



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GLT/19

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - III**

**GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO (GLT)**

**RECAPACITAÇÃO DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO COM CABOS DE BAIXA FLECHA  
E ALTA TEMPERATURA DE OPERAÇÃO**

**Leonardo Ney de Araujo Guerra (\*)  
MARTE Engenharia**

**Carlos E. Fornazzari  
CTC Global Corporation**

**RESUMO**

Neste IT, o custo total de uma nova LTA convencional será confrontado ao de uma recapacitação de LTA existente utilizando cabos condutores com alma constituída por um composto híbrido de fibra de carbono e de vidro embutido em uma matriz de resina termoestável de alta temperatura (ACCC). Serão estudados três perfis de terreno: plano, pouco ondulado e muito ondulado; edois níveis de tensão, 500 kV e 230 kV. Para cada combinação, o custo do recondutoramento será comparado ao custo de implantação de uma nova LTA, concluindo por indicar o recondutoramento com cabos ACCC como mais econômico.

**PALAVRAS-CHAVE**

Recapacitação, Recondutoramento, ACCC, PLS-CADD

**1.0 INTRODUÇÃO**

A crescente demanda por novas linhas de transmissão aéreas (LTAs) com maior capacidade de transmissão de potência, em conjunto com valores para aquisição de novos corredores de uso cada vez maiores, faz com que a recapacitação de LTAs se torne cada vez mais vantajosa frente à construção de novas LTAs, principalmente com o desenvolvimento de novas tecnologias para produção de cabos condutores com capacidade para operar em altas temperaturas e com baixa flecha.

No estudo desenvolvido neste IT, o custo total de uma nova LTA convencional será confrontado ao de uma recapacitação de LTA existente utilizando cabos condutores recém desenvolvidos onde a alma convencional foi substituída por um composto híbrido de fibra de carbono e de vidro embutido em uma matriz de resina termoestável de alta temperatura, ACCC – *Aluminum Conductor Composite Core* [1].

**1.1. Procedimento**

Para que o estudo seja o mais abrangente possível, serão estudadas diversas combinações de terrenos e níveis de tensão. Serão estudados três perfis de terrenos: plano (P), ondulado (O) e acidentado (A), todos obtidos de levantamentos topográficos reais. Entre os níveis de tensão, serão estudados 500 kV e 230 kV. Os parâmetros básicos das LTAs considerados neste IT, como corrente de longa e curta duração, resistências de sequência positiva, potência máxima etc. serão aqueles mais comumente utilizados nas LTAs existentes.

(\*) Rua Buenos Aires, nº 15, sala 901 – CEP 20070-021, Rio de Janeiro, RJ – Brasil  
Tel.: (+55 21) 3799-2000 – e-mail: leonardo.guerra@marteenharia.com

O processo para alcançar os resultados consiste de duas etapas, descritas a seguir.

### 1.1.1. Primeira etapa

Serão realizadas locações para todas as combinações de perfil e tensão utilizando o software PLS-CADD, referência em projetos de linhas de transmissão, onde serão considerados parâmetros convencionais de uma LTA e o custo total final será composto do custo de aquisição dos materiais, serviços civis, montagem das estruturas, lançamento dos cabos e de implantação da LTA. A aplicação das estruturas e respectivos intervalos de alturas, para cada uma das combinações de terreno e tensão, serão estudadas para que a locação da LTA seja aquela com o menor custo total.

### 1.1.2. Segunda etapa

Sendo os custos de cada locação já conhecidos, cada uma das seis LTAs serão consideradas existentes e uma recapitação será estudada para que a potência transmitida seja elevada. Para tal, duas alternativas serão confrontadas: construção de uma nova LTA com uma nova série de estruturas conforme Etapa 1; e recondutoramento com cabo condutor tipo ACCC, considerando a mesma série de estruturas da LTA obtida na Etapa 1 e que esta não será reforçada. A opção de instalação de novas torres também não será considerada neste IT para a opção de recondutoramento da LTA.

## 2.0 PERFIS DE TERRENO

Os perfis de terreno em análise foram escolhidos para que o estudo seja o mais abrangente possível, sem que um determinado tipo de perfil possa influenciar nos resultados. Deste modo, utilizando modelos digitais de elevação (MDE), amostras de aproximadamente cem quilômetros de cada um dos três tipos de perfil foram selecionadas com base em traçados de linhas existentes. As Figuras 1 a 3 detalham trechos de aproximadamente 25 quilômetros de cada perfil, já inseridos no PLS-CADD, com escala vertical 10 vezes maior que a horizontal.

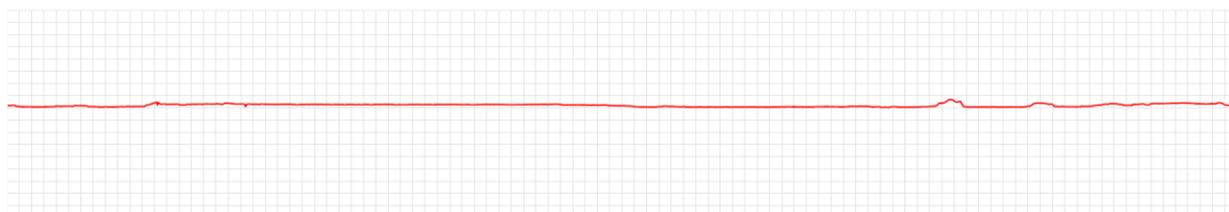


Figura 1 – Perfil de terreno plano

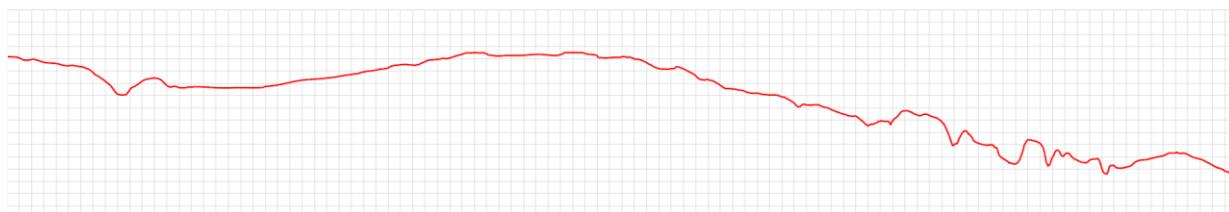


Figura 2 – Perfil de terreno ondulado



Figura 3 – Perfil de terreno acidentado

### 3.0 PARÂMETROS BÁSICOS DAS LTAS

Para a locação das LTAs, durante a Etapa 1, são considerados os parâmetros de linhas de transmissão geralmente especificados em editais de licitação, tais como resistência e impedância de sequência positiva e correntes de longa e curta duração. Tais parâmetros são resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros das LTAs em estudo

Parâmetro	Unidade	LT 500 kV	LT 230 kV
Corrente de longa duração	kA	3375	700
Corrente de curta duração	kA	4150	925
Resistência de sequência positiva	$\Omega/\text{km}$	0,0174	0,0807
Impedância de sequência positiva	$\Omega/\text{km}$	0,26795	0,49989

### 3.1. Características das LTAs

Para que a LTA atenda aos parâmetros apresentados na Tabela 1, diversas configurações de estruturas e feixes de cabos condutores são possíveis. Aquela considerada mais econômica, e comumente eleita nas LTAs em operação no Brasil, é descrita nas Seções 3.1.1 e 3.1.2.

#### 3.1.1. Linhas de 500 kV

As LTAs recentemente projetadas para atender os parâmetros da Tabela 1 são compostas de torres tipo cara-de-gato, geralmente estaiadas, com fases formadas por feixes de quatro cabos condutores tipo CAA RAIL dispostos num quadrado com 457 mm de lado. A silhueta típica pode ser observada na Figura 4.

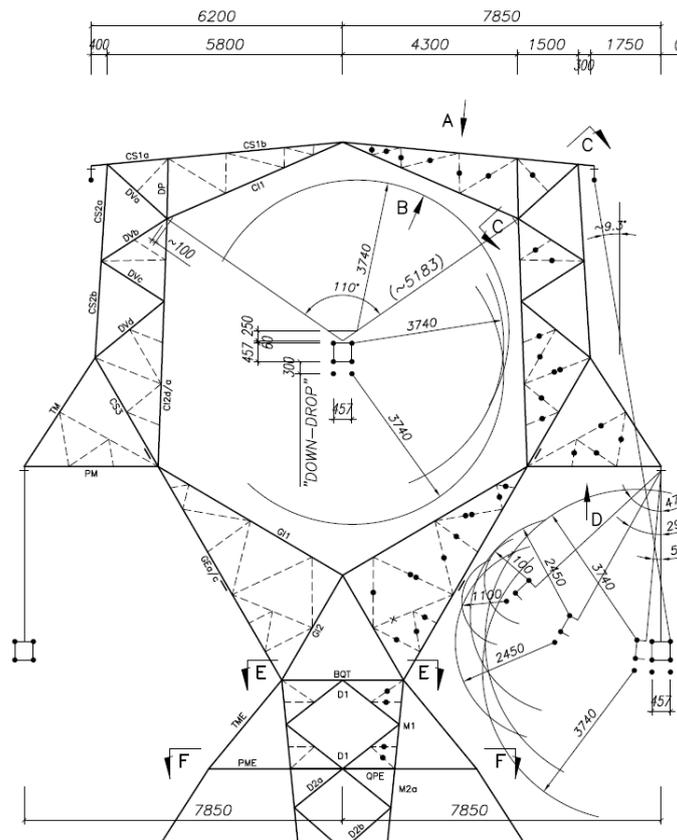


Figura 4 – Silhueta típica para LTAs de 500 kV

A série de estruturas cuja locação das LTAs 500 kV é a mais otimizada é apresentada na Tabela 2, para cada tipo de terreno.

Tabela 2 – Séries de estruturas para LTAs 500 kV

Tipo	Descrição	Vão de vento	Vão de peso	Deflexão máxima	Peso Médio [kg]	Tipos de terreno
EL	Suspensão estaiada leve	550	650	0,5°	6198	P/O
EM	Suspensão estaiada pesada	650	800	2°	7493	P/O
SL	Suspensão autoportante leve	550	650	0,5°	10123	O/A
SP	Suspensão autoportante pesada	650	800	2°	17517	P/O/A
AL	Ancoragem leve	450	1200	15°	18298	P/O/A
AM	Ancoragem média	450	1200	30°	21840	A
AT	Ancoragem terminal	450	1200	60°	25383	P/O/A

### 3.1.2. Linhas de 230 kV

As linhas de 230 kV que atendem aos parâmetros da Tabela 1 utilizam torres com disposição triangular das fases com um cabo condutor tipo CAA TERN. A silhueta típica pode ser observada na Figura 5.

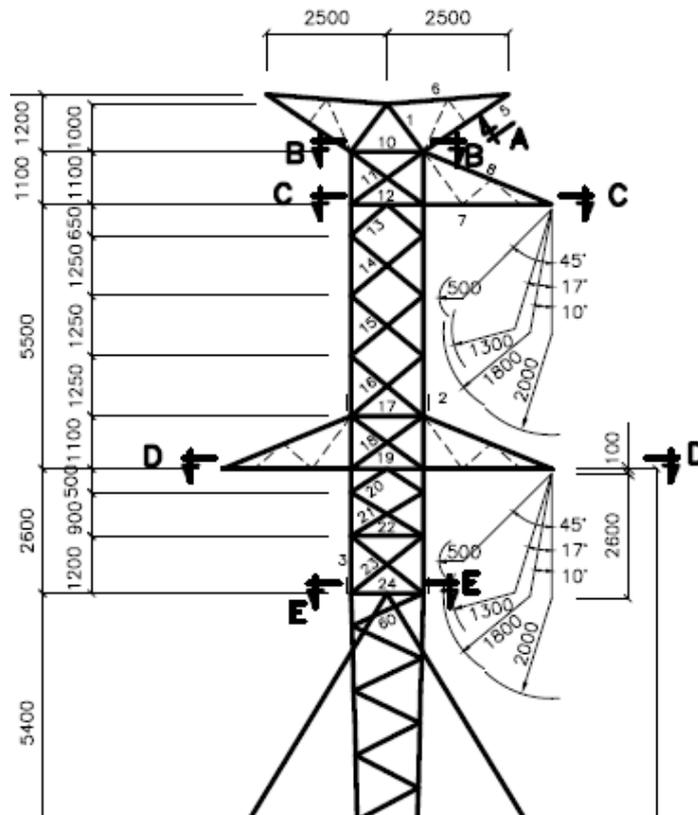


Figura 5 – Silhueta típica para LTAs de 230 kV

A série de estruturas cuja locação das LTAs 230 kV é a mais otimizada é apresentada na Tabela 3, para cada tipo de terreno.

Tabela 3 – Séries de estruturas para LTAs 230 kV

Tipo	Descrição	Vão de vento	Vão de peso	Deflexão máxima	Peso Médio [kg]	Tipos de terreno
EL	Suspensão estaiada leve	550	650	0,5°	2605	P/O
EM	Suspensão estaiada pesada	650	800	2°	2996	P/O
SL	Suspensão autoportante leve	550	650	0,5°	4968	O/A
SP	Suspensão autoportante pesada	650	800	2°	5713	P/O/A
AL	Ancoragem leve	450	1200	15°	6897	P/O/A
AM	Ancoragem média	450	1200	30°	9208	A
AT	Ancoragem terminal	450	1200	60°	11519	P/O/A

#### 4.0 LOCAÇÃO DAS LTAS

As linhas definidas de acordo com o exposto nas Seções 3.1.1 e 3.1.2 serão locadas nos perfis de terreno escolhidos na Seção 2.0 utilizando o software PLS-CADD. Os parâmetros climáticos utilizados, como temperaturas e velocidades de vento, serão os mesmos todas as locações.

Ao fim do processo de locação, são obtidos os resultados da Tabela 4, quanto ao uso percentual de cada estrutura:

Tabela 4 – Resultado das locações: Percentual de uso de cada estrutura

	500 kV			230 kV		
	(P)	(O)	(A)	(P)	(O)	(A)
EL	65	21	-	63	20	-
EM	14	39	-	13	37	-
SL	-	13	35	-	15	38
SP	11	17	30	14	20	30
AL	06	05	19	07	05	20
AM	-	-	11	-	-	8
AT	04	05	5	03	03	4

#### 4.1. Custo de implantação das LTAs

Ao compor o custo de implantação das LTAs, nota-se que grande parte dos materiais tem custo praticamente invariável com os níveis de tensão e perfis de terreno estudados. Pode-se citar, o custo de aquisição de cadeias, isoladores, materiais para aterramento, sinalização e para-raios. Os custos de montagem, lançamento de cabos e das fundações também variam pouco entre as opções analisadas.

O custo de aquisição das estruturas, por sua vez, é variável, visto que para cada uma das 6 configurações o resultado das locações é distinto. Por apresentar um percentual de estruturas de ancoragem mais elevado que os demais, o perfil muito acidentado tende a ter um peso de aço maior que os demais e, portanto, um custo mais elevado.

Um fator que se mostrou importante para o estudo comparativo é o custo de aquisição da faixa de domínio da LT. De acordo com a premissa deste IT, de que a aquisição de novos corredores é um fator decisivo para a escolha entre uma nova LTA e a recapitação de uma existente, a análise comparativa será em função da razão entre o custo de aquisição da faixa de domínio e o custo de aquisição dos cabos condutores. A Tabela 5 apresenta os valores dos custos, baseados em valores de referência Eletrobras para implantação de novas LTAs.

Tabela 5 – Custos considerados para aquisição de materiais e serviços

Material/Serviço	Custo	Material/Serviço	Custo
Aço (Estruturas)	R\$6,50/kg	Cabo Condutor ACCC GALVESTON	R\$117190/km
Isoladores	R\$160,00/un	Cabo Condutor ACCC CORPUS CHRISTI	R\$106810/km
Ferragens	R\$1900,00/un	Montagem de estruturas	R\$4500,00/t
Acessórios	R\$750,00/km	Lançamento de Cabos	R\$ 95000,00/km
Cabo Contrapeso	R\$7968,00/km	Serviços Cíveis	R\$187940,00/km
Cabo PR	R\$12750,00/km	Fundiário	R\$0,35/m <sup>2</sup>
OPGW	R\$17500,00/km	Cabo Condutor CAA TERN	R\$48240,00/km
Cabo Condutor CAA RAIL	R\$57600,00/km		

A Figura 6 apresenta um gráfico com o custo total de construção de cada configuração em função do custo de aquisição da faixa de domínio.

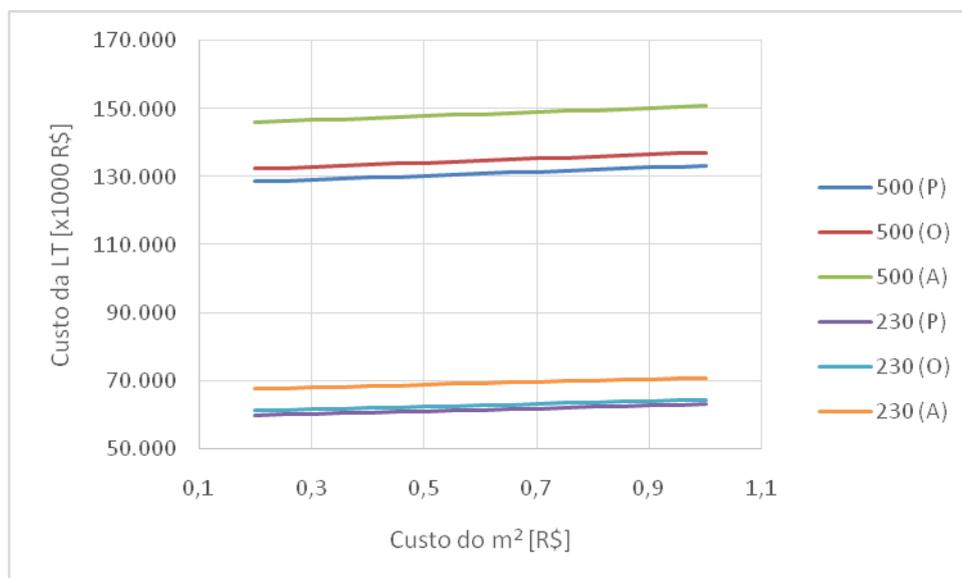


Figura 6 – Custo total de construção de nova LTA em função do custo de aquisição da faixa de domínio

## 5.0 RECAPACITAÇÃO COM CABOS ACCC

A escolha do cabo para o recondutoramento deverá levar em consideração a corrente máxima da LTA, campos elétricos superficiais, níveis de rádio interferência e campos eletromagnéticos. Obviamente, as flechas para a temperatura de operação também devem ser, no máximo, iguais às da LTA original. As trações também devem ser tais que, para todas as hipóteses de carregamento das estruturas, os carregamentos resultantes também sejam menores ou iguais às da série original.

Os cabos tipo ACCC que atendem a todos os critérios descritos são apresentados na Tabela 6, com suas principais características. Em substituição ao CAA RAIL, o cabo ACCC equivalente utilizado será o CORPUS CHRISTI. Já para o cabo CAA TERN, o cabo ACCC equivalente utilizado será o GALVESTON.

Tabela 6 – Cabos tipo ACCC equivalentes aos CAA

	Unidade	CORPUS CHRISTI	GALVESTON
Diâmetro	mm	29,11	27,69
Peso	kg/km	1657	1526
Carga de Ruptura	kgf	16468	16193
Resistência elétrica DC 20°C	$\Omega$ /km	0,05038	0,05469

Os custos dos recondutoramentos, incluindo a aquisição e instalação dos novos cabos ACCC indicados na Tabela 6 são de R\$ 151,534,280 para as LTAs de 500 kV e de R\$ 51,157,430 para as LTAs de 230 kV.

## 6.0 CONCLUSÕES

Comparando o custo do recondutoramento com os valores da Figura 6, pode-se concluir que o recondutoramento com cabos tipo ACCC é economicamente vantajoso frente à construção de nova LTA, principalmente quando o custo de aquisição de novas faixas de passagem é elevado.

Este fato se mostrou mais significativo nas linhas de 230 kV, onde mesmo nos terrenos planos, onde o custo de construção é relativamente baixo, o recondutoramento sempre se apresentou mais lucrativo.

Nas linhas de 500 kV, o recondutoramento, embora ainda vantajoso, não apresentou a mesma vantagem que nas linhas de 230 kV. Ainda assim, nos perfis acidentados essa vantagem se torna mais clara.

Outro fato que deve ser levado em consideração diz respeito à série de estruturas utilizada para a locação das LTAs ter sido estudada para obter uma locação ótima. Muitas vezes as LTAs são construídas utilizando séries existentes,

não otimizadas para o local de implantação da nova LTA, tornando o custo de implantação ainda mais elevado e, conseqüentemente, tornando o recondutoramento economicamente mais vantajoso.

Pode-se assim indicar o recondutoramento de LTAs com cabos ACCC como mais econômico, frente à aquisição de novos corredores de uso para construção de novas LTAs.

## 7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CTC Global. Engineering Transmission Lines with High Capacity Low Sag ACCC Conductors. First Edition.
- (2) Diretrizes para a Elaboração de Projetos Básicos para Empreendimentos de Transmissão, ONS, 2013.
- (3) Estudo Técnico-Econômico para Aumento da Carga de Tração dos Cabos Condutores de Linhas de Transmissão, XX SNPTEE, GLT, Grupo III.

## 8.0 DADOS BIOGRÁFICOS



Leonardo Guerra nasceu no Rio de Janeiro em 1983. Gradou-se em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 2006 e obteve seu M.Sc.pelo Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ em 2009. Trabalhou na ISOLUX Corsan de 2007 a 2013 como projetista de linhas de transmissão e desde então é supervisor de linhas de transmissão – eletromecânica na MARTE Engenharia, tendo atuado em projetos básicos e executivos de linhas de transmissão de 69 kV a 800 kV.

Carlos Fornazzari nasceu em Irati em 1974. Administrador de empresas, iniciou sua carreira no setor elétrico em 2007 na CTC Global em Irvine-CA (USA) de onde em 2008 foi transferido para o Brasil ocupando o cargo de Diretor de Novos Negócios para América Latina onde liderou o desenvolvimento de mais de 30 projetos de recapacitação de linhas de transmissão de 34,5 a 220 kV em 8 países. Agora exerce a função de Vice-Presidente da América do Sul.