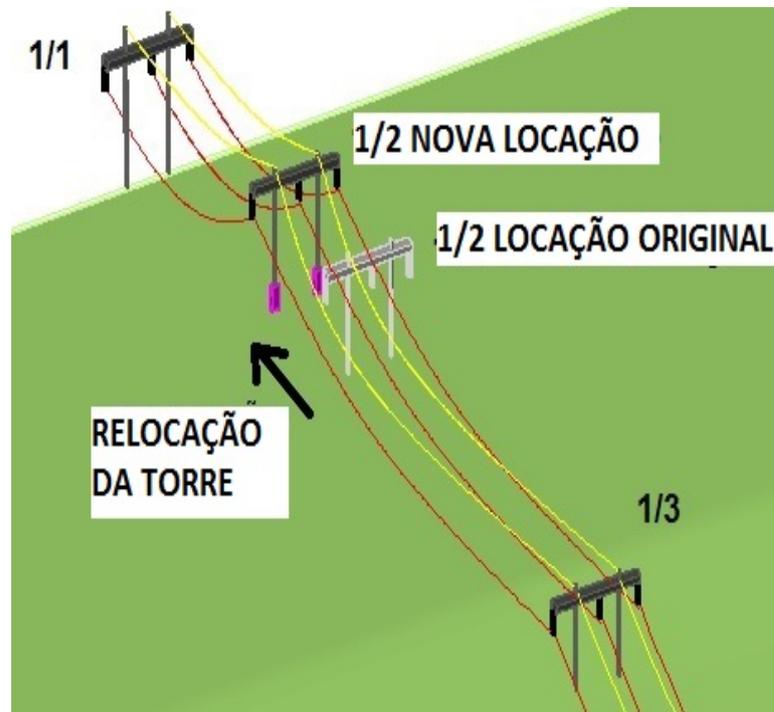
Fonte: Próprio Autor

Figura 86 – Travamento da estrutura e inserção das bandolas dos cabos condutores e pára-raios



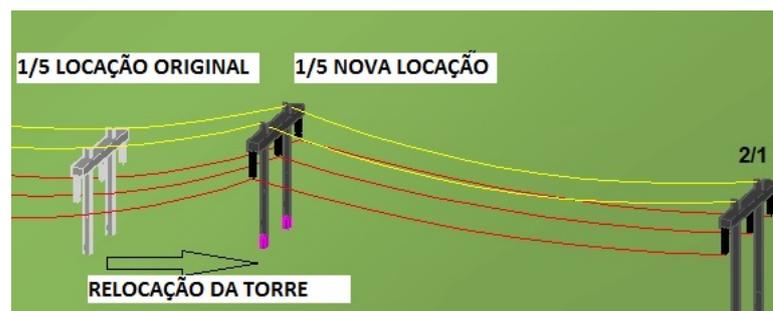
Fonte: Próprio Autor

Figura 87 – Fundações afloradas concluídas (cor magenta), travamento da estrutura 1/2 e relocação para o ponto projetado



Fonte: Próprio Autor

Figura 88 – Relocação da torre 1/5

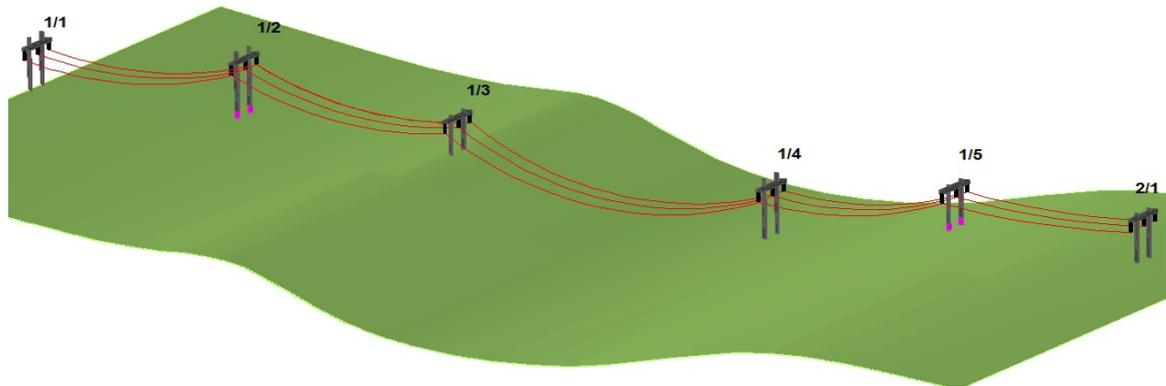


Fonte: Próprio Autor

Após a inserção de um selo de concreto por cima da areia adensada entre a casca da fundação tipo cálice e os postes de concreto devem ser retiradas as bandolas e o regrampeamento dos cabos condutores e cabos para-raios nos grampos de suspensão. Nesta etapa a LT já deve estar com as estruturas relocadas e os cabos baixos eliminados, conforme ilustrações contidas nas Figuras 89 e 90.

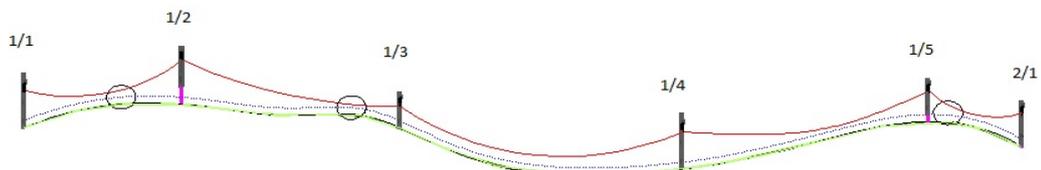
No exemplo descrito não foram considerados os cabos para-raios e os dispositivos de travamento relacionados na Figura 82, de tal forma a melhorar a visualização do procedimento. Em etapa de projeto executivo, todos os acessórios descritos na Figura 82 são indispensáveis para execução desta solução.

Figura 89 – Perfil com a relocação das torres 1/2 e 1/5



Fonte: Próprio Autor

Figura 90 – Retirada dos cabos baixos existentes verificados nos círculos pretos



Fonte: Próprio Autor

## 5.4 Estudo de Caso 1: LT 230kV Aquiraz/Fortaleza II - C1 - Recapacitação

Para a LT citada no caso 1 há a Resolução Autorizativa N° 3.631, de 2012 (ANEEL, 2012) onde autoriza o empreendimento de Recapacitação para o Limite Térmico do cabo condutor existente. Desta forma, o condutor desta LT (CAA Grosbeak, um cabo por fase) passará na condição de curta duração de 694 A para 985 A, de forma a permitir a LT trabalhar no limite térmico para este cabo, associada a uma RAP (Receita Anual Permitida) de R\$ 184.787,59 (ANEEL, 2012).

A LT começa na Estrutura 165/1 no seccionamento da LT 230kV Banabuiu / Fortaleza II - C1 na Subestação de Aquiraz. Posteriormente esta LT terá suas estruturas renumeradas.

As características da LT neste estudo de caso 1 são mostradas a seguir:

- comprimento: 12,29 km;
- cabo condutor: CAA Grosbeak 636 MCM;
- cabo pára-raios: EAR 3/8";
- local: Fortaleza - CE;
- torre típica: H-ARB;
- número de estruturas da LT: 49 estruturas;
- temperatura de projeto antes da recapitação: 60°C (condição de curta duração);
- temperatura de projeto após a recapitação: 93°C (condição de curta duração).

#### 5.4.1 Solução Tradicional

A solução tradicionalmente utilizada é a troca de estruturas de concreto por estruturas metálicas para elevar os cabos baixos existentes após o aumento da capacidade de transmissão desta LT. Conforme visto no Capítulo 4 também há ocorre troca de cadeias de suspensão tradicionais por cadeias reduzidas e o alteamento de cruzetas.

Na Tabela 5 é realizado um resumo dos serviços necessários pelo método tradicional de troca de estruturas de concreto por estruturas metálicas. Nesta proposta de solução tradicional, tem-se a necessidade de execução dos serviços de construção que estão descritos no Apêndice A.

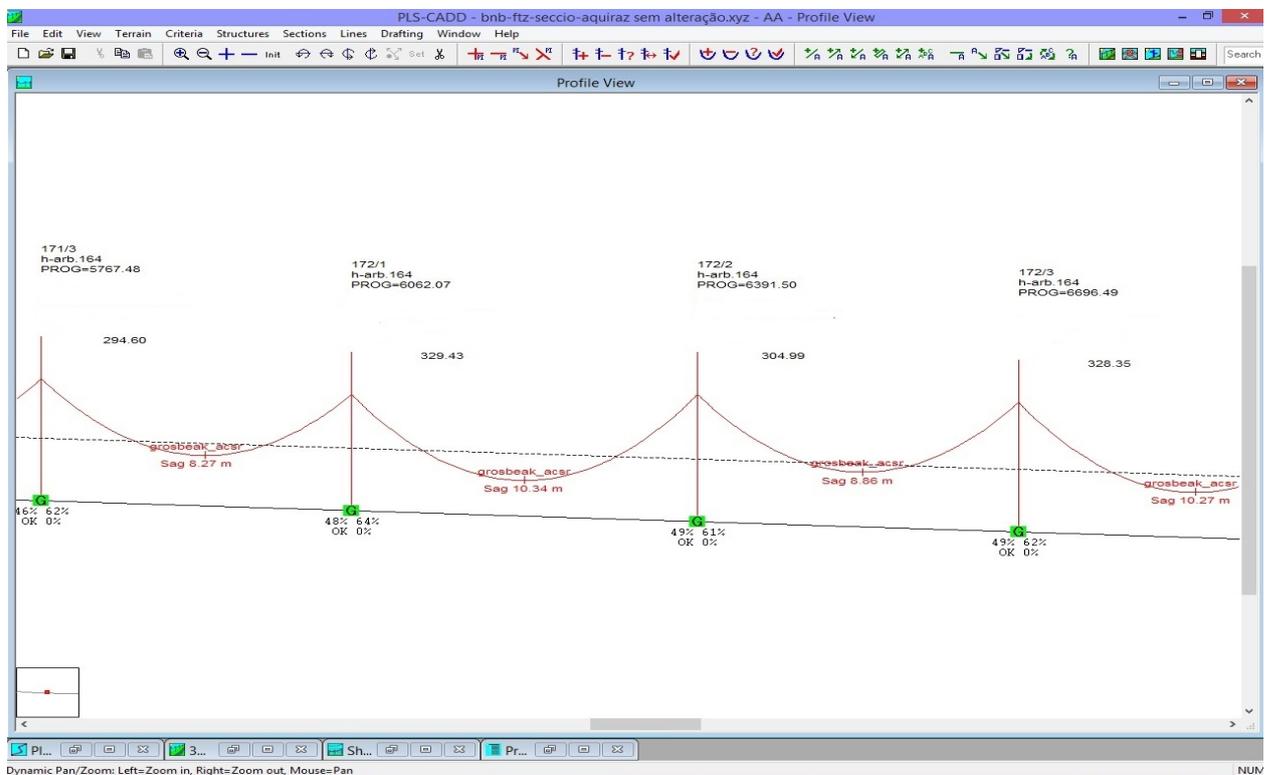
As Figuras 91 e 92 mostra uma exemplo do projeto realizado no PLSCADD, programa que foi utilizado para o desenvolvimento da proposta.

Tabela 5 – Resumo modificações por troca de estruturas de concreto por metálicas - caso 1

Estrutura	Torre Antiga Concreto	Torre Nova – Altura Útil (m)
165/4	H - ARB	S21s – 15,0 m
167/1	H - ARB	S21s – 16,5 m
167/2	H - ARB	S21s – 18,0 m
168/3	H - ARB	S21s – 18,0 m
169/2	H - ARB	S22s – 39,0 m
169/3	H - ARB	S21dmV – 31,5 m
171/2	H - ARB	S21s – 21,0 m
172/1	H - ARB	S21s – 21,0 m
172/3	H - ARB	S21s – 21,0 m
173/2	H - ARB	S21s – 19,5 m
173/4	H - ARB	S21s – 22,5 m
175/1	H - ARB	S21s – 22,5 m
176/1	H - ARB	S21s – 22,5 m
176/4	H - ARB	S21s – 18,0 m
177/2	H - ARB	S21s – 25,5 m
177/3	H - ARB	S21s – 21,0 m

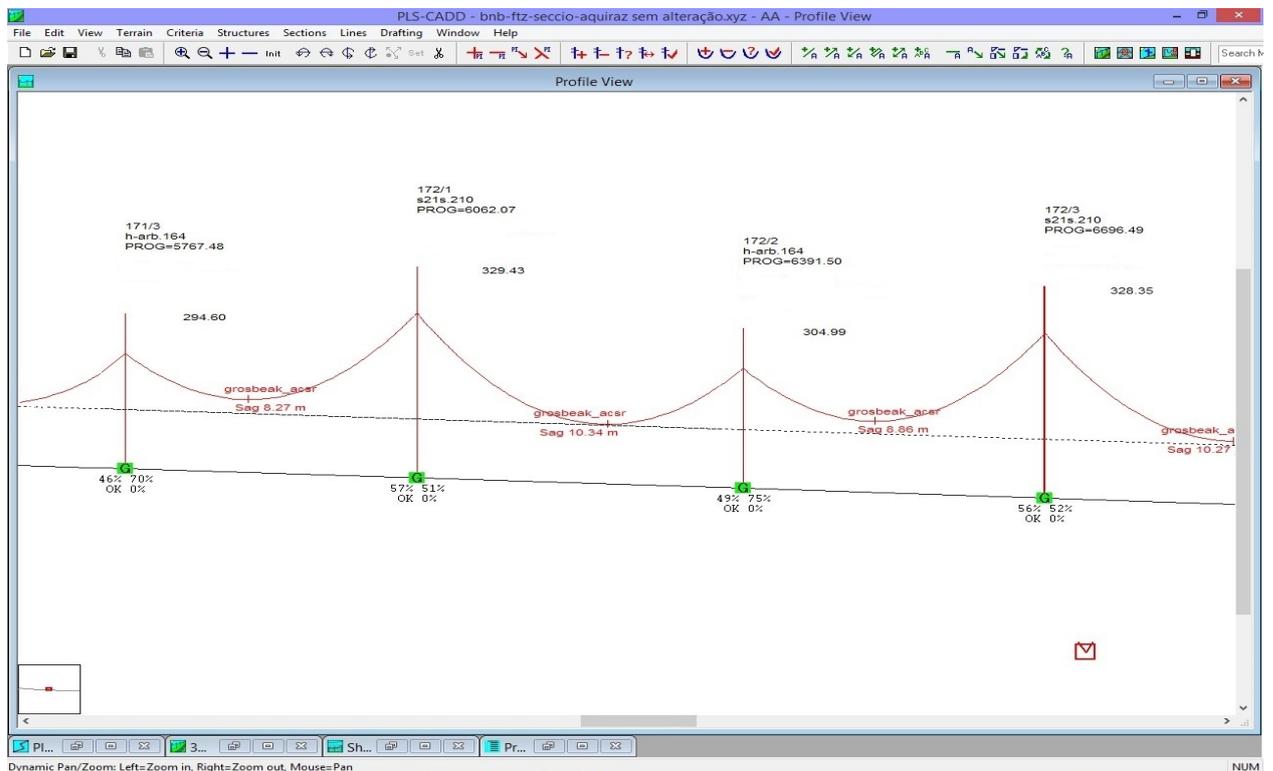
Fonte: Próprio Autor

Figura 91 – Exemplo da LT 230 kV Aquiraz / Fortaleza II antes de recapitar



Fonte: Próprio Autor

Figura 92 – Exemplo da LT 230 kV Aquiraz / Fortaleza II recapitada através da solução tradicional



Fonte: Próprio Autor

#### 5.4.2 Solução Proposta

Para aplicação da relocação de estruturas de concreto, foi utilizado o programa PLS-CADD® (PLS-CADD, 2017) para relocação das estruturas de concreto com o afloramento das suas respectivas fundações para retirada dos cabos-baixos na nova condição de projeto. Na Tabela 6 há o resumo da solução por relocações das estruturas de concreto para a recapitação da LT 230 kV Aquiraz/Fortaleza II - C1 para o caso 1.

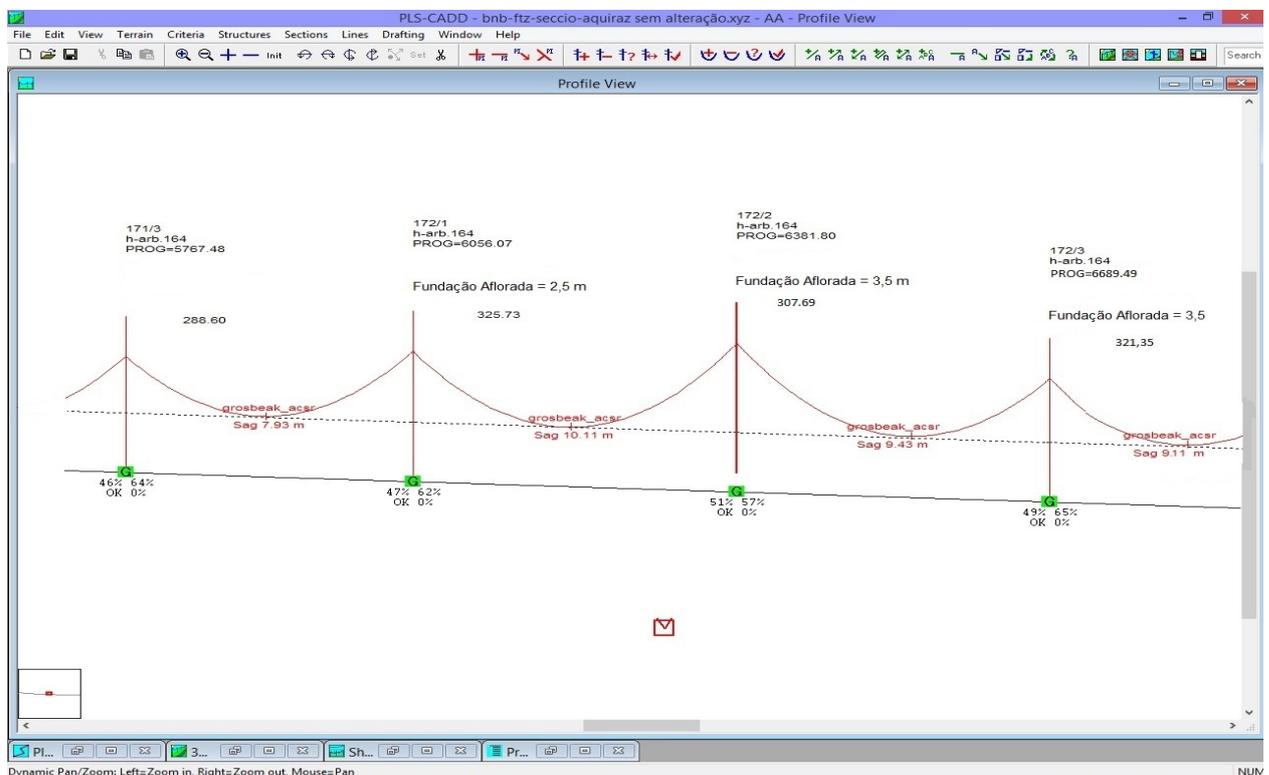
Na Figura 93 é apresentado um exemplo da recapitação através da solução proposta.

Tabela 6 – Resumo modificações por relocação de estruturas de concreto - caso 1

Estrutura	Relocação	Fundação
165 /4	12,0 m para trás	0,0 m
167/3	13,0 m para trás	1,0 m
168/2	14,0 m avante	0,0 m
169/2	5,0 m avante	1,5 m
171/2	9,0 m avante	1,5 m
172/1	6,0 m para trás	2,5 m
172/2	9,7 m para trás	3,5 m
172/3	7,0 m avante	3,5 m
173/2	7,0 m para trás	2,0 m
173/4	8,0m para trás	3,0 m
175/3	30,0 m avante	0,0 m
176/1	15,0 m para trás	3,0 m
176/2	30,0 m para trás	2,5 m
176/3	7,0 m avante	2,0 m
177/1	5,0 m avante	3,0 m
177/2	4,0 m para trás	3,0 m
177/3	30,0 m para trás	3,0 m

Fonte: Próprio Autor

Figura 93 – Exemplo da LT 230 kV Aquiraz / Fortaleza II antes de recapitada através da solução proposta



Fonte: Próprio Autor

Neste caso 1, para a solução de relocação de estrutura de concreto, tem-se a necessidade de execução dos serviços de construção descritos no Apêndice B.

## 5.5 Estudo de Caso 2: LT 230kV Camaçari II/ Cotegipe - C1 - Recapacitação

Para a LT citada no caso 2, os serviços já foram realizados através da Resolução Autorizativa Nº 939/2007 na LT 230 KV Camaçari II - Cotegipe - C1 - Recapacitação passando de 226 MVA para 350 MVA, circuito simples, um cabo condutor por fase. Associada a uma RAP (Receita Anual Permitida) de R\$ 684.587,14 (ANEEL, 2007).

As características da LT neste estudo de caso 2 são mostradas a seguir:

- comprimento: 22,58 km;
- cabo condutor: CAA Grosbeak 636 MCM;
- cabo pára-raios: EAR 3/8" e CAA Dotterel 176,9 MCM;
- local: Camaçari e Dias D'Ávila - BA;
- torre típica: H-ARB;
- número de estruturas da LT: 79 estruturas;
- temperatura de projeto antes da recapacitação: 60°C (condição de curta duração);
- temperatura de projeto após a recapacitação: 90°C (condição de curta duração).

### 5.5.1 Solução Tradicional

A solução tradicionalmente utilizada são mesmas soluções da LT do caso 1, isto é: troca por estruturas mais altas, troca de cadeias de suspensão exceto a necessidade de recondutoramento de 1 km de LT para cabo CAL FLINT para vencer o vão da BR-324 na chegada da SE Cotegipe. Esta técnica também é descrita no Capítulo 4.

Na Tabela 7 é realizado um resumo dos serviços necessários pelo método tradicional de troca de estruturas de concreto por estruturas metálicas.

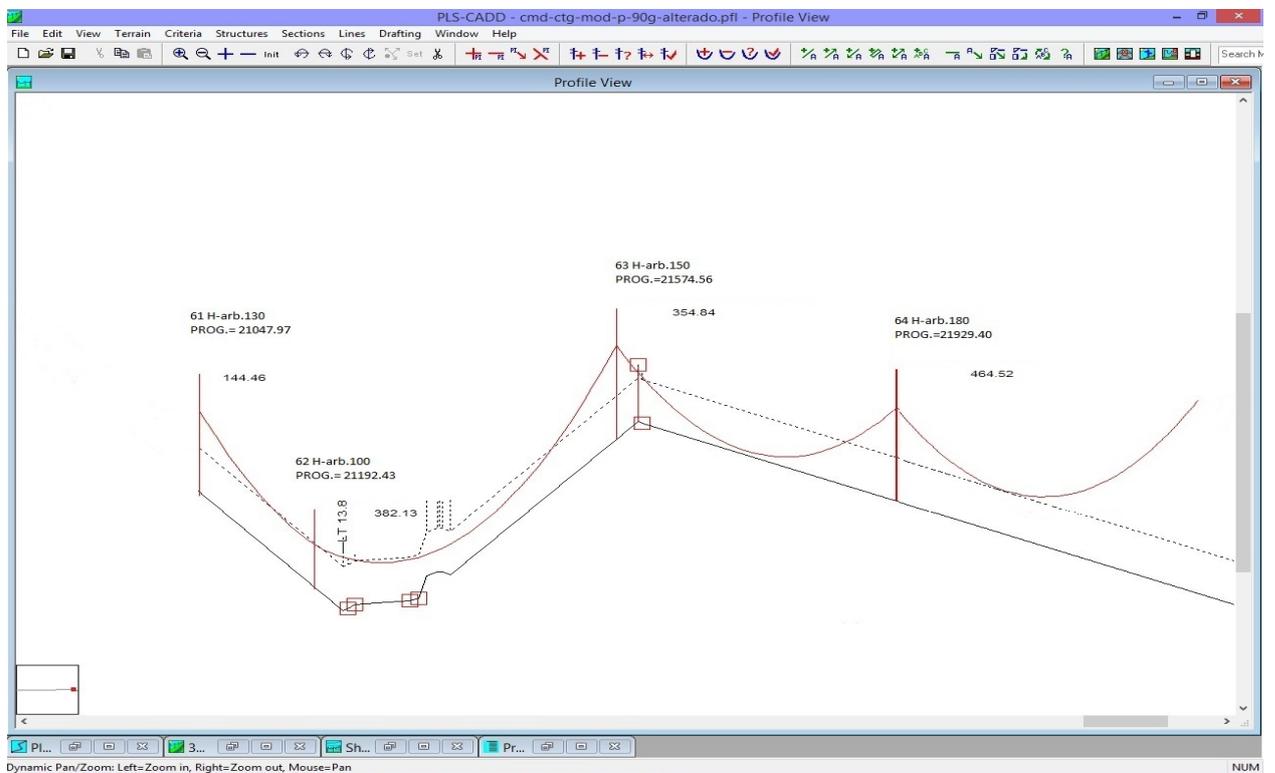
Nas Figuras 94 e 95 é possível verificar como as soluções de projeto são executadas no PLSCADD.

Tabela 7 – Resumo modificações por troca de estruturas de concreto por metálicas

Estrutura	Torre Antiga	Torre Nova – Altura Útil (m)
14	H-ALS	S21s – 22,5 m
27	H- ARB	S21s – 22,5 m
36	H- ARB	S21s – 31,5 m
41	H-AL	S22s – 36,0 m
42	H- ARB	S21s – 22,5 m
47	H - ARB	S22s – 39,5 m
51	H - ARB	S21s – 19,5 m
53	H - ARB	S21s – 18,0 m
56	H - ARB	S21s – 19,5 m
61	H - ARB	S21s – 13,5 m
62	H - ARB	S21s – 30,0 m
63	H - ARB	S21s – 15,0 m
64	H - ARB	S21s – 15,0 m
69	H-AL	S21dm – 45,0 m
70	H-AL	S22s – 37,5 m
71	H-AL	A21s – 22,5 m

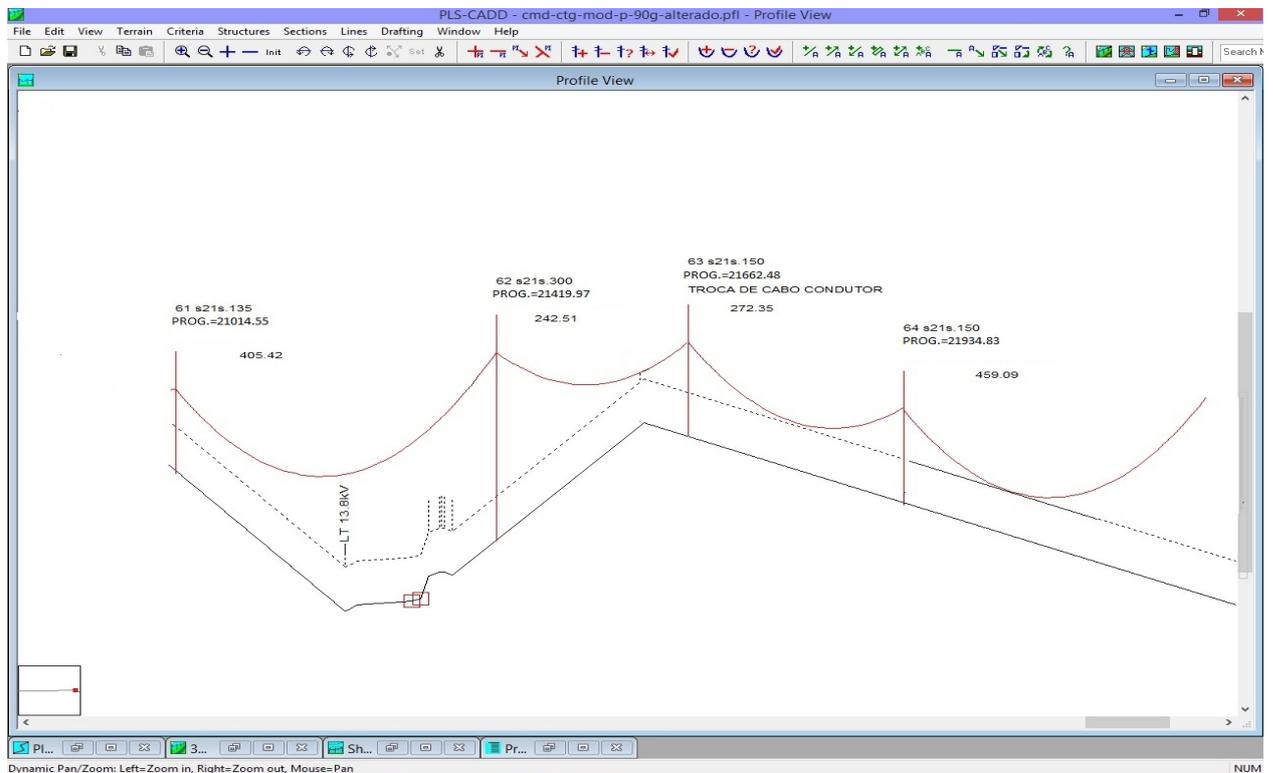
Fonte: Próprio Autor

Figura 94 – Exemplo da LT 230 kV Camaçari II / Cotegipe antes de recapitar



Fonte: Próprio Autor

Figura 95 – Exemplo da LT 230 kV Camaçari II / Cotegipe recapitada através da solução tradicional



Fonte: Próprio Autor

Neste caso 2, para caracterização desta solução, existe a necessidade de execução dos serviços de construção descritos no Apêndice C.

### 5.5.2 Solução Proposta

Para aplicação da relocação de estruturas de concreto, encontra-se na Tabela 8 as estruturas que devem ser relocadas com o afloramento das suas respectivas fundações de concreto. Exceto a necessidade de troca de quatro estruturas: 2 de concreto e duas estruturas metálicas por estruturas metálicas mais altas e recondutoramento de 1 km de LT para cabo CAL FLINT para vencer o vão da BR-324 na chegada da SE Cotegipe, esta técnica também é descrita no Capítulo 4.

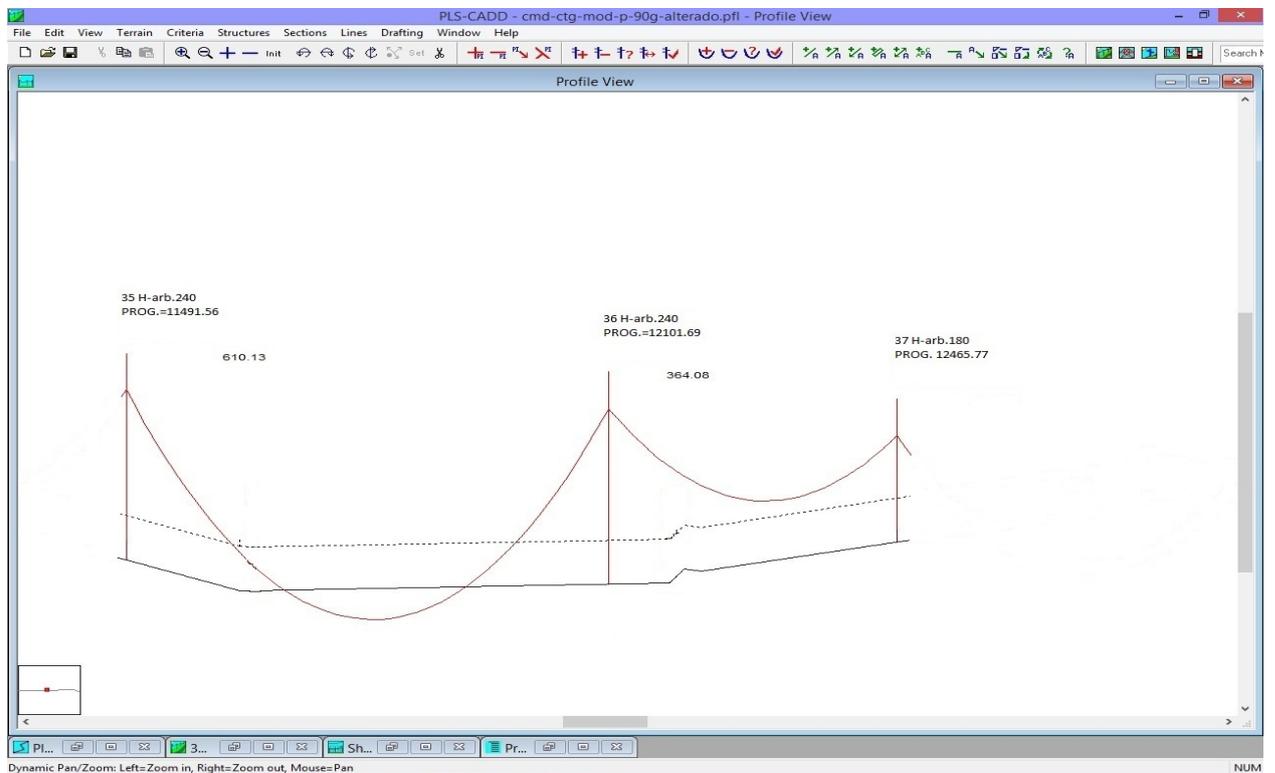
Nas Figuras 96 e 97 são mostradas outro trecho do projeto, antes da recapitação e após a recapitação através da solução proposta.

Tabela 8 – Resumo modificações por relocação de estruturas de concreto - caso 2

Estrutura	Relocação	Fundação
2	20,0 m para trás	0,0 m
6	20,0 m avante	0,0 m
8	6,0 m avante	1,5 m
12	30,0 m avante	3,0 m
15	5,0 m para trás	2,0 m
21	10,0 m para trás	1,0 m
30	15 m avante	3,0 m
31	10,0 para trás	3,0 m
35	30,0 m avante	3,0 m
36	30,0 m para trás	3,0 m
37	30,0 m para trás	2,0 m
41	23,0 m para trás	3,0 m
42	15,0 m para trás	0,0 m
45	10,0 m avante	3,0 m
56	20,0 m avante	2,0 m
58	20,0 m para trás	0,0 m

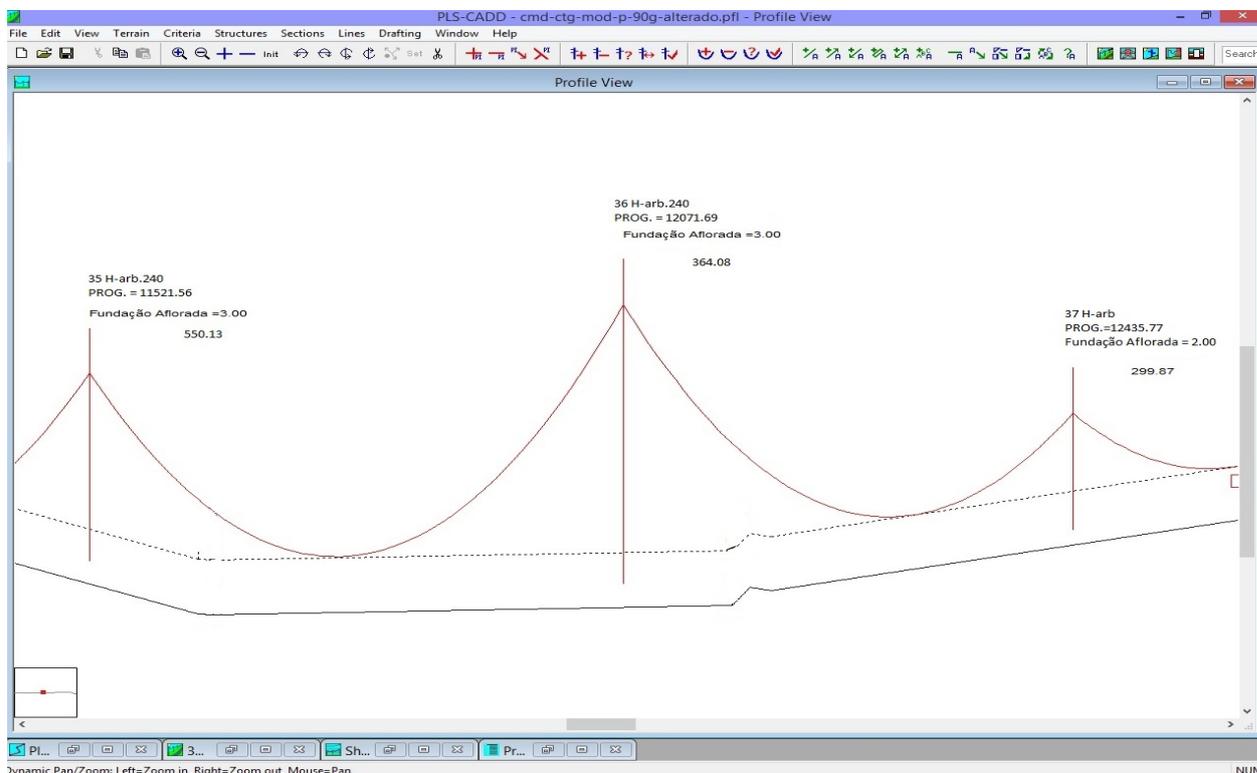
Fonte: Próprio Autor

Figura 96 – Exemplo da LT 230 kV Camaçari II / Cotegipe antes de recapitar



Fonte: Próprio Autor

Figura 97 – Exemplo da LT 230 kV Camaçari II / Cotegipe recapitada através da solução proposta



Fonte: Próprio Autor

Neste caso 2, para a solução de relocação de estrutura de concreto, tem-se a necessidade de execução dos serviços de construção descritos no Apêndice D.

## 5.6 Análise dos Estudos de Caso

É realizada abaixo a análise dos estudos de caso. Foram mantidos os códigos orçamentários dos itens de serviço em todas as planilhas para melhor comparação dos dados das soluções propostas.

### 5.6.1 Canteiro de Obra (código 01.01 dos apêndices)

Na administração local da contratada (código 01.01.10 dos apêndices) há uma variação sensível pois foi estipulado o mesmo tempo de execução das obras para as duas soluções, diminuindo apenas o tamanho dos grupos de trabalho devido ao menor tamanho do canteiro e menores custos associados a gestão do estoque. A Tabela 9 faz a comparação destes valores.

Tabela 9 – Comparativo para a administração local da contratada

<b>Caso</b>	<b>Solução</b>	<b>Valores em Reais</b>
1	Tradicional	600.832,84
1	Nova Solução	563.854,52
2	Tradicional	835.914,65
2	Nova Solução	775.982,15

Fonte: Próprio Autor

### 5.6.2 Montagem e Desmontagem de Canteiros de Obras (códigos 01.01.09 e 01.01.11 dos apêndices)

Os custos para construção e desmontagem dos canteiros após a execução dos empreendimentos é bem inferior para a nova solução. A diminuição de material a ser utilizado desonera bastante estes itens indispensáveis para o serviço de construção de recapacitação de LT's.

Tabela 10 – Montagem e desmontagem de canteiros de obras

<b>Caso</b>	<b>Solução</b>	<b>Valores em Reais</b>
1	Tradicional	469.223,81
1	Nova Solução	293.906,1
2	Tradicional	464.889,81
2	Nova Solução	295.268,68

Fonte: Próprio Autor

### 5.6.3 Transporte de Material (código 01.03 dos apêndices)

Devido à existência de muito espaço vazio nos caminhões (caminhões ociosos) o transporte fica bem mais caro no preço unitário. Estes custos de ociosidade têm que ser assumidos na composição de preço do empreendimento. Ainda assim, pelo quantitativo unitário que faz a solução tradicional, leva-se muito mais material para o local da obra e recolhe de volta para o almoxarifado. O custo total de transporte para a nova solução é bem mais barato. É observado no caso 2 que houve a necessidade de troca de 4 torres de concreto por torres metálicas (mescloou-se as duas soluções, pois a nova solução teve que ser complementada com a tradicional), portanto ainda existe o item de transporte de estrutura de concreto (código 01.03.06). Mesmo assim, o valor para este item fica bem inferior ao do mesmo item para a solução tradicional. Para o caso 1 houve a nulidade deste item na nova solução no transporte de estrutura de concreto (código 01.03.06).

Tabela 11 – Comparativo para transporte de material

<b>Caso</b>	<b>Solução</b>	<b>Valores em Reais</b>
1	Tradicional	102.217,6
1	Nova Solução	1.510,74
2	Tradicional	104.662,5
2	Nova Solução	11.793,52

Fonte: Próprio Autor

#### 5.6.4 Carga e Descarga de Material (código 01.04 dos apêndices)

O valor do homem x hora é o mesmo, varia apenas do caso 1 para o caso 2 devido aos insumos obrigatoriamente atribuídos na composição de preço para cada estado (CE e BA). Com o mesmo raciocínio de uso de pouco material, estes valores ficam bem mais reduzidos para a nova solução.

Tabela 12 – Comparativo para carga e descarga de material

<b>Caso</b>	<b>Solução</b>	<b>Valores em Reais</b>
1	Tradicional	30.823,75
1	Nova Solução	240,46
2	Tradicional	54.074,57
2	Nova Solução	8.134,76

Fonte: Próprio Autor

#### 5.6.5 Estradas de Acesso (código 01.06 dos apêndices)

As estradas de acesso e construções de obras de arte variam de acordo com o local de implantação das estruturas. É observado que para o caso 1 na solução tradicional este valor é bem mais elevado para acesso das máquinas que precisam trabalhar na montagem de torres metálicas. Para a nova solução, é preciso apenas abertura para instalação e estabilização do guindaste que fará a transferência das torres de concreto.

Tabela 13 – Comparativo para estradas de acesso

<b>Caso</b>	<b>Solução</b>	<b>Valores em Reais</b>
1	Tradicional	301.474,64
1	Nova Solução	22.743,16
2	Tradicional	13.229,87
2	Nova Solução	13.128,89

Fonte: Próprio Autor

### 5.6.6 Supressão de Vegetação (código 01.07 dos apêndices)

Este item é muito maior para a solução tradicional. A necessidade de abertura da área de implantação de uma estrutura autoportante tradicional é 40 m x 40 m (1600 m<sup>2</sup>). Para a nova solução a relocação de estruturas existentes de concreto causa bem menos impacto na supressão da vegetação existente 20 m x 6 m (120 m<sup>2</sup>). Os preços unitários são diferentes devido aos locais de execução de cada serviço, estes são variáveis para cada local de supressão.

Tabela 14 – Comparativo para supressão de vegetação

<b>Caso</b>	<b>Solução</b>	<b>Valores em Reais</b>
1	Tradicional	62.287,68
1	Nova Solução	6.519,22
2	Tradicional	55.274,51
2	Nova Solução	27.751,95

Fonte: Próprio Autor

### 5.6.7 Serviços de Escavação (código 01.11) e Reaterro (código 01.21) dos apêndices)

Para esses serviços os preços são semelhantes nas duas condições. Apenas reaterro do solo importado (código 1.21.24) que representa o material que fará o preenchimento das fundações afloradas (areia adensada) tem o quantitativo maior. Mas na região do caso 1 (Ceará) o valor unitário é bem inferior ao caso 2 (Bahia).

Tabela 15 – Comparativo para serviços de escavação e reaterro

<b>Caso</b>	<b>Solução</b>	<b>Valores em Reais</b>
1	Tradicional	250.733,81
1	Nova Solução	219.931,42
2	Tradicional	405.685,08
2	Nova Solução	344.307,50

Fonte: Próprio Autor

### 5.6.8 Montagem de Estrutura Metálica (código 01.27.02 dos apêndices)

Para o caso 1 na nova solução este item é nulo, devido a inexistência de estruturas metálicas a serem inseridas. No caso 2, houve a necessidade de troca de 4 estruturas: 2 de concreto e duas estruturas metálicas por estruturas metálicas mais altas como já mencionado. Mesmo para o caso 2, os custos de montagem de estruturas metálicas são bastante elevados para solução tradicional.

Tabela 16 – Comparativo para montagem de estrutura metálica

<b>Caso</b>	<b>Solução</b>	<b>Valores em Reais</b>
1	Tradicional	662.546,81
1	Nova Solução	00,00
2	Tradicional	1.127.356,01
2	Nova Solução	123.848,40

Fonte: Próprio Autor

### 5.6.9 Desmontagem de Estrutura (código 01.28 dos apêndices)

Para o caso 1 na nova solução este item é nulo, devido a inexistência de estruturas a serem desmontadas. No caso 2, houve a necessidade de desmontagem de 4 estruturas: 2 de concreto e duas estruturas metálicas, substituídas por estruturas metálicas mais altas. Mesmo para o caso 2, os custos de desmontagem de estruturas são bastante elevados para solução tradicional.

Tabela 17 – Comparativo para desmontagem de estrutura

<b>Caso</b>	<b>Solução</b>	<b>Valores em Reais</b>
1	Tradicional	192.688,00
1	Nova Solução	00,00
2	Tradicional	207.503,40
2	Nova Solução	38.750,51

Fonte: Próprio Autor

### 5.6.10 Transferência da Estrutura de Concreto (código 01.27.80 dos apêndices)

É um item novo, criado neste trabalho com toda composição de custo necessária para orçamento de construção. Neste está incluso o serviço de enxerto e retirada de cabo mencionado no capítulo 4. É verificado que o valor é alto, pois os guindastes possuem uma lança de cerca de 30 m e eleva 12 toneladas. Este guindaste tem que ser estabilizado para erguer o momento solicitante de 360 t x m. É um equipamento bastante robusto. Há a possibilidade de diminuição deste equipamento com a evolução da técnica. Na solução tradicional este item é inexistente, pois não há a aplicação da solução proposta neste trabalho.

### 5.6.11 Transferência de Circuitos e Recondutoramento (código 01.35.45,01.35.97 e 1.35.09 dos apêndices)

Os dois primeiros códigos existem apenas para o método de troca de torres (método tradicional). Não existe a execução destes serviços quando reloca-se apenas torres de concreto, pois os cabos deslizam sobre as bandolas, permanecendo assim o circuito na estrutura. Para o

Tabela 18 – Comparativo para transferência da estrutura de concreto

<b>Caso</b>	<b>Solução</b>	<b>Valores em Reais</b>
1	Tradicional	0,00
1	Nova Solução	614.487,78
2	Tradicional	0,00
2	Nova Solução	676.456,48

Fonte: Próprio Autor

caso 2, onde foi necessária a troca de 4 estruturas perto da SE Cotegipe, foi também realizado o recondutoramento de 1km de cabo condutor (troca de CAA Grosbeak para CAL FLINT). Esse serviço ocorreu concomitantemente com a troca das estruturas, e está representado pelo código 01.35.09 dos apêndices. Este valor está inserido abaixo na nova solução para o caso 2.

Tabela 19 – Comparativo para transferência de circuitos e recondutoramento

<b>Caso</b>	<b>Solução</b>	<b>Valores em Reais</b>
1	Tradicional	592.823,60
1	Nova Solução	0,00
2	Tradicional	741.756,88
2	Nova Solução	81.534,91

Fonte: Próprio Autor

### 5.6.12 Aplicação de Concreto (código 01.20 dos apêndices)

Este item é maior na nova solução. Mas se somar todos os serviços de execução de fundação há equivalência orçamentaria (reaterro, escavação, regeneração de fundo de cava e montagem de fundações de estruturas metálicas).

Tabela 20 – Comparativo para a aplicação de concreto

<b>Caso</b>	<b>Solução</b>	<b>Valores em Reais</b>
1	Tradicional	335.271,38
1	Nova Solução	548.198,86
2	Tradicional	459.845,18
2	Nova Solução	600.628,72

Fonte: Próprio Autor

## 5.7 Conclusão

Embora o cronograma executivo estimado seja o mesmo, a equipe para montagem de estrutura metálica e desmontagem de estrutura de concreto (solução tradicional) é quase o dobro da equipe necessária para transferência da estrutura de concreto, bem como a transferência

dos cabos condutores e para-raios comparando com a nova solução. As planilhas mostradas nos apêndices confirmam o uso de menos material e menos descarte de estruturas de concreto (quando da substituição a estrutura de concreto é descartada). Na solução tradicional há impactos maiores nas obras civis (recuperação de estradas de acesso, construções de passagem, porteiras, colchetes, supressão de vegetação etc). Estes fatores elevam o custo do empreendimento e também aumentam a necessidade de recomposição do meio ambiente em torno da LT que está sendo recapitada.

## 6 Conclusões e Trabalhos Futuros

Ao longo do trabalho foi feita uma ampla revisão bibliográfica das técnicas tradicionais de recapitação de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. Foram destacadas técnicas específicas, desde a inclusão de novas estruturas até a metodologia de vãos mistos, passando pelo recondutoramento, retracionamento, entre outras. Algumas dessas técnicas já são bastante consagradas.

Foram avaliadas, ainda, a evolução dos processos de levantamento topográfico utilizados para subsidiar o projeto de uma linha de transmissão. Ressaltou-se a importância na precisão desses levantamentos, premissa que se torna também verdadeira para a recapitação das linhas.

As pesquisas realizadas concluíram pela proposição de novo modelo de recapitação, embasado na relocação de estruturas de concreto armado. A proposta foi inspirada em pesquisa que introduziu a técnica de relocação de estruturas metálicas já utilizada com sucesso. O modelo ora introduzido incorpora a concepção de processo de travamento da estrutura de tal forma a permitir o seu deslocamento com guindaste, içando-a em ponto específico de pega. A estrutura passaria a ser fixada em fundações tipo cálice, previamente construídas em pontos estratégicos pré-determinados.

Dois estudos de caso apresentados mostraram economicamente a validade do modelo proposto, chegando a registrar a economia introduzida, a qual totaliza 35%, quando se compara com técnicas tradicionais. O modelo desonera, portanto, o custo dos investimentos associados a recapitação de LT's compostas basicamente de estruturas de concreto, maximiza o reaproveitamento dos materiais existentes nas LT's e minimiza a degradação ao meio ambiente. Ressalta-se a aplicabilidade da proposta, quando se considera apenas o universo de linhas em estruturas de concreto existentes na CHESF, totalizando 14.988 estruturas (35,43% do seu sistema, composto de 42.299 estruturas).

### 6.1 Trabalhos Futuros

No intuito de aprimorar a técnica desenvolvida, é possível elencar os seguintes trabalhos futuros:

- realizar montagens experimentais em campo de teste de tal forma a validar e refinar a metodologia;
- aperfeiçoar a fundação tipo cálice aflorada para as torres de concreto, tornando o procedimento mais rápido e menos oneroso;

- estudar/aperfeiçoar os estudos de caso para outros níveis de tensão tais como 69 kV, 138 kV e 500 kV uma vez que os casos analisados e orçados foram para LT's com nível de tensão de 230 kV e estrutura tipo H-ARB;
- verificar a possibilidade de introduzir o seguinte refinamento no procedimento de montagem: por os cabos no chão, tirar a trave superior da estrutura e relocar os postes um a um; esta técnica desonera mais ainda o investimento, pois com guindastes de menor capacidade, o valor da relocação das estruturas seria bem inferior e as manobras poderiam ser realizadas de forma ainda mais segura;
- desenvolver tecnologia, de tal forma a permitir a realização de todos os serviços necessários com a linha energizada.

## Referências

- ABNT. *NBR 5422 - Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica*. 1985. Citado 2 vezes nas páginas 68 e 96.
- ABNT. *NBR 9062 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. 2006. Citado na página 93.
- ABOUTUGANDA.COM. *Uganda Surveyors, Land, Quantity Surveyors and Valuers*. 2016. Disponível em: <[http://www.aboutuganda.com/uganda/buiding{\\\_}and{\\\_}decor/uganda-sur](http://www.aboutuganda.com/uganda/buiding{\_}and{\_}decor/uganda-sur)>. Citado na página 59.
- AEROLEVANTAMENTOS, E. E. E. LEVANTAMENTO CINEMÁTICO EM TEMPO REAL. *ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.*, 2007. Citado na página 59.
- ALTOQI. *AltoQi - Lançamento de pilar pré-moldado isolado*. 2017. Disponível em: <[http://faq.altoqi.com.br/content/182/1060/pt-br/lançamento-de-pilar-pre\\_moldado-isolado.html](http://faq.altoqi.com.br/content/182/1060/pt-br/lançamento-de-pilar-pre_moldado-isolado.html)>. Citado na página 94.
- AMPACIMON. *ADR*. 2015. Disponível em: <<http://www.ampacimon.com/adr-view/>>. Citado na página 41.
- ANEEL. Resolução Normativa N° 191. 2005. ISSN 1098-6596. Citado 3 vezes nas páginas 67, 68 e 71.
- ANEEL. RESOLUÇÃO AUTORIZATIVA ANEEL 939/2007. 2007. Citado na página 105.
- ANEEL. Nota Técnica n° 0128/2011-SRT-SCT-SFF. 2011. Citado na página 78.
- ANEEL. RESOLUÇÃO AUTORIZATIVA ANEEL 3631/2012. 2012. Citado na página 100.
- ARAÚJO, T. A. P. de. REDUÇÃO DOS IMPACTOS SÓCIO AMBIENTAIS NOS EMPREENDIMENTOS DE LINHA DE TRANSMISSÃO DA FASE DO PROJETO À CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO. *SNPTEE*, 2003. ISSN 1098-6596. Citado na página 56.
- AUGUSTO, C.; BAUMANN, G. REPOTENCIALIZAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO AVALIAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS E CONCEPÇÕES. n. 048, 1997. Citado na página 32.
- B2.06, C. W. G. How Overhead Lines are Re-designed for Uprating / Upgrading. *Cigre*, n. June, p. 1–102, 2006. Citado na página 25.
- B2.11.04, C. T. F. Overhead Conductor Safe Design Tension with Respect to Aeolian Vibrations. *Cigre*, p. 1–43, jun 2005. Citado na página 80.
- B2.12, C. W. G. Conductors for the Uprating of Overhead Lines. *Cigre*, n. April, p. 1–47, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 79.
- BASTOS, B. d. C.; FILHO, L. E. Utilização da tecnologia lidar em projetos de engenharia de infraestrutura viária. *XI Cngresso Nacional y VII Lationamericano de Agrimensura*, n. 1, p. 1–5, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 63 e 64.

- BELANGER, M. E. et al. Nip / Tuck Method A Solution to Providing Additional Conductor-to-Ground Clearances for Transmission Lines. *46th Annual Transmission and Substation Design and Operation Symposium (TSDOS)*, 2013. Citado na página 52.
- BERYOZKINA, SVETLANA, SAUHATS, A. RESEARCH AND SIMULATION OF OVERHEAD POWER LINE UPRATING USING ADVANCED CONDUCTORS. In: . [S.l.: s.n.], 2015. v. 5, p. 6–9. Citado na página 27.
- BEZERRA, J. et al. Field validation of a new model for uprating transmission lines. *Electric Power Systems Research*, v. 134, p. 30–37, 2016. Citado na página 43.
- BORGES, M. S. et al. Sensoriamento Remoto Aplicado às Faixas de Servidão da Linha Tucuruí-Vila do Conde (PA) entre as Cidades de Tucuruí e Tailândia. *IESAM/UFPA*, 2007. Citado na página 65.
- BRAGA, E.; VEIGA, D.; MOREIRA, S. Upgrading and refurbishment of an energized transmission line. p. 459–465, 1993. Citado na página 26.
- BRANDALIZE, A. Perfilamento a LASER : Comparação com Métodos Fotogramétricos. p. 332–3273. Disponível em: <<http://www.esteio.com.br>>. Citado na página 62.
- BRANDALIZE, A. A. Perfilamento a LASER : Comparação com Métodos Fotogramétricos. 1999. Disponível em: <<http://www.esteio.com.br>>. Citado na página 63.
- BRASIL, M. D. *3M ACCR - Condutor de Alumínio Reforçado por Compósito Metálico*. [S.l.], 2014. Citado na página 31.
- BROMS, B. B. Lateral resistance of piles in cohesive soils, v. 90, n. 2, p. 27-64. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 1964. Citado na página 92.
- BUBNIAK, M. J. et al. USO CONJUGADO DE PERFILAMENTO A LASER E SOFTWARE DE PROJETO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO VISANDO A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS. *SNPTEE*, 2005. Citado 4 vezes nas páginas 49, 62, 64 e 65.
- CABLE, G. *CABO DE ALUMÍNIO LIGA -CAL 1120*. [S.l.], 2017. Citado na página 29.
- CARRINGTON, R. New technologies for transmission line uprating. *ESMO '98 - 1998 IEEE 8th International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance Proceedings ESMO '98 Proceedings. ESMO 98 The Power is in Your Hand*, 1998. Citado na página 35.
- CARTOGRAFIA, P. D. *Generalidades sobre Fotografia Aérea (Aerofoto e Fotointerpretação)*. 2016. Disponível em: <<http://portaldacartografia.com.br/notas-de-aula-aerofoto-e-fotointerpretacao-generalidades-sobre-fotografia-aerea/>>. Citado na página 61.
- CAVALCANTI, S. J. G. et al. LPNE - A TÉCNICA E A CULTURA DA ADEQUAÇÃO. n. 081, 1997. Citado na página 34.
- CAVALCANTI, S. J. G. et al. ADEQUAÇÃO DE MATERIAIS ÀS LPNE - PADRONIZAÇÃO VERSUS DESENVOLVIMENTO. n. 081, p. 1–4, 1999. Citado na página 33.
- CHESEF. *ARQUIVOS DE PROJETO EXECUTIVO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO*. 2011. Citado na página 62.

CHESF, D. *RELATÓRIO FINAL DE OBRA - LT 230 kV MOSSORÓ II - AÇU II - RECAPACITAÇÃO - 2006*. 2006. Citado na página 72.

CHESF, D. *RELATORIO FINAL DE OBRA - LT 230 KV ANGELIM - RIBEIRÃO - RECAPACITAÇÃO - 2013*. 2013. Citado 3 vezes nas páginas 73, 86 e 90.

CHESF, D. *RELATORIO FINAL DE OBRA - LT 230 kV RIBEIRÃO - RECIFE II - RECAPACITAÇÃO*. 2015. Citado 6 vezes nas páginas 70, 85, 86, 88, 93 e 94.

CHESF, P. I. D. *Cadastro de Estruturas - CHESF*. 2016. Citado 2 vezes nas páginas 91 e 92.

CLOET, E.; LILIEN, J.-L. Uprating Transmission Lines through the use of innovative real-time monitoring system. *IEEE*, 2011. Citado na página 41.

CONSTRUCTORS, B. *NPPD Axtell to Kansas, 15 Miles 345kV Line - Brink Constructors Inc.* 2017. Disponível em: <<http://www.brinkred.com/project/axtell-kansas/>>. Citado na página 81.

COSENTINO, A. AVALIAÇÃO DAS TEMPERATURAS DE OPERAÇÃO EM CONDUTORES EM LINHAS DE TRANSMISSÃO – APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS. *SNPTEE*, 2011. ISSN 1098-6596. Citado na página 44.

DART, F. C. et al. VALIDAÇÃO DE UMA NOVA TECNOLOGIA PARA TRANSMISSÃO EM 500 kV. *SNPTEE*, 1999. ISSN 1098-6596. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.

DIGGES, L. *Pantometria*. [s.n.], 1571. Disponível em: <<http://name.umdl.umich.edu/A20458.0001.001>>. Citado na página 57.

DUPREE, A. et al. Raising Transmission Line Steel Towers. *Electrical Transmission and Substation Structures*, 2015. Citado 4 vezes nas páginas 50, 51, 91 e 92.

EDUARDO, J. V.; NOGUEIRA, A. E. D. A.; JR, RÉGIS, O. Temperaturas Máximas Diárias. *XIX SNPTEE*, n. 81, 2007. Citado na página 68.

ELÉTRICOS, C. M. *CAS Materiais Elétricos*. 2017. Disponível em: <[http://caseletrica.com.br/?product=kg-cabo-de-aluminio-ca-4-awg-rose{%&}post{\\\_%}type=product{%&}name=kg-cabo-de-aluminio-ca-4-awg-rose{%&}v=>](http://caseletrica.com.br/?product=kg-cabo-de-aluminio-ca-4-awg-rose{%&}post{\_%}type=product{%&}name=kg-cabo-de-aluminio-ca-4-awg-rose{%&}v=>)>. Citado na página 28.

ELÉTRICOS, J. M. *Cabo de alumínio nu sem alma*. 2017. Disponível em: <<http://judycabos.com.br/categoria-produto/condutores/aluminio-sem-alma/>>. Citado na página 29.

ENGINEERING, E. *Why are twisted pair cables used in electric power distribution systems?* - *Electrical Engineering Stack Exchange*. 2017. Disponível em: <<http://electronics.stackexchange.com/questions/110995/why-are-twisted-pair-cables-used-in-electric-power-distribution-systems/211611>>. Citado na página 80.

FADEL, A. A. Avaliação do Efeito de Tracionamento em Elevados Níveis de EDS Sobre a Resistência em Fadiga do Condutor IBIS (CAA 397,5 MCM). *Tese de Doutorado em Ciências Mecânicas, Publicação ENM.TD-005/2010, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF*, p. 185, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 79 e 80.

FAVORETTO, R. A. O. G. A. A. M. C. d. T. M. N. R. E. G. ESTUDOS, GESTÃO E IMPLANTAÇÃO DO PROJETO DE RECAPACITAÇÃO DA LT 230 kV COXIPÓ-NOBRS NO ESTADO DE MATO GROSSO. *SNPTEE*, 2013. ISSN 1098-6596. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

FONTES, L. C. A. D. A. A EVOLUÇÃO HISTÓRICA E TECNOLÓGICA. *UFBA*, 2005. Disponível em: <<http://www.topografia.ufba.br/evolucaotecnologicatop.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 57, 58 e 59.

FREIBERGER, J. et al. ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DO POSICIONAMENTO EM TEMPO REAL COM O EMPREGO DO GNRT. v. 9, n. 1, p. 147–148, 2003. Citado na página 59.

FUCHS, RUBENS DÁRIO, M. T. *Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão*. Edgard blu. São Paulo: [s.n.], 1982. Citado 2 vezes nas páginas 83 e 84.

GALIANO, D. B. et al. APLICAÇÃO DE UM CIRCUITO DUPLO EM 2 30 kV TRANSFORMÁVEL EM UM CIRCUITO SIMPLES DE 550 kV. *SNPTEE*, 1979. ISSN 1098-6596. Citado na página 26.

GEWEHR, O. P. TÉCNICAS DE RECAPACITAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO. *SNPTEE*, 1991. Citado na página 26.

GOIÁS, M. P. D. *Portal do Ministério Público do Estado de Goiás*. 2014. Disponível em: <<http://www.mpggo.mp.br/portal/noticia/mp-quer-suspender-instalacao-de-linha-de-transmissao-de-energia-na-regiao-sudoeste-de-goiania>>. Citado na página 66.

GOMES, A. M. D. M. B. *ELABORAÇÃO DE PEX E APR UTILIZANDO NUVENS DE PONTOS DE LIDAR*. [S.l.: s.n.], 2011. Citado 2 vezes nas páginas 62 e 63.

GRANATO, M. V.; VASCONCELLOS, L. P. D.; ALVES, T. V. B. *MAST - Teodolito*. 2010. Disponível em: <[http://www.mast.br/multimidia{\\\_}instrumentos/teodolito{\\\_}historic](http://www.mast.br/multimidia{\_}instrumentos/teodolito{\_}historic)>. Citado na página 57.

GRANDO, D. L.; LAND, V.; RHODEN, A. C. LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS – ESTAÇÃO TOTAL x GPS RTK. 2015. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 59.

HATASHITA, L. S. et al. REPOTENCIAÇÃO DA LT 69 kV RIO BRANCO DO SUL – TUNAS PARA 138 kV COM RETRACIONAMENTO DOS CABOS SINGELOS CAA 397.5 MCM (IBIS) PARA 23% DA EDS. *SNPTEE*, 2015. ISSN 1098-6596. Citado na página 26.

HOFFMANN, J. N.; LIMA, H. E. F. D. CUSTOS DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM PROJETOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO, EM FUNÇÃO DO CABO CONDUTOR, TEMPERATURA DE PROJETO E PERFIL DE TERRENO. *SNPTEE*, p. 158–81, 2003. Citado na página 74.

IACOVINO, P. V. et al. Caracterização Ambiental e Social de Linhas de Transmissão e Subestações. *SENDI*, 2010. Citado na página 61.

IBGE. Normas e Especificações para Levantamentos GPS. In: IV CONFEGE (Ed.). Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2006. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/confest{\\\_}e{\\\_}confege/pesquisa{\\\_}trabalhos/CD/oficinas/](http://www.ibge.gov.br/confest{\_}e{\_}confege/pesquisa{\_}trabalhos/CD/oficinas/)>. Citado na página 60.

- IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/>>. Citado na página 61.
- IEC 60.826. *Loading and Strength of Overhead Transmission Lines*. 2003. Citado na página 24.
- JINYUAN, Z. *ACAR Conductor Aluminum Conductor Alloy Reinforced\_JYTOP cable Made In China manufacturer,Factory Price*. 2016. Disponível em: <<http://www.abccable.net/ACAR-Conductor.html>>. Citado na página 29.
- JR, A. A. M. et al. AMPACIDADE ESTATÍSTICA DE CONDUTORES AÉREOS IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS TÉRMICOS CORRESPONDENTES À PRÁTICA ATUAL DE CARREGAMENTOS ELÉTRICOS. *SNPTEE*, 1991. Citado na página 43.
- JR., F. R. T. *A Review of the Design and Selection Criteria*. 2016. Disponível em: <<http://www.southwire.com/support/TransmissionConductoraReviewOfTheDesignandSelectionCriteria.htm>>. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- JR, O. R. et al. LINHAS DE TRANSMISSÃO ( GLT ) A Utilização de Condutores de Liga de Al Termo-resistente na Repotencialização de LT de Transmissão e Sub-transmissão. *SNPTEE*, 1999. Citado na página 27.
- JR., O. R. et al. CONSIDERAÇÕES E APLICAÇÕES DE LPNE. *SSIT*, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.
- JR., O. R.; DOMINGUES, L. A. M. C. AUMENTO DAS CAPACIDADES DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DE CONEXÃO DE PARQUES EÓLICOS ATRAVÉS DA CORRELAÇÃO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS, CORRENTES E TEMPERATURAS NOS CONDUTORES. *SNPTEE*, 2015. ISSN 1098-6596. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 37.
- JR, R. O.; MAIA, M. J. A.; NETO, A. P. LINHAS NÃO CONVENCIONAIS DE POTÊNCIA NATURAL ELEVADA (LPNE): ESTUDOS PARAMÉTRICOS PARA UTILIZAÇÃO EM 69 kV e 138 kV. *SNPTEE*, 1993. Citado na página 32.
- JUNIOR, A. E. B. et al. UTILIZAÇÃO DE CABOS DE ALUMÍNIO LIGA 6201 EM LINHAS DE TRANSMISSÃO 230 kV - CASOS PRÁTICOS. *SNPTEE*, 2005. Citado na página 74.
- JUNIOR, F. R. S. et al. SOBRE OS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS NO ENTORNO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO ANÁLISE CRÍTICA DE PROJETO. *Journal of Chemical Information and Modeling*, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2007. ISSN 1098-6596. Citado na página 34.
- JUNIOR, O. R.; CAVALCANTI, S. J. G.; WAVRIK, J. F. A. G. Recapacitação de Circuitos 230 kV com o conceito de Feixe Expandido. 1995. Citado na página 35.
- KERSTING, A. P. B.; MÜLLER, M.; HOFFMANN, J. N. RECAPACITAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO COM A UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIA DE MAPEAMENTO DIGITAL A LASER. *SNPTEE*, 2005. ISSN 1098-6596. Citado na página 63.
- LIMA, G. F. D. *Instalação Elétrica de Alta Tensão - Transmissão em Alta Tensão*. 2017. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/10203001/>>. Citado na página 28.
- LU, M.; PFRIMMER, G.; KIELOCH, Z. Upgrading an existing 138 kV transmission line in Manitoba. *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, p. 1–6, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 52 e 53.

LUNA, A. M. *Materiais de Engenharia Elétrica. Volume II*. [S.l.: s.n.], 1995. Citado na página 27.

LUNA, R.; NETO, A. P. VERIFICAÇÃO DA PERFORMANCE ESTRUTURAL DE TORRES METÁLICAS ANTIGAS. 1997. Citado na página 25.

MACHADO, R. D. A UTILIZAÇÃO DA CLIMATOLOGIA VIRTUAL CLIMATOLOGIA VIRTUAL NA ANÁLISE DE CARREGAMENTOS EM LINHAS DE NA ANÁLISE DE CARREGAMENTOS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO: UM ESTUDO DE CASO COMPARANDO DADOS TRANSMISSÃO: UM ESTUDO DE CASO COMPARANDO DADOS SIMULADOS CONTRA ME. *SNPTEE*, v. 1, 2013. ISSN 1098-6596. Citado na página 44.

MOREIRA, I. S. et al. REISOLAMENTOS E REFORMAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - A EXPERIÊNCIA DA COPEL. *SNPTEE*, 1999. Citado na página 26.

MUNDOGEO. *Nova Geração de Estações Totais*. 2001. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2001/02/01/nova-geracao-de-estacoes-totais/>>. Citado na página 58.

NASCIMENTO, C. A. M. et al. Aplicação de Tecnologias de Monitoramento em Tempo Real para Aumentar a Capacidade de Transmissão em LTs Aéreas. *Citenel*, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 40.

NASCIMENTO, C. A. M. D. et al. Desenvolvimento de Tecnologias para Controle e Monitoramento em Tempo Real da Capacidade de Transmissão em Linhas de Energia Elétrica. *VII SIMPASE*, 2007. Citado na página 40.

NASCIMENTO, C. A. M. D. et al. A EXPERIÊNCIA DA CEMIG NO USO DE CONDUTORES ESPECIAIS NAS FASES DE VIABILIDADE, PROJETO E CONSTRUÇÃO DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO. *SNPTEE*, 2009. ISSN 1098-6596. Citado na página 30.

NAZARÉ, F. V. B. D.; NAZARÉ, M. M. W. Development of a Monitoring System to Improve Ampacity in 138kV Transmission Lines Using Photonic Technology. *IEEE*, 2010. Citado na página 39.

NAZARÉ, F. V. B. de; WERNECK, M. M.; NETO, J. L. d. S. SENSOR HÍBRIDO DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA E CORRENTE PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO AÉREAS. *SNPTEE*, 2013. ISSN 1098-6596. Citado na página 39.

NETO, A. P. et al. Novos Métodos Para Aumento de Potência de LT até 230kV : Estudos , Projeto e Implantação Comercial. n. 081, p. 1–6, 1999. Citado na página 34.

NEXANS. Monitoring of transmission lines increases network security and offers additional capacities. *Report*, 2009. Citado na página 38.

OHIO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *Pages - VRS/RTK*. 2017. Disponível em: <<https://www.dot.state.oh.us/Divisions/Engineering/CaddMapping/Survey/Pages/VRSRTK-.aspx>>. Citado na página 60.

ONS. *Submódulo 2.4 Requisitos mínimos para linhas de transmissão aéreas*. [S.l.], 2005. Citado na página 70.

ONS. *CÁLCULO DA CAPACIDADE SAZONAL DE PROJETO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO A SEREM LICITADAS*. 2016. Citado 5 vezes nas páginas 21, 44, 45, 46 e 47.

PENNWELL. *Smart camera targets power-line droop - Vision Systems Design*. 2016. Disponível em: <<http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-8/issue-10/features/profile-in-vision-solutions/smart-camera-targets-power-line-droop.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 41.

PLS-CADD. *PLS-CADD Page, English Version*. 2017. Disponível em: <[https://www.powline.com/products/pls{\\\_}cadd.h](https://www.powline.com/products/pls{\_}cadd.h)>. Citado 5 vezes nas páginas 78, 90, 91, 97 e 103.

PORTO, F. D. E. D. U. D. *Tecnologias HTLS - Cabelte S.A.* 2017. Disponível em: <<http://nunotavares1989.wixsite.com/ee07133/tecnologias-htls>>. Citado 3 vezes nas páginas 29, 30 e 31.

PRODOTTI, D. A. *GAP-Type Conductors*. 2017. Disponível em: <<http://www.deangeliprodotti.com/en/content/gap-type-conductors>>. Citado na página 30.

PRODUCTS, T. *World Market Corporation*. 2014. Disponível em: <<http://www.wmc21.com/product/detail.html?no=48>>. Citado na página 38.

PRODUCTS, U. *New Products - Utility Products Magazine*. 2017. Disponível em: <<http://www.utilityproducts.com/articles/print/volume-8/issue-09/departments/new-products.html>>. Citado na página 81.

RAMOS, U. C. LAS TECNOLOGÍAS LIDAR, RADAR Y DE FOTOGRAFÍA AÉREA, UNA VENTANA AL FUTURO DEL DISEÑO EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN. *SNPTEE*, v. 1, n. 18, p. 1–9, 2013. ISSN 1098-6596. Citado na página 56.

RIBEIRO, M. G. *METODOLOGIA DE CALCULO DE CUSTOS EM LINHAS DE TRANSMISSAO NO BRASIL*. Tese (Doutorado), 2014. Citado na página 22.

Robson Celso Pires. *Componentes de Linhas de Transmissão*. 2009. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/10872063/>>. Citado na página 32.

SALAS, F. M. A. et al. CÁLCULO DA TEMPERATURA INTERNA E EXTERNA DE CABOS POR MEIO DE FILTROS DE PARTÍCULAS. *SNPTEE*, 2015. ISSN 1098-6596. Citado na página 48.

SEPPA, T. O. Increasing transmission capacity by real time monitoring. *Power Engineering Society Winter Meeting, 2002. IEEE. IEEE, 2002. p. 1208-1211.*, 2002. Citado na página 35.

SERVICE, E. *Troca de Cabos*. 2017. Disponível em: <<http://energyservice.comunidades.net/index.php>>. Citado na página 75.

SILVA, A. A. P. et al. NOVA TECNOLOGIA PARA EXPANSÃO DE CLEARANCES DE LINHAS DE TRANSMISSÃO. *SNPTEE*, 2013. Citado na página 42.

SILVA, A. A. P. D. *MODELAGEM PARA REPOTENCIALIZAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE CONDUTORES ESPECIAIS*. Tese (Doutorado), 2009. Citado 4 vezes nas páginas 32, 42, 43 e 44.

SILVA, A. d. O. e. et al. ESTUDO TÉCNICO-ECONÔMICO PARA AUMENTO DA CARGA DE TRAÇÃO DOS CABOS CONDUTORES DE LINHAS DE TRANSMISSÃO. *SNPTEE*, 2009. ISSN 1098-6596. Citado na página 80.

SILVA, D. C. D. Evolução da Fotogrametria no Brasil. *RBGeo - Universidade Tecnológica Federal do Paraná*, 2015. Citado na página 61.

SILVA, J. B. G. F. D. et al. APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS PROBABILÍSTICOS NO REAPROVEITAMENTO OU RECAPACITAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO. *SNPTEE*, 1989. Citado na página 27.

SILVA, R. D. O.; LACERDA, L. J. B.; LIMA, M. X. F. CRITÉRIOS DE PROJETO, ASPECTOS CONSTRUTIVOS E RESULTADOS OPERATIVOS OBTIDOS COM A EXPANSÃO DO FEIXE DE CONDUTORES (LPNE) DA LT 2x 230 kV BANABUIU / FORTALEZA. *SNPTEE*, 1997. Citado na página 33.

SILVA, R. L. da; NETO, A. P.; JÚNIOR, O. R. SUBSÍDIOS PARA ANÁLISE DE REMUNERAÇÃO DO INVESTIMENTO NOS PROJETOS DE RECAPACITAÇÃO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO. *SNPTEE*, 2003. ISSN 1098-6596. Citado na página 33.

SOLUTIONS, U. R.-T. A. *POWER DONUT® LINE MONITOR*. 2016. Disponível em: <<http://www.usi-power.com/power-donut-line-monitor/>>. Citado na página 37.

SUL, L. *LASER SUL*. 2011. Disponível em: <<http://www.lasersul.com>>. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 59.

SULZBERGER, G. *The Foundation Supports of Electric Lines Arian and Calculation*. [S.l.: s.n.], 1945. Citado na página 92.

UEDA, S. M. LIGA DE ALUMÍNIO TERMO-RESISTENTE. *SNPTEE*, 1995. Citado na página 29.

WHITE, J. E.; BEAULIEU, P. S.; ALBERTSON, R. *KCP&L Reconductors Energized 345-kV Line*. 2003. Disponível em: <<http://tdworld.com/archive/kcpl-reconductors-energized-345-kv-line>>. Citado na página 75.

WIEDMER, R. S. RECAPACITAÇÃO DE LINHA DE TRANSMISSÃO 230kV UTILIZANDO CABO TERMORRESISTENTE - TACSR. *SNPTEE*, 2005. ISSN 1098-6596. Citado 3 vezes nas páginas 27, 29 e 74.

WIEDMER, R. S. et al. RECAPACITAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO 138kV UTILIZANDO CABO DE ALUMINIO LIGA 6201. *SNPTEE*, 2007. ISSN 1098-6596. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.

ZHANG, J. et al. A Bayesian Approach for Short-Term Transmission Line Thermal Overload Risk Assessment. *IEEE*, 2002. Citado na página 47.

# Apêndices

# APÊNDICE A – Orçamento para Execução da Solução Tradicional - Caso 1

LT 230 kV Aquiraz / Fortaleza II - C1

Serviços de Construção da Recapitação da LT - Substituição de Estrutura

Orçamento de Referência - Data Base: 11/2016. Valores em Reais.

Código	Descrição	Unid	Qnt	Preço Unitário	Preço Total
01.	SERVIÇO BÁSICO				
01.01.	CANTEIRO DE OBRA				
01.01.09	MONTAGEM DE CANTEIRO	UND	1,00	311.839,43	311.839,43
01.01.10	ADMINISTRAÇÃO LOCAL DA CONTRATADA	MÊS	4,00	150.208,21	600.832,84
01.01.11	DESMONTAGEM DE CANTEIRO	UND	1,00	157.384,38	157.384,38
01.03.	TRANSPORTE DE MATERIAL				
01.03.05	TRANSPORTE DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	t x km	1.729,70	19,58	33.867,53
01.03.06	TRANSPORTE DE ESTRUTURA DE CONCRETO	t x km	3.182,34	19,58	62.310,22
01.03.11	TRANSPORTE DE FIO CONTRAPESO	t x km	56,84	19,58	1.112,93
01.03.13	TRANSPORTE DE CABOS PÁRA-RAIOS	t x km	3,17	19,58	62,07
01.03.15	TRANSPORTE DE ACESSÓRIOS DE CABOS PÁRA-RAIOS	t x km	9,17	19,58	179,55
01.03.16	TRANSPORTE DE FERRAGENS DE CABOS PÁRA-RAIOS	t x km	7,86	19,58	153,90
01.03.17	TRANSPORTE DE CABOS CONDUTORES	t x km	91,60	19,58	1.793,53
01.03.18	TRANSPORTE DE ISOLADORES DE CABOS CONDUTORES	t x km	99,26	19,58	1.943,51
01.03.19	TRANSPORTE DE ACESSÓRIOS DE CABOS CONDUTORES	t x km	19,05	19,58	373,00
01.03.20	TRANSPORTE DE FERRAGENS DE CABOS CONDUTORES	t x km	19,03	19,58	372,61
01.03.21	TRANSPORTE DE MATERIAIS DIVERSOS	t x km	2,49	19,58	48,75
01.04.	CARGA OU DESCARGA DE MATERIAL				
01.04.05	CARGA OU DESCARGA DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	t	139,49	173,54	24.207,09
01.04.06	CARGA OU DESCARGA DE ESTRUTURA DE CONCRETO	t	256,64	15,74	4.039,51
01.04.11	CARGA OU DESCARGA DE FIO CONTRAPESO	t	4,58	173,54	794,81
01.04.13	CARGA OU DESCARGA DE CABOS PÁRA-RAIOS	t	0,26	47,36	12,31
01.04.15	CARGA OU DESCARGA DE ACESSÓRIOS DE CABO PÁRA-RAIOS	t	0,74	173,54	128,42
01.04.16	CARGA OU DESCARGA DE FERRAGENS DE CABO PÁRA-RAIOS	t	0,63	173,54	109,33
01.04.17	CARGA OU DESCARGA DE CABOS CONDUTORES	t	7,39	25,39	187,63
01.04.18	CARGA OU DESCARGA DE ISOLADORES DE CABOS CONDUTORES	t	8,00	96,93	775,44
01.04.19	CARGA OU DESCARGA DE ACESSÓRIOS DE CABOS CONDUTORES	t	1,54	173,54	267,25

01.04.20	CARGA OU DESCARGA DE FERRAGENS DE CABOS CONDUTORES	t	1,54	173,54	267,25
01.04.21	CARGA OU DESCARGA DE MATERIAIS DIVERSOS	t	0,20	173,54	34,71
01.05.	SERVIÇO TOPOGRÁFICO				
01.05.03	CONFERÊNCIA TOPOGRÁFICA	km	12,29	1.920,52	23.603,19
01.05.05	LOCAÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	UND	16,00	496,22	7.939,52
01.05.09	LOCAÇÃO DE CAVAS DE FUNDAÇÃO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	UND	64,00	176,49	11.295,36
01.06.	ESTRADA DE ACESSO				
01.06.02	RECUPERAÇÃO DE ESTRADA DE ACESSO	km	0,57	2.267,14	1.292,27
01.06.06	CONSTRUÇÃO DE PASSAGEM EM PEDRA REJUNTADA	m <sup>3</sup>	66,00	470,75	31.069,50
01.06.09	CONSTRUÇÃO DE PORTEIRA	UND	1,00	2.046,62	2.046,62
01.06.10	CONSTRUÇÃO DE COLCHETE	m	5,00	215,72	1.078,60
01.06.24	ABERTURA DE ACESSO TIPO ENRONCAMENTO	m <sup>3</sup>	285	933,29	265.987,65
01.07.	ABERTURA E LIMPEZA DE FAIXA				
01.07.02	SUPRESSÃO DE VEGETAÇÃO NÃO SELETIVA	ha	11,50	5.416,32	62.287,68
01.11.	ESCAVAÇÃO PARA FUNDAÇÃO METÁLICA / CONCRETO				
01.11.02	EM SOLO TERRENO FIRME CATEGORIA "A"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	316,00	143,42	45.320,72
01.11.08	EM ROCHA MANUAL E/OU MECÂNICA CATEGORIA "B"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	1,00	743,11	743,11
01.11.11	EM ROCHA COM EXPLOSIVO CATEGORIA "C"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	68,00	1480,27	100.658,36
01.11.14	EM TUBULÃO CATEGORIA "A"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	34,12	468,24	15.976,35
01.11.17	EM TUBULÃO CATEGORIA "D"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	5,00	1.517,84	7.589,20
01.11.56	EM TUBULÃO RETO CATEGORIA "A",EM ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	1,00	351,14	351,14
01.11.57	EM TUBULÃO RETO CATEGORIA "B",EM ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	2,00	863,75	1.727,50
01.17.	INSTALAÇÃO DE FUNDAÇÃO EM CONCRETO				
01.17.04	INSTALAÇÃO DE STUB ESTRUTURA METÁLICA AUTO-PORTANTE	t	1,70	11.487,73	19.529,14
01.19.	PINTURA ANTICORROSIVA EM FUNDAÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA				
01.19.05	PINTURA ANTICORROSIVA EM STUB NA ZONA DE TRANSIÇÃO CONCRETO-ATMOSFERA ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>2</sup>	16,00	606,27	9.700,32
01.20.	APLICAÇÃO DE CONCRETO				
01.20.02	CONCRETO MAGRO (FCK 90 kg/cm <sup>2</sup> ) ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	7,00	2.062,34	14.436,38
01.20.30	CONCRETO ARMADO COM FORMA IN LOCO (FCK 200 kgf/cm <sup>2</sup> ) ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	77,09	2.820,48	217.430,80
01.20.31	CONCRETO ARMADO SEM FORMA IN-LOCO (FCK 200 kgf/cm <sup>2</sup> ) ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	45,45	2.275,12	103.404,20
01.21.	REATERRO				
01.21.05	SOLO NATIVO ESTRUTURA METÁLICA AUTO-PORTANTE	m <sup>3</sup>	188,00	219,35	41.237,80

01.21.08	SOLO LOCAL ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	110,00	254,51	27.996,10
01.21.23	SOLO IMPORTADO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup> xkm	31,00	294,63	9.133,53
01.27.	MONTAGEM DE ESTRUTURA				
01.27.02	MONTAGEM DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	t	69,75	9.499,56	662.546,81
01.28.	DESMONTAGEM DE ESTRUTURA				
01.28.03	DESMONTAGEM DE ESTRUTURA DE CONCRETO	t	320,00	602,15	192.688,00
01.29.	INSTALAÇÃO DE PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA				
01.29.02	INSTALAÇÃO DE PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	UND	16,00	236,20	3.779,20
01.32.	SISTEMA DE ATERRAMENTO				
01.32.03	INSTALAÇÃO DE FIO (CABO) DE ATERRAMENTO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m	5.376,00	46,74	251.274,24
01.32.56	ATERRAMENTO DE CERCA	UND	6,00	369,12	2.214,72
01.32.57	SECCIONAMENTO DE CERCA	UND	105,00	84,57	8.879,85
01.33.	INSTALAÇÃO DE CABOS PÁRA-RAIOS				
01.33.40	TRANSFERÊNCIA DE DOIS CABOS PÁRA-RAIOS ENTRE ESTRUTURAS DE SUSPENSÃO SEM INSERÇÃO OU RETIRADA DE CABO - RECAPACITAÇÃO	UND	14,00	25.738,69	360.341,66
01.33.89	TRANSFERÊNCIA DE DOIS CABOS PÁRA-RAIOS ENTRE ESTRUTURAS DE SUSPENSÃO COM INSERÇÃO OU RETIRADA DE CABO - RECAPACITAÇÃO	UND	2,00	29.392,46	58.784,92
01.35.	INSTALAÇÃO DE CABO CONDUTOR - CIRCUITO SIMPLES				
01.35.45	TRANSFERÊNCIA DE 1 CIRCUITO COM 1 CABO CONDUTOR POR FASE EM ESTRUTURA DE SUSPENSÃO SEM INSERÇÃO OU RETIRADA DE CABOS - RECAPACITAÇÃO	UND	14,00	36.990,86	517.872,04
01.35.97	TRANSFERÊNCIA DE 1 CIRCUITO COM 1 CABO CONDUTOR POR FASE EM ESTRUTURA DE SUSPENSÃO COM INSERÇÃO OU RETIRADA DE CABOS - RECAPACITAÇÃO	UND	2,00	37.475,78	74.951,56
01.40.	INSTALAÇÃO DE PLACA DE SINALIZAÇÃO				
01.40.01	PLACA DE ADVERTÊNCIA PARA PEDESTRE	UND	4,00	115,80	463,20
01.40.04	PLACA DE IDENTIFICAÇÃO DE LINHA DE TRANSMISSÃO	UND	2,00	115,80	231,60
01.48.	SERVIÇO DE DRENAGEM E PROTEÇÃO CONTRA EROSÃO				
01.48.01	PLANTIO DE VEGETAÇÃO CONTRA EROSÃO NA FAIXA DE PASSAGEM	m <sup>2</sup>	825,00	180,06	148.549,50
05. .	FORNECIMENTO DE MATERIAL				
05.47.	FORNECIMENTO DE PLACA E MATERIAL DE SINALIZAÇÃO				
05.47.01	PLACA DE IDENTIFICAÇÃO DE LINHA DE TRANSMISSÃO EM ALUMÍNIO ANODIZADO OU FIBERGLASS	UND	2,00	91,08	182,16
05.47.03	PLACA DE ADVERTÊNCIA PARA PEDESTRE EM ALUMÍNIO ANODIZADO OU FIBERGLASS	UND	4,00	97,02	388,08

05.47.06	PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA EM ALUMÍNIO ANODIZADO OU FIBERGLASS PARA ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	UND	16,00	284,98	4.559,68
<b>TOTAL</b>					<b>4.512.640,27</b>

# APÊNDICE B – Orçamento para Execução da Nova Solução do Caso 1

LT 230 kV Aquiraz / Fortaleza II - C1

Serviços de Construção da Recapitação da LT - Relocação de Estrutura

Orçamento de Referência - Data Base: 11/2016. Valores em Reais.

Código	Descrição	Unid	Qnt	Preço Unitário	Preço Total
01.	SERVIÇO BÁSICO				
01.01.	CANTEIRO DE OBRA				
01.01.09	MONTAGEM DE CANTEIRO	UND	1,00	193.186,73	193.186,73
01.01.10	ADMINISTRAÇÃO LOCAL DA CONTRATADA	MÊS	4,00	140.963,63	563.854,52
01.01.11	DESMONTAGEM DE CANTEIRO	UND	1,00	100.719,37	100.719,37
01.03.	TRANSPORTE DE MATERIAL				
01.03.18	TRANSPORTE DE ISOLADORES DE CABOS CONDUTORES	t x km	5,10	164,57	839,30
01.03.19	TRANSPORTE DE ACESSÓRIOS DE CABOS CONDUTORES	t x km	0,51	164,57	83,93
01.03.20	TRANSPORTE DE FERRAGENS DE CABOS CONDUTORES	t x km	3,06	164,57	503,58
01.03.21	TRANSPORTE DE MATERIAIS DIVERSOS	t x km	0,51	164,57	83,93
01.04.	CARGA OU DESCARGA DE MATERIAL				
01.04.18	CARGA OU DESCARGA DE ISOLADORES DE CABOS CONDUTORES	t	1,02	96,93	98,86
01.04.19	CARGA OU DESCARGA DE ACESSÓRIOS DE CABOS CONDUTORES	t	0,10	173,54	17,70
01.04.20	CARGA OU DESCARGA DE FERRAGENS DE CABOS CONDUTORES	t	0,61	173,54	106,20
01.04.21	CARGA OU DESCARGA DE MATERIAIS DIVERSOS	t	0,10	173,54	17,70
01.05.	SERVIÇO TOPOGRÁFICO				
01.05.03	CONFERÊNCIA TOPOGRÁFICA	km	12,29	1.920,52	23.603,19
01.05.06	LOCAÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO	UND	17,00	496,22	8.435,74
01.05.10	LOCAÇÃO DE CAVAS DE FUNDAÇÃO ESTRUTURA DE CONCRETO	UND	34,00	157,75	5.363,50
01.06.	ESTRADA DE ACESSO				
01.06.01	ABERTURA DE ESTRADA DE ACESSO	km	1,00	5.771,32	5.771,32
01.06.02	RECUPERAÇÃO DE ESTRADA DE ACESSO	km	0,57	1.881,16	1.072,26
01.06.06	CONSTRUÇÃO DE PASSAGEM EM PEDRA REJUNTADA	m <sup>3</sup>	20,00	630,91	12.618,20
01.06.09	CONSTRUÇÃO DE PORTEIRA	UND	1,00	1.186,01	1.186,01
01.06.10	CONSTRUÇÃO DE COLCHETES	m	5,00	275,38	1.376,90
01.06.20	INSTALAÇÃO DE PORTEIRA	UND	1,00	718,47	718,47
01.07.	ABERTURA E LIMPEZA DE FAIXA				
01.07.02	SUPRESSÃO DE VEGETAÇÃO NÃO SELETIVA	ha	1,15	5.668,89	6.519,22
01.10.	ATERRO				
01.10.03	ATERRO EM ÁREA ALAGADA ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	120,00	107,06	12.847,20

01.11.	ESCAVAÇÃO PARA FUNDAÇÃO METÁLICA / CONCRETO				
01.11.03	ESCAVAÇÃO EM SOLO TERRENO FIRME CATEGORIA "A"ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	325,79	143,60	46.783,77
01.11.06	ESCAVAÇÃO EM SOLO TERRENO ALAGADIÇO CATEGORIA "D"ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	4,65	1.268,97	5.903,98
01.11.09	ESCAVAÇÃO EM ROCHA MANUAL E/OU MECÂNICA CATEGORIA "B"ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	2,79	717,93	2.004,13
01.11.12	ESCAVAÇÃO EM ROCHA COM EXPLOSIVO CATEGORIA "C"ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	65,14	1.557,78	101.467,76
01.20.	APLICAÇÃO DE CONCRETO				
01.20.03	CONCRETO MAGRO (FCK 90 kg/cm <sup>2</sup> ) ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	2,52	1.734,45	4.370,81
01.20.12	CONCRETO ARMADO COM FORMA IN LOCO (FCK 200 kg/cm <sup>2</sup> ) ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	210,56	2.582,77	543.828,05
01.21.	REATERRO				
01.21.06	REATERRO SOLO NATIVO ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	161,38	209,20	33.759,84
01.21.09	REATERRO SOLO LOCAL ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	94,42	238,10	22.481,89
01.21.24	REATERRO SOLO IMPORTADO ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup> xkm	26,61	282,98	7.530,05
01.27.	MONTAGEM DE ESTRUTURA				
01.27.80	TRANSFERÊNCIA DE UMA ESTRUTURA DE SUSPENSÃO AUTOPORTANTE DE CONCRETO, DESLOCAMENTO ATÉ 30 METROS (recapacitação)	UND	17,00	36.146,34	614.487,78
01.29.	INSTALAÇÃO DE PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA				
01.29.03	INSTALAÇÃO DE PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO	UND	17,00	87,66	1.490,22
01.32.	SISTEMA DE ATERRAMENTO				
01.32.04	INSTALAÇÃO DE FIO DE ATERRAMENTO - ESTRUTURA DE CONCRETO	m	2.720,00	46,91	127.595,20
01.32.56	ATERRAMENTO DE CERCA	UND	6,00	327,53	1.965,18
01.32.57	SECCIONAMENTO DE CERCA	UND	192,00	67,87	13.031,04
01.35.	INSTALAÇÃO DE CABO CONDUTOR - CIRCUITO SIMPLES				
01.35.24	CRUZAMENTO COM LT 500 KV ENERGIZADA	UND	1,00	13.168,74	13.168,74
01.35.34	CRUZAMENTO COM RODOVIA FEDERAL	UND	1,00	8.283,61	8.283,61
01.35.35	CRUZAMENTO COM RODOVIA ESTADUAL	UND	1,00	8.283,61	8.283,61
01.35.36	CRUZAMENTO COM RODOVIA MUNICIPAL	UND	1,00	8.283,61	8.283,61
01.35.60	TRANSFERÊNCIA DE UM CIRCUITO DE CABOS CONDUTORES E PARARAIS EM ESTRUTURA DE SUSPENSÃO (recapacitação)	UND	17,00	21.696,15	368.834,55
01.35.85	INSTALAÇÃO DE AMORTECEDORES PARA CABO CONDUTOR	t	0,61	20.075,91	12.286,45
01.40.	INSTALAÇÃO DE PLACA DE SINALIZAÇÃO				
01.40.01	INSTALAÇÃO DE PLACA DE ADVERTÊNCIA PARA PEDESTRE	UND	6,00	115,80	694,80
01.40.04	INSTALAÇÃO DE PLACA DE IDENTIFICAÇÃO DE LINHA DE TRANSMISSÃO	UND	2,00	115,80	231,60
01.50.	CADEIA DE ISOLADORES				

01.50.29	SUBSTITUIÇÃO DE CADEIA DE ISOLADORES DE VIDRO POR POLIMÉRICOS, TIPO GARFO-BOLA, EM ESTRUTURA DE CONCRETO DE SUSPENSÃO	UND	51,00	1.396,91	71.242,41
05.47.	FORNECIMENTO DE PLACA E MATERIAL DE SINALIZAÇÃO				
05.47.03	FORNECIMENTO DE PLACA DE ADVERTÊNCIA PARA PEDESTRE EM ALUMÍNIO ANODIZADO OU FIBER-GLASS	UND	4,00	97,02	388,08
05.47.07	FORNECIMENTO DE PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA EM ALUMÍNIO ANODIZADO OU FIBER-GLASS PARA ESTRUTURA DE CONCRETO	UND	17,00	284,98	4.844,66
<b>TOTAL</b>					<b>2.962.265,65</b>

# APÊNDICE C – Orçamento para Execução da Solução Tradicional do Caso 2

LT 230 kV Camaçari II / Cotegipe - C1

Serviços de Construção da Recapacitação da LT - Substituição de Estrutura

Orçamento de Referência - Data Base: 11/2016. Valores em Reais.

Código	Descrição	Unid	Qnt	Preço Unitário	Preço Total
01.	SERVIÇO BÁSICO				
01.01.	CANTEIRO DE OBRA				
01.01.09	MONTAGEM DE CANTEIRO	UND	1,00	309.172,14	309.172,14
01.01.10	ADMINISTRAÇÃO LOCAL DA CONTRATADA	MÊS	5,00	167.182,93	835.914,65
01.01.11	DESMONTAGEM DE CANTEIRO	UND	1,00	155.717,67	155.717,67
01.03.	TRANSPORTE DE MATERIAL				
01.03.05	TRANSPORTE DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	t x km	950,00	20,11	19.104,50
01.03.06	TRANSPORTE DE ESTRUTURA DE CONCRETO	t x km	3.150,00	20,11	63.346,50
01.03.18	TRANSPORTE DE ISOLADORES DE CABOS CONDUTORES	t x km	338,50	20,11	6.807,24
01.03.19	TRANSPORTE DE ACESSÓRIOS DE CABOS CONDUTORES	t x km	34,00	20,11	683,74
01.03.20	TRANSPORTE DE FERRAGENS DE CABOS CONDUTORES	t x km	152,00	20,11	3.056,72
01.03.21	TRANSPORTE DE MATERIAIS DIVERSOS	t x km	580,00	20,11	11.663,80
01.04.	CARGA OU DESCARGA DE MATERIAL				
01.04.02	CARGA OU DESCARGA DE MATERIAL DE FUNDAÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	t	3,60	145,74	524,66
01.04.05	CARGA OU DESCARGA DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	t	190,00	145,74	27.690,60
01.04.06	CARGA OU DESCARGA DE ESTRUTURA DE CONCRETO	t	630,00	13,17	8.297,10
01.04.11	CARGA OU DESCARGA DE FIO CONTRAPESO	t	1,20	145,74	174,89
01.04.13	CARGA OU DESCARGA DE CABOS PÁRA-RAIOS	t	66,00	39,70	2.620,20
01.04.15	CARGA OU DESCARGA DE ACESSÓRIOS DE CABO PÁRA-RAIOS	t	1,60	145,74	233,18
01.04.16	CARGA OU DESCARGA DE FERRAGENS DE CABO PÁRA-RAIOS	t	11,00	145,74	1.603,14
01.04.17	CARGA OU DESCARGA DE CABOS CONDUTORES	t	24,60	21,35	525,21
01.04.18	CARGA OU DESCARGA DE ISOLADORES DE CABOS CONDUTORES	t	67,70	85,94	5.818,14
01.04.19	CARGA OU DESCARGA DE ACESSÓRIOS DE CABOS CONDUTORES	t	6,80	145,74	991,03
01.04.20	CARGA OU DESCARGA DE FERRAGENS DE CABOS CONDUTORES	t	30,40	145,74	4.430,50
01.04.21	CARGA OU DESCARGA DE MATERIAIS DIVERSOS	t	8,00	145,74	1.165,92
01.05.	SERVIÇO TOPOGRÁFICO				

01.05.03	CONFERÊNCIA TOPOGRÁFICA	km	22,58	2.198,79	49.648,68
01.05.05	LOCAÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	UND	16,00	576,00	9.216,00
01.05.09	LOCAÇÃO DE CAVAS DE FUNDAÇÃO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	UND	64,00	204,35	13.078,40
01.06.	ESTRADA DE ACESSO				
01.06.02	RECUPERAÇÃO DE ESTRADA DE ACESSO	km	1,00	1.917,04	1.917,04
01.06.03	CONSTRUÇÃO DE BUEIRO SIMPLES	UND	1,00	6.759,13	6.759,13
01.06.06	CONSTRUÇÃO DE PASSAGEM EM PEDRA REJUNTADA	m <sup>3</sup>	10,00	455,37	4.553,70
01.07.	ABERTURA E LIMPEZA DE FAIXA				
01.07.02	SUPRESSÃO DE VEGETAÇÃO NÃO SELETIVA	ha	12,09	4.571,92	55.274,51
01.08.	REMANEJAMENTO DE LT E LD				
01.08.01	LD 13,8 KV - CS/CD - MONTAGEM DE ESTRUTURA	t	2,00	2.044,09	4.088,18
01.08.02	LD 13,8 KV - CS/CD - DESMONTAGEM DE ESTRUTURA	t	2,00	1.788,57	3.577,14
01.08.03	LD 13,8 KV - CS/CD - MONTAGEM DE CABO	t	0,39	1.465,47	571,53
01.08.04	LD 13,8 KV - CS/CD - DESMONTAGEM DE CABO	t	0,39	1.318,86	514,36
01.09.	ESTUDO GEOTÉCNICO				
01.09.01	SONDAGEM A PERCUSSÃO	m	10,00	275,33	2.753,30
01.11.	ESCAVAÇÃO PARA FUNDAÇÃO METÁLICA / CONCRETO				
01.11.02	EM SOLO TERRENO FIRME CATEGORIA "A"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	120,00	135,93	16.311,60
01.11.05	EM SOLO TERRENO ALAGADIÇO CATEGORIA "D"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	145,00	1.417,68	205.563,60
01.11.08	EM ROCHA MANUAL E/OU MECÂNICA CATEGORIA "B"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	50,00	725,57	36.278,50
01.11.11	EM ROCHA COM EXPLOSIVO CATEGORIA "C"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	10,00	1.392,92	13.929,20
01.11.14	EM TUBULÃO CATEGORIA "A"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	70,00	432,83	30.298,10
01.11.20	EM TUBULÃO CATEGORIA "B"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	20,00	827,44	16.548,80
01.11.23	EM TUBULÃO CATEGORIA "C"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	5,00	1.767,16	8.835,80
01.13.	EXECUÇÃO DE ESTACA				
01.13.03	CRAVADA ESTRUTURA DE CONCRETO	m	80,00	153,74	12.299,20
01.15.	REGENERAÇÃO DE FUNDO DE CAVA				
01.15.46	SOLO-CIMENTO LOCAL ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	2,00	450,84	901,68
01.15.61	SOLO-CIMENTO IMPORTADO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup> xkm	10,00	531,09	5.310,90
01.15.95	BRITA E AREIA ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	2,00	188,95	377,90
01.15.98	AREIA ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	2,00	168,42	336,84
01.17.	INSTALAÇÃO DE FUNDAÇÃO EM CONCRETO				
01.17.04	INSTALAÇÃO DE STUB ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	t	1,80	9.853,71	17.736,68
01.19.	PINTURA ANTICORROSIVA EM FUNDAÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA				
01.19.05	PINTURA ANTICORROSIVA EM STUB NA ZONA DE TRANSIÇÃO CONCRETO-ATMOSFERA ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>2</sup>	15,00	527,61	7.914,15

01.20.	APLICAÇÃO DE CONCRETO					
01.20.02	CONCRETO MAGRO (FCK 90 kg/cm <sup>2</sup> ) ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	8,00	2.070,71		16.565,68
01.20.30	CONCRETO ARMADO COM FORMA IN LOCO (FCK 200 kgf/cm <sup>2</sup> ) ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	90,00	2.861,31		257.517,90
01.20.31	CONCRETO ARMADO SEM FORMA IN-LOCO (FCK 200 kgf/cm <sup>2</sup> ) ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	80,00	2.322,02		185.761,60
01.21.	REATERRO					
01.21.05	SOLO NATIVO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	150,00	217,62		32.643,00
01.21.08	SOLO LOCAL ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	80,00	254,04		20.323,20
01.21.23	SOLO IMPORTADO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup> xkm	60,00	294,13		17.647,80
01.21.46	SOLO-CIMENTO LOCAL ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	2,00	433,96		867,92
01.21.61	SOLO-CIMENTO IMPORTADO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup> xkm	10,00	571,17		5.711,70
01.21.95	BRITA E AREIA ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	2,00	194,51		389,02
01.21.98	AREIA ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	2,00	168,42		336,84
01.23.	BANQUETA DE PROTEÇÃO DA FUNDAÇÃO					
01.23.02	SOLO NATIVO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	10,00	202,59		2.025,90
01.23.05	SOLO LOCAL ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	10,00	254,04		2.540,40
01.23.20	SOLO IMPORTADO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup> xkm	20,00	294,13		5.882,60
01.23.43	SOLO-CIMENTO LOCAL ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	10,00	450,84		4.508,40
01.23.58	SOLO-CIMENTO IMPORTADO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup> xkm	20,00	531,09		10.621,80
01.24.	MURO DE ARRIMO PARA PROTEÇÃO DE FUNDAÇÃO					
01.24.08	EM PEDRA REJUNTADA ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	30,00	2.904,50		87.135,00
01.26.	PROTEÇÃO CONTRA EROSÃO NA PRAÇA DA ESTRUTURA					
01.26.05	REVESTIMENTO COM SOLO-CIMENTO NATIVO - ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	100,00	419,02		41.902,00
01.27.	MONTAGEM DE ESTRUTURA					
01.27.02	MONTAGEM DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE - RECAPITAÇÃO	t	80,00	13.487,31		1.078.984,80
01.27.58	SUBSTITUIÇÃO DE PEÇA AVULSA DE ESTRUTURA METÁLICA	t	1,00	8.045,83		8.045,83
01.27.65	SUBSTITUIÇÃO DE PARAFUSOS, PORCAS, ARRUELAS E PALNUTS DE ESTRUTURA METÁLICA	t	0,30	32.183,40		9.655,02
01.27.73	CONFECÇÃO DE PEÇAS AVULSAS DE ESTRUTURA METÁLICA	t	1,00	16.889,37		16.889,37
01.27.74	MONTAGEM DAS PEÇAS METÁLICAS DO CAPACETE PARA FIXAÇÃO DO CABO PÁRA-RAIOS EM ESTRUTURA DE CONCRETO	t	1,64	8.403,04		13.780,99

01.28.	DESMONTAGEM DE ESTRUTURA				
01.28.02	DESMONTAGEM DE ESTRUTURA METÁLICA AUTO-PORTANTE	t	15,00	2.685,08	40.276,20
01.28.03	DESMONTAGEM DE ESTRUTURA DE CONCRETO	t	315,00	530,88	167.227,20
01.29.	INSTALAÇÃO DE PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA				
01.29.02	INSTALAÇÃO DE PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	UND	16,00	274,45	4.391,20
01.32.	SISTEMA DE ATERRAMENTO				
01.32.03	INSTALAÇÃO DE FIO (CABO) DE ATERRAMENTO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m	2.560,00	43,19	110.566,40
01.32.56	ATERRAMENTO DE CERCA	UND	50,00	374,19	18.709,50
01.32.57	SECCIONAMENTO DE CERCA	UND	500,00	77,48	38.740,00
01.35.	INSTALAÇÃO DE CABO CONDUTOR - CIRCUITO SIMPLES				
01.35.09	INSTALAÇÃO DE CABO CONDUTOR - CIRCUITO SIMPLES - 1 CABO FLINT POR FASE	km	1,00	81.534,91	81.534,91
01.35.45	TRANSFERÊNCIA DE 1 CIRCUITO COM 1 CABO CONDUTOR POR FASE EM ESTRUTURA DE SUSPENSÃO SEM INSERÇÃO OU RETIRADA DE CABOS - RECAPACITAÇÃO	UND	16,00	36.990,86	591.853,76
01.35.97	TRANSFERÊNCIA DE 1 CIRCUITO COM 1 CABO CONDUTOR POR FASE EM ESTRUTURA DE SUSPENSÃO COM INSERÇÃO OU RETIRADA DE CABOS - RECAPACITAÇÃO	UND	4,00	37.475,78	149.903,12
01.35.83	TRANSFERÊNCIA DE 01 (UM) CIRCUITO SIMPLES HORIZONTAL COM 01 (UM) CABO CONDUTOR POR FASE ENTRE ESTRUTURAS - RECAPACITAÇÃO	UND	16,00	28.355,81	453.692,96
01.35.85	INSTALAÇÃO DE AMORTECEDORES PARA CABO CONDUTOR	t	1,00	11.657,06	11.657,06
01.35.86	INSTALAÇÃO DE JUMPER	UND	3,00	2.062,82	6.188,46
01.37.	DESMONTAGEM DE CABO CONDUTOR - CIRCUITO SIMPLES				
01.37.01	1 CABO POR FASE	km	2,14	2.177,15	4.659,10
01.40.	INSTALAÇÃO DE PLACA DE SINALIZAÇÃO				
01.40.01	PLACA DE ADVERTÊNCIA PARA PEDESTRE	UND	16,00	133,10	2.129,60
01.48.	SERVIÇO DE DRENAGEM E PROTEÇÃO CONTRA EROSÃO				
01.48.01	PLANTIO DE VEGETAÇÃO CONTRA EROSÃO NA FAIXA DE PASSAGEM	m <sup>2</sup>	200,00	163,62	32.724,00
01.48.04	CONSTRUÇÃO DE CANALETA DE DRENAGEM COM DISSIPADORES EM CONCRETO PRE-MOLDADO OU MOLDADO IN LOCO PARA PROTEÇÃO DA FAIXA DE PASSAGEM	m	40,00	327,53	13.101,20
01.48.06	CONSTRUÇÃO DE SARJETA DE DRENAGEM COM DISSIPADORES EM CONCRETO PRE-MOLDADO OU MOLDADO IN LOCO	m	10,00	90,82	908,20
01.48.07	CONSTRUÇÃO DE CAIXA COLETORA EM ALVENARIA E CONCRETO MAGRO PARA DESVIO DE FLUXO DE ÁGUA	UND	2,00	590,07	1.180,14
01.50.	CADEIA DE ISOLADORES				

01.50.38	SUBSTITUIÇÃO DE CADEIA DE SUSPENSÃO DE ISOLADORES POLIMÉRICOS, TIPO CONCHA-BOLA, POR POLIMÉRICOS, TIPO ELO-BOLA, EM ESTRUTURA DE CONCRETO	UND	63,00	528,05	33.267,15
05.	FORNECIMENTO DE MATERIAL				
05.47.	FORNECIMENTO DE PLACA E MATERIAL DE SINALIZAÇÃO				
05.47.03	PLACA DE ADVERTÊNCIA PARA PEDESTRE EM ALUMÍNIO ANODIZADO OU FIBERGLASS	UND	16,00	97,02	1.552,32
05.47.06	PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA EM ALUMÍNIO ANODIZADO OU FIBERGLASS PARA ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	UND	16,00	97,02	1.552,32
<b>TOTAL</b>					<b>5.569.688,01</b>

# APÊNDICE D – Orçamento para Execução da Nova Solução do Caso 2

LT 230 kV Camaçari II / Cotegipe - C1

Serviços de Construção da Recapacitação da LT - Relocação de Estrutura

Orçamento de Referência - Data Base: 11/2016. Valores em Reais.

Código	Descrição	Unid	Qnt	Preço Unitário	Preço Total
01.	SERVIÇO BÁSICO				
01.01.	CANTEIRO DE OBRA				
01.01.09	MONTAGEM DE CANTEIRO	UND	1,00	198.943,12	198.943,12
01.01.10	ADMINISTRAÇÃO LOCAL DA CONTRATADA	MÊS	5,00	155.196,43	775.982,15
01.01.11	DESMONTAGEM DE CANTEIRO	UND	1,00	96.325,56	96.325,56
01.03.	TRANSPORTE DE MATERIAL				
01.03.05	TRANSPORTE DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	t x km	200,00	11,82	2.364,00
01.03.06	TRANSPORTE DE ESTRUTURA DE CONCRETO	t x km	787,50	11,82	9.308,25
01.03.18	TRANSPORTE DE ISOLADORES DE CABOS CONDUTORES	t x km	5,70	11,82	67,37
01.03.19	TRANSPORTE DE ACESSÓRIOS DE CABOS CONDUTORES	t x km	0,57	11,82	6,74
01.03.20	TRANSPORTE DE FERRAGENS DE CABOS CONDUTORES	t x km	3,42	11,82	40,42
01.03.21	TRANSPORTE DE MATERIAIS DIVERSOS	t x km	0,57	11,82	6,74
01.04.	CARGA OU DESCARGA DE MATERIAL				
01.04.05	CARGA OU DESCARGA DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	t	40,00	145,74	5.829,60
01.04.06	CARGA OU DESCARGA DE ESTRUTURA DE CONCRETO	t	157,50	13,17	2.074,28
01.04.18	CARGA OU DESCARGA DE ISOLADORES DE CABOS CONDUTORES	t	1,14	85,94	97,97
01.04.19	CARGA OU DESCARGA DE ACESSÓRIOS DE CABOS CONDUTORES	t	0,11	145,74	16,61
01.04.20	CARGA OU DESCARGA DE FERRAGENS DE CABOS CONDUTORES	t	0,68	145,74	99,69
01.04.21	CARGA OU DESCARGA DE MATERIAIS DIVERSOS	t	0,11	145,74	16,61
01.05.	SERVIÇO TOPOGRÁFICO				
01.05.03	CONFERÊNCIA TOPOGRÁFICA	km	22,58	2.198,79	49.648,68
01.05.05	LOCAÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	UND	4,00	576,00	2.304,00
01.05.06	LOCAÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO	UND	16,00	571,76	9.148,16
01.05.09	LOCAÇÃO DE CAVAS DE FUNDAÇÃO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	UND	16,00	204,35	3.269,60
01.05.10	LOCAÇÃO DE CAVAS DE FUNDAÇÃO ESTRUTURA DE CONCRETO	UND	32,00	181,93	5.821,76
01.06.	ESTRADA DE ACESSO				

01.06.01	ABERTURA DE ESTRADA DE ACESSO	km	1,00	5.268,58	5.268,58
01.06.02	RECUPERAÇÃO DE ESTRADA DE ACESSO	km	1,00	1.625,31	1.625,31
01.06.06	CONSTRUÇÃO DE PASSAGEM EM PEDRA REJUNTADA	m <sup>3</sup>	10,00	623,50	6.235,00
01.07.	ABERTURA E LIMPEZA DE FAIXA				
01.07.02	SUPRESSÃO DE VEGETAÇÃO NÃO SELETIVA	ha	5,00	5.550,39	27.751,95
01.11.	ESCAVAÇÃO PARA FUNDAÇÃO METÁLICA / CONCRETO				
01.11.02	EM SOLO TERRENO FIRME CATEGORIA "A"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	30,00	135,93	4.077,90
01.11.03	ESCAVAÇÃO EM SOLO TERRENO FIRME CATEGORIA "A"ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	318,25	135,93	43.259,15
01.11.05	EM SOLO TERRENO ALAGADIÇO CATEGORIA "D"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	36,25	1.417,68	51.390,90
01.11.06	ESCAVAÇÃO EM SOLO TERRENO ALAGADIÇO CATEGORIA "D"ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	4,54	1.354,42	6.155,58
01.11.08	EM ROCHA MANUAL E/OU MECÂNICA CATEGORIA "B"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	12,50	723,42	9.042,75
01.11.09	ESCAVAÇÃO EM ROCHA MANUAL E/OU MECÂNICA CATEGORIA "B"ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	2,73	723,42	1.972,69
01.11.11	EM ROCHA COM EXPLOSIVO CATEGORIA "C"ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	2,50	1.392,92	3.482,30
01.11.12	ESCAVAÇÃO EM ROCHA COM EXPLOSIVO CATEGORIA "C"ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	63,63	1.481,59	94.269,63
01.17.	INSTALAÇÃO DE FUNDAÇÃO EM CONCRETO				
01.17.04	INSTALAÇÃO DE STUB ESTRUTURA METÁLICA AUTO-PORTANTE	t	0,45	9.853,71	4.434,17
01.19.	PINTURA ANTICORROSIVA EM FUNDAÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA				
01.19.05	PINTURA ANTICORROSIVA EM STUB NA ZONA DE TRANSIÇÃO CONCRETO-ATMOSFERA ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>2</sup>	3,75	527,61	1.978,54
01.20.	APLICAÇÃO DE CONCRETO				
01.20.02	CONCRETO MAGRO (FCK 90 kg/cm <sup>2</sup> ) ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	2,00	2.070,71	4.141,42
01.20.03	CONCRETO MAGRO (FCK 90 kg/cm <sup>2</sup> ) ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	2,16	1.945,71	4.202,73
01.20.12	CONCRETO ARMADO COM FORMA IN LOCO (FCK 200 kg/cm <sup>2</sup> ) ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	180,48	2.667,69	481.464,69
01.20.30	CONCRETO ARMADO COM FORMA IN LOCO (FCK 200 kgf/cm <sup>2</sup> ) ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	22,50	2.861,31	64.379,48
01.20.31	CONCRETO ARMADO SEM FORMA IN-LOCO (FCK 200 kgf/cm <sup>2</sup> ) ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	20,00	2.322,02	46.440,40
01.21.	REATERRO				
01.21.05	SOLO NATIVO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	37,50	217,62	8.160,75
01.21.06	REATERRO SOLO NATIVO ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	127,12	205,75	26.154,37
01.21.08	SOLO LOCAL ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup>	20,00	254,04	5.080,80
01.21.09	REATERRO SOLO LOCAL ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup>	67,80	234,65	15.908,30
01.21.23	SOLO IMPORTADO ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	m <sup>3</sup> xkm	15,00	271,68	4.075,20

01.21.24	REATERRO SOLO IMPORTADO ESTRUTURA DE CONCRETO	m <sup>3</sup> xkm	254,23	280,36	71.277,18
01.27.	MONTAGEM DE ESTRUTURA				
01.27.02	MONTAGEM DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	t	20,00	6.192,42	123.848,40
01.27.80	TRANSFERÊNCIA DE UMA ESTRUTURA DE SUSPENSÃO AUTOPORTANTE DE CONCRETO, DESLOCAMENTO ATÉ 30 METROS (recapacitação)	UND	16,00	42.278,53	676.456,48
01.28.	DESMONTAGEM DE ESTRUTURA				
01.28.03	DESMONTAGEM DE ESTRUTURA DE CONCRETO	t	78,75	492,07	38.750,51
01.29.	INSTALAÇÃO DE PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA				
01.29.02	INSTALAÇÃO DE PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	UND	4,00	274,45	1.097,80
01.29.03	INSTALAÇÃO DE PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO	UND	16,00	101,71	1.627,36
01.32.	SISTEMA DE ATERRAMENTO				
01.32.04	INSTALAÇÃO DE FIO DE ATERRAMENTO - ESTRUTURA DE CONCRETO	m	3.200,00	43,19	138.208,00
01.32.56	ATERRAMENTO DE CERCA	UND	16,00	335,70	5.371,20
01.32.57	SECCIONAMENTO DE CERCA	UND	512,00	58,84	30.126,08
01.35.	INSTALAÇÃO DE CABO CONDUTOR - CIRCUITO SIMPLES				
01.35.09	INSTALAÇÃO DE CABO CONDUTOR - CIRCUITO SIMPLES - 1 CABO FLINT POR FASE	km	1,00	81.534,91	81.534,91
01.35.25	CRUZAMENTO COM LT 230 KV ENERGIZADA	UND	1,00	10.679,91	10.679,91
01.35.28	CRUZAMENTO COM LT ATÉ 13,8 KV ENERGIZADA	UND	5,00	6.851,00	34.255,00
01.35.35	CRUZAMENTO COM RODOVIA ESTADUAL	UND	1,00	7.332,52	7.332,52
01.35.36	CRUZAMENTO COM RODOVIA MUNICIPAL	UND	8,00	7.332,52	58.660,16
01.35.38	CRUZAMENTO COM ADUTORA	UND	5,00	6.682,51	33.412,55
01.35.60	TRANSFERÊNCIA DE UM CIRCUITO DE CABOS CONDUTORES E PARARAIS EM ESTRUTURA DE SUSPENSÃO (recapacitação)	UND	20,00	27.026,27	540.525,40
01.35.85	INSTALAÇÃO DE AMORTECEDORES PARA CABO CONDUTOR	t	0,61	16.607,89	10.164,03
01.37.	DESMONTAGEM DE CABO CONDUTOR - CIRCUITO SIMPLES				
01.37.01	1 CABO POR FASE	km	1,00	2.177,15	2.177,15
01.40.	INSTALAÇÃO DE PLACA DE SINALIZAÇÃO				
01.40.01	INSTALAÇÃO DE PLACA DE ADVERTÊNCIA PARA PEDESTRE	UND	6,00	133,10	798,60
01.50.	CADEIA DE ISOLADORES				
01.50.29	SUBSTITUIÇÃO DE CADEIA DE ISOLADORES DE VIDRO POR POLIMÉRICOS, TIPO GARFO-BOLA, EM ESTRUTURA DE CONCRETO DE SUSPENSÃO	UND	57,00	1.344,30	76.625,10
05.47.	FORNECIMENTO DE PLACA E MATERIAL DE SINALIZAÇÃO				
05.47.03	FORNECIMENTO DE PLACA DE ADVERTÊNCIA PARA PEDESTRE EM ALUMÍNIO ANODIZADO OU FIBERGLASS	UND	6,00	97,02	582,12

05.47.06	PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA EM ALUMÍNIO ANODIZADO OU FIBERGLASS PARA ESTRUTURA METÁLICA AUTOPORTANTE	UND	4,00	97,02	388,08
05.47.07	FORNECIMENTO DE PLACA DE NUMERAÇÃO DE ESTRUTURA EM ALUMÍNIO ANODIZADO OU FIBERGLASS PARA ESTRUTURA DE CONCRETO	UND	16,00	284,98	4.559,68
<b>TOTAL</b>					<b>4.030.782,12</b>