

## ABORDAGEM NA REMODELAÇÃO E AUMENTO DE CAPACIDADE DE LINHAS AÉREAS DE MUITO ALTA TENSÃO

*A necessidade de otimização das instalações existentes torna-se uma prioridade antes de ponderar a construção de novas linhas aéreas.*

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as empresas de transporte de energia estão a ser confrontadas com algumas dificuldades operacionais. Primeiro, a maior parte da sua infraestrutura de rede foi contruída nos anos 70, com tal, algumas redes estão em funcionamento há cerca de 50 anos. Segundo, essas instalações foram projetadas para um ciclo de vida económica e de engenharia de 50 anos, por isso, no presente requerem uma extensão do seu funcionamento, para conseguirem assegurar a devida qualidade do serviço.

Face à atual pressão para a descarbonização com metas temporais apertadas, torna-se necessário aumentar a capacidade de transporte de energia das infraestruturas existentes. Por outro lado, há dificuldades para a construção de novas linhas aéreas devido ao impacto visual, restrições ambientais e o estabelecimento de servidões.

Deste modo, a necessidade de otimização das instalações existentes torna-se uma prioridade antes de ponderar a construção de novas linhas aéreas.

Este artigo técnico procura transmitir uma abordagem para estabelecer uma metodologia na Remodelação e Aumento de Capacidade de Linhas Aéreas de Muita Alta Tensão (MAT) com o objetivo de colmatar as necessidades apresentadas.

### 2. ENQUADRAMENTO

O aumento de capacidade e uma linha de transporte de energia está normalmente relacionado com soluções de aumento de corrente e de tensão.

Está sempre presente o esforço para quantificar a relação custo-benefício associada a cada solução tecnológica.

As soluções relacionadas com a mudança de tensão acabam por se tornar sempre mais dispendiosas e de difícil execução dada a necessidade de mudanças de fundo na parte estrutural dos apoios da linha MAT para acomodar as distâncias fase-terra necessárias e, por vezes, praticamente impossível de solucionar. Sendo assim, a abordagem mais comum passa pelo aumento da capacidade de transmissão através do aumento da intensidade de corrente na linha.

Antes de se considerar a construção de uma nova linha, existem duas abordagens a ponderar, que apresentam custos de investimentos reduzidos e menores impactos ambientais e visuais:

- Aumento do nível da temperatura de operação dos condutores existentes;
- Aumento da capacidade através da substituição dos condutores existentes.

As próximas três secções subsequentes deste artigo descrevem procedimentos de avaliação para as condições de instalação. A secção 3 apresenta uma sequência de como avaliar a condição dos elementos das linhas MAT a ter em consideração na remodelação da instalação para o aumento de capacidade. A secção 4 demonstra como a viabilidade do aumento da temperatura de operação dos cabos condutores existentes está limitado pelas distâncias mínimas regulamentares a cumprir. A secção 5 descreve várias opções para substituir os condutores existentes por outros com capacidades superiores, tendo em conta o cumprimento das distâncias regulamentares e sem sobrecarregar os outros componentes estruturais da linha de MAT. Segue-se um exemplo de aplicação na secção 6 e, por fim, as Conclusões na secção 7.

### 3. AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DA INSTALAÇÃO PARA O AUMENTO DE CAPACIDADE

#### 3.1. Condição dos componentes da instalação

Para podermos efetuar uma correta avaliação dos componentes da instalação, é necessário ter as respostas para o seguinte questionário preliminar:

- Qual o estado atual da instalação, o tempo restante de vida do equipamento?
- O condutor atual tem condições para operar a uma temperatura mais elevada?
- Existe alguma fragilidade no equipamento da linha que poderá entrar em stress dado o aumento da temperatura do cabo condutor? (exemplo pinças de compressão, uniões, etc.)
- As distâncias regulamentares podem ser alcançadas sem colocar novas trações nos condutores?

Para responder as estas questões, devem ser realizados testes aos componentes da linha aérea existente por amostragem e em locais estratégicos, a determinar em cada caso específico.

Alguns dos testes mais comuns para determinar os estados da instalação seguem-se nos próximos pontos.

#### 3.2. Condutores e Acessórios de Fixação

Inspeção visual – Esta técnica é a primeira abordagem a realizar por equipas de inspeção ou utilizando *drones* com recolha fotográfica dos elementos da instalação, ver Fig.1:



Figura 1. Inspeção com drone

Termografia – Por recurso a voo de ronda aérea serão medidos os eventuais pontos quentes, durante a operação da Linhas MAT, de acordo com a Fig.2. Identificados aqueles pontos quentes, analisar razões e estimar tempo de vida restante para definir estratégia de substituição;

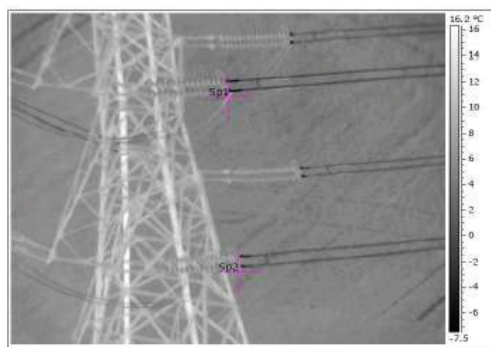
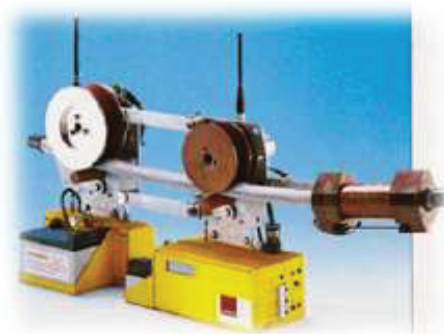


Figura 2. Pontos quentes detetados na Termografia

*Cormon Test* – Teste para determinar o nível de corrosão interna dos condutores, através de colocação de um aparelho nos condutores que percorre uma amostra dos vãos da linha e retira dados do nível de corrosão, Fig.3:



2013/05/01 9:16 AM  
TrolleyHead: 1061/0110  
XT3 KINTORE-TEALING  
From: 425.S To: 426.T  
Circuit:  
Conductor: LYNX  
Age of Line: 1972  
EARTH  
Greasing: NOT KNOWN  
Operator: APL  
Order of Trolleys: FORWARD  
Telemetry Errors: 55  
Data Density Out: 92.2%

ESTIMATED CORROSION LOSS OF ZINC:

None	44.8%
Possible	39.7%
Partial	9.2%
Severe	6.1%
Aluminium loss	0%
Suspect data	0.2%

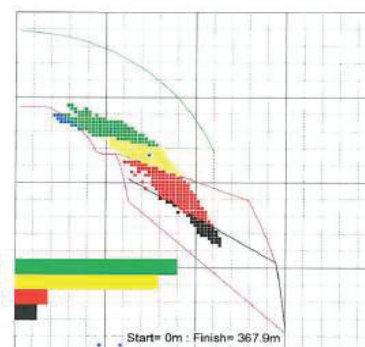


Figura 3. Aparelho e relatório com % de corrosão da amostra

Testes laboratoriais – Recolha de amostras do condutor e realização de testes de capacidade mecânica e do estado da massa protetora do condutor para operar a temperaturas mais elevadas, com estimacão do tempo restante de vida do condutor, ver Fig. 4:



Figura 4. Análise do estado das diferentes camadas dos condutor e teste de temperatura da massa

### 3.3. Estruturas metálicas

Trata-se duma inspeção visual dos apoios metálicos, com subida da estrutura metálica por recursos humanos especializados ou com recurso a *drones* para determinar nível de corrosão. Pode registar-se eventual perda de resistência dos elementos metálicos e é necessário definir medidas de mitigação, por exemplo, por substituição de elementos metálicos e parafusos ou pintura dos apoios com nível de tratamento adequado. Alguns exemplos são apresentados na Fig.5:



Figura 5. Avaliação dos diferentes níveis de corrosão

### 3.4. Fundações

Os testes a fundações dividem-se em dois tipos, testes não intrusivos e testes intrusivos, estes últimos requerem trabalhos de escavação e exposição da fundação para recolha de amostras:

- Inspeção visual da parte exterior da fundação para verificação de sinais exteriores de deterioração (não intrusivo);
- *Transient Dynamic Response* (TDR) – Permite a recolha de dados com aparelho sobre a integridade e profundidade da fundação (não intrusivo), Fig.6;
- *Linear Polarisation Resistance* (LPR) – Avalia o nível de corrosão das pernas metálicas embebidas na fundação (não intrusivo);
- Recolha de Amostras do Solo para verificar as condições de resistência do mesmo e o nível freático (intrusivo);
- Recolha de provetes de betão do pilar da fundação para determinação da resistência do betão (intrusivo), Fig. 7:



Figura 6. Avaliação da integridade da fundação com TD

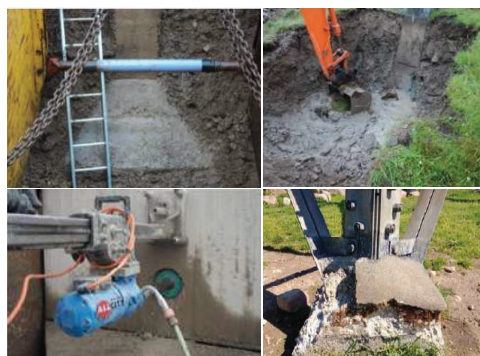


Figura 7. Recolha de provetes através de teste intrusivo

A avaliação satisfatória dos vários elementos da linha MAT da condição da instalação, onde é estimado um período de vida para utilização/extensão da operação da linha, viabilizará as fases seguintes da abordagem.

#### 4. AUMENTO DA CAPACIDADE POR AUMENTO DA TEMPERATURA DE OPERAÇÃO

Com a determinação do estado do condutor existente para operar a uma temperatura superior sem a sua deterioração, inicia-se a análise das catenárias dos vãos da linha. A operação a uma temperatura superior implica a verificação dos locais críticos onde o aumento das flechas poderá originar infrações das distâncias regulamentares. É essencial nesta fase ter os dados “As-Built” da instalação, para se ter as condições de regulação e fixação dos condutores na fase da sua construção. A falta destes elementos poderão originar a necessidade de recolha no local dos dados topográficos onde a linha está implantada e as suas catenárias.

Este tipo de verificação pode ser realizado através de softwares especializados para projetos de linhas elétrica aéreas. Um exemplo é o software PLS CADD® (*Power Line Systems Inc.*) que é utilizado internacionalmente pelas principais empresas da área. Após a criação do modelo em análise, o software permite criar cenários e verificar a viabilidade da linha aérea em operar a temperaturas superiores, Fig. 8. Nesta análise são tiradas conclusões sobre as eventuais infrações em relação as distâncias regulamentares ao solo ou obstáculos (pontos críticos).

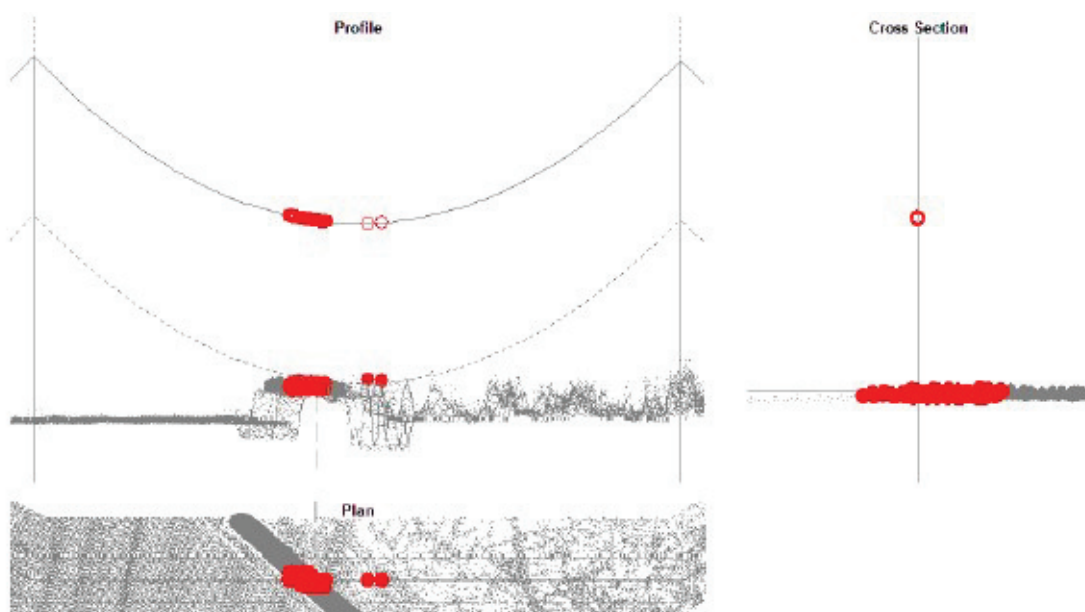


Figura 8. Exemplo de resultado PLS CADD de infração na distância à estrada

Identificados os pontos críticos, são definidas medidas de mitigação que poderão ser:

- Troca de cadeias de isoladores com dimensões inferiores às existentes, mas com um nível compatível de isolamento (ex. isoladores compósitos);
- Aumento das trações dos condutores a um ponto em que retire a infração em análise, mas que não ultrapasse a capacidade dos outros elementos da linha (ex. acessórios, apoios, fundações);
- Aumento das alturas dos apoios existentes por introdução de módulos intermédios;
- Substituição de Apoios existentes por outros apoios mais elevados para mitigar as distâncias em infração.



Figura 9. Colocação de módulo prismático com 6m em apoio existente



O nível de aumento de capacidade requerida, assim com a quantidade de modificações necessárias à eliminação dos pontos críticos definirá a viabilidade desta abordagem ou se será necessária passar para a próxima fase.

## 5. AUMENTO DA CAPACIDADE POR SUBSTITUIÇÃO DE CONDUTORES

Quando os condutores existentes não permitem o aumento da capacidade para fazer face às necessidades, a abordagem de substituição de condutores é a opção mais indicada. Nos últimos anos têm sido desenvolvidos cabos condutores compósitos que melhoram os rácios de força, peso e elasticidade, possibilitando uma maior operação dos condutores a temperaturas mais elevadas aumentando assim a amperagem, mas com reduzidas flechas. Estes tipos de condutores são designados por *High Temperature Low Sag* (HTLS).

Os cabos condutores mais usuais utilizados em Portugal são os ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*). Estes condutores foram projetados no passado para uma temperatura máxima de operação de 50°C, mais recentemente a 75°C (Decreto Regulamentar n.º 1/92 artigo 22.º, 1 c e EN 50341-3-17:2001, artigo 5 PT.1), sendo que atualmente as concessionárias dimensionam as linhas MAT para ser operadas a uma temperatura de 85°C em condições de regime permanente. Existem, no entanto, outras opções que melhoram significativamente os rácios atrás referidos quando comparados com os condutores convencionais ACSR. São exemplos, mas não restritos, os seguintes:

- *All Aluminium Alloy Conductor* (AAAC), podem ser operados até 90°C
- *Aluminium Conductor Composite Core* (ACCC), considerados HTLS, podem ser operados até 180°C
- *Aluminium Conductor Composite Reinforced* (ACCR), considerados HTLS, podem ser operados até 210°C

Quando a necessidade de aumento de capacidade não for muito elevada, é possível que seja mais vantajoso substituir

os condutores existentes por novos condutores com tecnologia mais estabelecida que os HTLS, por exemplo os AAAC, proporcionando outro conforto/confiança na operação/manutenção. Esses novos condutores podem ser de diâmetros iguais ou maiores dos condutores existentes, no entanto o aumento de diâmetro do condutor, implicará o aumento de forças transmitidas aos apoios o que levará à necessidade de reforçar as estruturas metálicas e as fundações. Ainda que este último cenário se torne mais dispendioso, poderá ser mais vantajoso do que a construção de uma nova linha MAT. A comparação das várias opções pode ser realizada também através do software PLS CADD atrás referido.

## 6. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

As linhas MAT da Rede Nacional de Transporte (RNT) utilizam na sua maioria cabos condutores ACSR Zebra em linhas de 150kV e 220kV e cabos ACSR Zambeze nas linhas de 400kV. Há cerca de 15 anos, a Redes Energéticas Nacionais (REN), concessionária da RNT em Portugal, realizou um programa de *Uprating*, principalmente nas linhas de 220kV, no sentido de operar as mesmas, com os mesmos condutores, a temperaturas superiores, aumentando assim a capacidade de transporte. No entanto, a maioria das linhas existente em Portugal tem condutores que estão a chegar ao fim do ciclo de vida, tornando-se a sua substituição uma prioridade.

Em seguida é exemplificado uma análise de opções possíveis de substituição dos condutores existentes ACSR na RNT, por outros com características dimensionais equivalentes, para não impactar na capacidade estrutural dos postes e fundações, para os níveis de tensão 220kV e 400kV. Os resultados são apresentados na Tabelas que se apresentam:

Tabela 1. Características dimensionais e mecânicas de condutores compatíveis com a tensão 220kV

Tipo Conductor	Nome Conductor	Diâm. (mm)	Peso (daN/m)	C. Rutura (daN)	Área Alum. (mm <sup>2</sup> )
ACSR	Zebra	28.62	1.6	12849	428.9
AAAC	Totara	28.98	1.402	14000	498.1
ACCC	Hamburg	28.62	1.595	16090	546.4
ACCR	Drake	28.60	1.357	14323	418

Tabela 2. Características elétricas e cálculo da capacidade térmica e flechas de condutores compatíveis com a tensão 220kV

Tipo Conductor	Nome Conductor	Resistência CC a 20°C (Ohm/Km)	Max. Temp Operação (°C)	Capac. Máx. Temp. (A)	Capac. Máx. Temp. (MVA)	Flecha Máx. Temp. (m)
ACSR	Zebra	0.0674	75	894	341	14.39
			85	998	380	14.75
AAAC	Totara	0.0638	90	1090	415	13.85
ACCC	Hamburg	0.0514	180	1860	709	11.29
ACCR	Drake	0.0659	210	1780	678	13.05

Tabela 3. Características dimensionais e mecânicas de condutores compatíveis com a tensão 400kV

Tipo Conductor	Nome Conductor	Diâm. (mm)	Peso (daN/m)	C. Rutura (daN)	Área Alum. (mm <sup>2</sup> )
ACSR	Zambeze	31.80	1.764	11967	565.4
AAAC	Rubus	31.50	1.589	16400	586.9
ACCC	Prague	31.78	1.990	16910	690.7
ACCR	Curlew	31.70	1.655	15836	525

Tabela 4. Características elétricas e cálculo da capacidade térmica e flechas de condutores compatíveis com a tensão 400kV

Tipo Conductor	Nome Conductor	Resistência CC a 20°C (Ohm/Km)	Max. Temp. Operação (°C)	Capac. Máx. Temp. (A)	Capac. Máx. Temp. (MVA)	Flecha Máx. Temp. (m)
ACSR	Zambeze	0.0511	75	1054	730	17.18
			85	1178	816	17.53
AAAC	Rubus	0.0542	90	1209	838	13.06
ACCC	Prague	0.0407	180	2154	1492	13.73
ACCR	Curlew	0.0534	210	2044	1416	14.06

Para cálculo mecânico de flechas, os condutores foram regulados com uma tensão igual a 20% da carga de rutura no estado *Every Day Tension* (EDS) a 15 °C, para um vão equivalente de 400 m.

Para cálculo da capacidade térmica dos condutores foi considerado a equação de *Kuipers-Brown*, adotando a temperatura ambiente de Verão 30°C:

$$C \cdot St \cdot \frac{dT}{dt} = I^2 \cdot R_f + \alpha \cdot R \cdot d - 8.55 \cdot (T - T_A) \cdot (v \cdot d)^{0.445} - E \cdot \sigma \cdot \pi \cdot d \cdot (T^4 - T_A^4)$$

$\alpha$	Coefficiente da absorção solar = 0,5	$E$	Poder emissivo em relação ao corpo negro = 0,6
$R$	Radiação solar = 1000 W/m <sup>2</sup>	$\sigma$	Constante de Stefan = 5,7x10 <sup>-8</sup> W/(m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )
$v$	Velocidade do vento = 0,6 m/s		

Os resultados apresentados demonstram que se poderá obter ganhos na capacidade na transmissão de:

- 12% quando aumentando a temperatura de operação de 75°C para 85°C do condutor ACSR existente;
- 22% (220kV) e 15% (400kV), quando substituindo ACSR para AAAC;

- 108% (220kV) e 104% (400kV), quando substituindo ACSR para ACCC;
- 99% (220kV) e 94% (400kV), quando substituindo ACSR para ACCR, com diâmetros e pesos lineares equivalentes ao condutor existente, evitando assim o reforço estrutural das barras metálicas de apoios ou reforço de fundações.

Por outro lado, embora a temperatura de operação máxima das opções seja superior à do condutor existente, as flechas apresentadas são significativamente inferiores, respeitando assim as distâncias regulamentares. Com certeza que estas opções de condutores tecnologicamente mais evoluídos apresentam um custo de fornecimento superior, que poderá chegar até cinco vezes mais dispendioso quando comparado com o tradicional ACSR, pelo que estudos de viabilidade financeira se impõem, no entanto será sempre mais económico que a construção de uma linha nova de MAT. Em casos particulares, poderá ser vantajoso o aumento de diâmetro/secção para aumentar a capacidade e por sua vez o estudo do reforço estrutural dos outros elementos estruturais das linhas.

## 7. CONCLUSÕES

A remodelação e aumento de capacidade das linhas aéreas de MAT torna-se imperativo na gestão das instalações existentes, quer por estarem a chegar ao fim do ciclo técnico económico de vida, quer pela dificuldade existente na construção de novas linhas de MAT. A avaliação do estado da condição da linha MAT é fundamental, pois depende desta a viabilidade da remodelação e conseqüente aumento da capacidade. Existem opções para o aumento de capacidade, sendo a mais viável pelo aumento da amperagem, quer por acréscimo da temperatura de operação dos condutores existentes ou pela substituição por outros com tecnologia mais evoluída.