



São Paulo, 10/15 de Abril de 1972

GRUPOS DE ESTUDOS DE TRANSMISSÃO

O EMPREGO DO AÇO COR-TEN-A NA

FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Eng^o Itamar Penque

Eng^o Isão Nishioka

Centrais Elétricas de São Paulo S.A.

1.0 INTRODUÇÃO

1.1 Novo material: motivos da procura

Até o momento, o aço conhecido como ASTM-A-36 domina em absoluto no mercado nacional, como escolha mais indicada para a fabricação de estruturas de Linhas de Transmissão. O fato de ser encontrado em tôdas as bitolas, com produção inteiramente nacional, permitiu a opção de se utilizar estruturas metálicas, em lugar das de madeira e das de concreto, com tôdas as vantagens que lhes são inerentes:

A galvanização tem sido sua melhor proteção.

Há, todavia, certos lugares onde a melhor galvanização não resiste por muito tempo: regiões muito industrializadas, onde a atmosfera ambiente estiver poluída por agentes químicos agressivos, e as regiões litorâneas.

Corrosão marítima

Foi com o que deparamos ao estudar a construção da linha de transmissão de 88 kv, circuito duplo, que interligará as subestações da CESP de Bertioga e São Sebastião, no litoral norte do Estado. Esta linha será construída na faixa de 20 km de proximidade da orla marítima, onde a corrosão costuma ser mais intensa. Ali os sais marítimos, principalmente

cloretos, existem em maior concentração, constituindo-se no maior agente de corrosão. E a galvanização é destruída num espaço de tempo muito curto. Teríamos que partir para uma camada de galvanização muito espessa: em torno de 1.200 - gramas por m². Como se sabe, isto exige um tratamento especial do aço, para permitir maior aderência. Além de a segurança não ser muito maior, as nossas fábricas de estruturas não estão preparadas para tal. E, ainda que estejam, o custo do aço especial,

mais o custo da galvanização especial, mais o prazo maior de fabricação não constituem grandes atrativos. Outra alternativa seria manutenção mais intensa, com pinturas frequentes das torres com tintas especiais.

1.2 Outros materiais considerados

Madeira

A importância da linha em questão, que, entre outros objetivos, deverá ser uma das fontes de alimentação do Terminal Marítimo da Petrobrás, não permitirá o seu emprego. Motivo: segurança.

Postes de concreto

As cruzetas terão que ser de madeira ou de concreto. Ainda assim, muitos acessórios serão de aço. Porém o mais grave é o problema do transporte. Mais de 60 km a linha correrá pelas encostas da Serra do Mar, onde os vãos longos deverão compensar a falta de acessos. Então, as pesadas estruturas de postes de concreto, com mais de 20 m de comprimento, e a sua limitação a vãos pequenos, farão da deficiência de estradas um obstáculo muito grande.

Alumínio

Apesar da sua leveza e versatilidade, o seu custo é proibitivo. Que outro material, então, teria as características e, portanto, as vantagens do aço, sem, porém, as desvantagens acima apontadas?

Em nossas pesquisas encontramos os aços de baixa liga, so

bre os quais iremos discorrer a seguir.

2.0 AÇOS DE BAIXA LIGA (1)

2.1 O que são:

Tais aços contêm elementos de liga em baixo teor, que fornecem ao aço alta resistência mecânica e - o que é muito importante no caso - alta resistência à corrosão. Por isso, estes aços recebem a designação de "WEATHERING".

2.2 Elementos de liga e suas propriedades

A influência da adição de cada elemento de liga é, de forma resumida, a seguinte:

Fósforo

Confere resistência mecânica ao aço, desde que não se tenha alto teor de Carbono (especifica-se $C + P = \text{max. } 0,25\%$), - pois neste caso o Fósforo (P) provoca a fragilidade à quente na laminação.

Molibdênio

Aumenta a resistência mecânica. Adiciona-se também com a finalidade de reduzir a suscetibilidade à fragilidade de têmpera e de elevar as propriedades a altas temperaturas em aços, nos graus temperado e revenido.

Manganês

É o principal desenvolvedor de resistência mecânica, quando em teores superiores a 1% nos aços de alta resistência.

Cromo

Age como desenvolvedor de resistência à corrosão. Em uma composição de aço com cerca de 0,12% P; 0,85% Cr e 0,40% Cu, exposto à atmosfera, desenvolve-se um revestimento de óxido aderente, particularmente denso, que inibe corrosão posterior. Porém o Cromo (Cr) por si só não fornece resistência notável à corrosão.

Silício e Alumínio

Agem como refinadores de grão, na acalmagem do aço. Para um aço estrutural, eles desenvolvem a resistência da ferrita.

Cobre

Desenvolve a resistência à corrosão atmosférica, em teores acima de 0,20%, resistência esta aumentada em presença de fósforo. Para aços trabalhados a quente, o seu teor é limitado entre 0,40% e 0,50%.

Níquel

Aumenta a resistência à corrosão, sem causar ataque intergranular, nem endurecimento por precipitação como o cobre, mas seu efeito é menor que o do cobre. Por ser, juntamente com o molibdênio, o elemento de liga mais caro, substituiu-se pelo cobre até teores admissíveis.

Vanádio (V), Titânio (Ti) e Zircônio (Zr)

São refinadores de grão e, principalmente, agentes de desoxidação.

Boro

Desenvolve temperabilidade, sem ter efeito sobre o aumento da resistência mecânica.

2.3 Mecanismos de proteção contra a corrosão

O aço de baixa liga, ao cobre, além da alta resistência mecânica, quando exposto à atmosfera possui um mecanismo de auto-proteção. Entre 12 e 18 meses o aço comporta-se como o aço estrutural comum, quando se desenvolve uma camada de óxido aderente e contínua, que protege o metal-base contra uma corrosão posterior. Isto é, a camada inicial de óxido transforma-se numa capa protetora, evitando a oxidação continuada.

2.4 Vida média

A proteção que se consegue com a formação da camada contínua de óxido permite uma vida média elevada, chegando a -

ser duas vezes maior do que a do aço somente com teor de cobre (Ver ilustração 2.4-1), empregado no passado para fins de resistência à corrosão. Conforme experiência feita pela VEPCO (2), nos Estados Unidos, com estruturas de aço de baixa liga da U. S. STEEL (aço COR-TEN), após 15 anos de exposição, mostraram-se em perfeitas condições, mesmo em atmosferas marítimas severas. E as estruturas não tinham qualquer forma de proteção: de pintura ou de galvanização.

2.5 Tipos existentes

Há vários tipos de aço de baixa liga e alta resistência. To dos eles contêm as características, conforme discriminadas pelas normas ASTM-A-242 e A-588, com a designação de "WEATHERING" (3).

Entre os chamados de A-242, conhecem-se:

- a) Nos Estados Unidos, a BETHEHEM patenteou um aço ao cobre com o nome de "MAYHARI" e a U. S. STEEL um outro conhecido por COR-TEN, classes A, B ou C, conforme sua composição.
- b) No Japão, a YAWATA IRON & STEEL possui o YAW-TEN, no qual foi adicionado o titânio.
- c) No Brasil ainda não foi patenteadado nenhum tipo. Mas a CSN produz o aço COR-TEN, sob licença da U. S. STEEL, e a Usiminas o SAC-50, equivalente ao YAW-TEN, tam bém sob licença. A Belgo-Mineira produz um aço com as características estabelecidas pela ASTM-A-242, o mesmo acontecendo com a FAV-FERRO-AÇO VITORIA, em fase experi mental de produção.

Esclarecemos que, embora tenham alta resistência mecâni ca, os aços A-242 não têm a elevada resistência à corro são do COR-TEN, do MAYHARI ou do YAW-TEN, devido à au sência do teor de cobre.

Em virtude de a Usiminas produzir somente chapas, sem previsão de laminação de perfilados, vamos considerar apenas o aço COR-TEN, produzido pela CSN, em forma de

cantoneiras de abas iguais, utilizadas na fabricação de estruturas.

2.6 Composição do Aço COR-TEN (4) (5) (6)

A CSN produz também os três tipos de aço COR-TEN.

As faixas da composição química da U. S. STEEL são as seguintes:

<u>Elementos</u>	<u>Tipo A</u>	<u>Tipo B</u>	<u>Tipo C</u>
C	0,12 máx.	0,10 - 0,19	0,12 - 0,19
Mn	0,2 - 0,5	0,9 - 1,25	0,9 - 1,35
P	0,07- 0,15	0,04 máx.	0,04 máx.
S	0,05 máx.	0,05 máx.	0,05 máx.
Si	0,25- 0,75	0,15 - 0,30	0,15 - 0,30
Cu	0,25- 0,55	0,25 - 0,40	0,25 - 0,40
Ni	0,65 máx.	-	-
Cr	0,30- 1,25	0,40 - 0,65	0,40 - 0,70
V	-	0,02 - 0,10	0,04 - 0,10

2.7 Características mecânicas do aço da CSN (6)

<u>Tipo</u>	<u>Lim.escoam.min.</u>	<u>Lim.res.min.</u>	<u>Along.min.em</u>
<u>CSN</u>	<u>Kg/mm²</u>	<u>Kg/mm²</u>	<u>203 mm</u>
AR-35 COR-TEN-A	35,2	49,2	19%
AR-35 COR-TEN-B	35,2	49,2	19%
AR-42 COR-TEN-C	42,2	56,3	16%

2.8 Vantagens do aço COR-TEN

A primeira grande vantagem é a sua elevada resistência à corrosão. De acordo com a U. S. STEEL é cerca de 6 a 8 vezes mais resistente do que o aço carbono A-36. Acontece que o aço COR-TEN possui características superiores as dos aços classificados por essa norma. A U. S. STEEL assegura a utilização do aço COR-TEN, sem qualquer tipo de proteção: galvanização ou pintura. Isto tem um significado muito importante para fabricantes e usuários de estruturas. Para aqueles significa maior produção e menores prazos de en

trega. Maior simplicidade na fabricação, reduzindo-se a poucas operações industriais: cortar, furar e recortar, numa repetição seriada, sem o estrangulamento da galvanização, sem a rejeição por defeitos de galvanização, sem os cuidados especiais de estocagem, de embalagem e de transporte.

Para o usuário representa prazos mais curtos de entrega com maiores folgas na programação. Menos problemas de armazenagem, de transporte e de montagem. O problema de manutenção praticamente desaparece.

Segunda grande vantagem: elevada resistência mecânica cerca de 14% maior do que a do aço A-36. Estudo feito para a Belgo-Mineira, por uma firma especializada em projetos de estruturas, concluiu pela economia em peso em cerca de 20%, a favor do aço A-242.

Foram comparados dois projetos de estrutura: um em aço A-242 e o outro em aço A-36, para o mesmo tipo de estrutura. Redução de peso - outro fator importantíssimo. Significa economia no custo do material, no transporte e na montagem da estrutura.

2.9 Resumo das vantagens do aço COR-TEN

- a) Maior resistência à corrosão (6 a 8 vezes).
- b) Maior resistência mecânica (~14%).
- c) Menor peso da estrutura (~20%).
- d) Dispensa galvanização ou pintura.
- e) Menor prazo de entrega da estrutura.
- f) Maior produção das fábricas.
- g) Menor custo de transporte.
- h) Menor cuidado no transporte.
- i) Menor custo de armazenagem.
- j) Permite alterações no campo (furos, cortes etc.).

2.10 Custo da estrutura de aço COR-TEN

No nosso estudo, como a CESP adquire estruturas prontas e

não a matéria-prima para fabricá-las, consultamos inicialmente a FEM-Fábrica de Estruturas Metálicas, firma intimamente ligada à CSN, e que já projetou, fabricou e montou - algumas estruturas de Linhas de Transmissão, em aço COR-TEN-A, que foram utilizadas no trecho final da linha que alimenta a Usina de Volta Redonda.

Tomando como referência projetos de 4 tipos de estrutura de 138 kV - circuito duplo, em aço A-36, fornecidos por nós, a FEM apresentou-nos uma estimativa de custo para fornecimento de 500 toneladas de estrutura em aço COR-TEN.

Resposta auspiciosa: custo 10% inferior ao do aço A-36.

Mas é compreensível. O custo dos perfilados de aço é composto das seguintes parcelas: Preço Base + Extra-bitola + Extra-qualidade. As duas primeiras parcelas são fixas para a mesma bitola. Somente na 3.^a parcela é que temos uma diferença de custo, conforme a tabela de preço da CSN (7):

Extra-qualidade aço COR-TEN-A	Cr\$ 305,50/ton
Extra-qualidade aço A-36	<u>Cr\$ 103,00/ton</u>
Diferença a favor do A-36	Cr\$ 202,50/ton

Como o aço COR-TEN dispensa galvanização, estimada em ... Cr\$ 580,00/ton, pela FEM, a diferença de custo passa a ser a seu favor em cerca de Cr\$ 377,00/ton.

Então, além de todas as vantagens retrocitadas, podemos acrescentar este fato sumamente importante: redução de custo.

2.11 Comparação de custos

Para se ter uma idéia mais exata do que representará a redução dupla: de peso e de custo, vamos tomar como referência a linha de transmissão Bertiooga - São Sebastião, com uma extensão prevista de 100 Km. Admitindo-se a utilização de estruturas para 138 kV, teríamos:

<u>Aço</u>	<u>Peso Total</u> <u>(ton)</u>	<u>Custo Unit.</u> <u>Cr\$/t</u>	<u>Custo Total</u> <u>Cr\$</u>
A - 36	1.000 t	2.500,00	2.500.000,00
COR-TEN-A	800 t (-20%)	2.250,00 (-10%)	1.800.000,00
Diferença a favor do aço COR-TEN			700.000,00

Acrescentando a economia na montagem, referente à diferença de peso de 200 ton, teremos cerca de mais Cr\$... 100.000,00, que totalizam Cr\$ 800.000,00.

Teriam que ser somadas também as economias no transporte.

Porém, lembrando que o objetivo inicial era resolver o problema da corrosão, acreditamos que não poderiam ser melhores os resultados conseguidos.

2.12 Problemas a curto prazo

Infelizmente não chegamos ainda à solução completa. Com tantas e tão grandes vantagens a favor do aço COR-TEN-A, será de grande interesse econômico a generalização do seu emprego: nas estruturas de todas as linhas de transmissão e de todas as subestações. Em 1971 a CESP adquiriu mais de 25.000 toneladas de estrutura para linhas de transmissão. Só em peso de material, teria economizado 5.000 toneladas, se tivesse sido adotado o aço COR-TEN.

Como não podemos depender de um único fornecedor de estruturas, procuramos a CSN sobre o fornecimento de cantoneiras de abas iguais. Resposta: até à bitola mínima de 2 1/2" depende da quantidade, para fins de programação.

Abaixo de 2 1/2" a CSN não lamina.

Acontece que 60% do peso das estruturas, em média, abrangem as cantoneiras abaixo de 2 1/2". Nas estruturas de aço COR-TEN, fabricadas pela FEM, os perfilados abaixo de 2 1/2" foram laminados pela MONTEPINO, em pequena quantidade e sob a supervisão da CSN. Mas, para laminação conti

nua de grandes quantidades, dependem da instalação de no vos equipamentos, estimados em mais de 2 milhões de cruzei ros e da garantia de pedidos firmes num período de 2 anos.

A FAV-FERRO-AÇO Vitória, Companhia do Governo Federal, co mo a CSN, dispõe de equipamentos modernos para a laminação de todas as bitolas, desde as menores até as de 4", 5" e 6", utilizadas na fabricação das estruturas de linhas de transmissão.

Mas a FAV, além de depender do acordo com a CSN, para o fornecimento do aço COR-TEN-A, está em fase de produção ex perimental de um aço A-242. Embora este aço tenha a gran de vantagem da redução de peso da estrutura, ele precisa - ser galvanizado. Assim, para o aço A-242, em vez de uma redução do custo unitário entre 10% e 15%, teremos um a crêscimo de mais de 30%, que sobrepõe a economia de 20% em peso.

2.13 Uma solução: importar

Ou as cantoneiras, parafusos, arruelas e chapas, para for necimento aos fabricantes, ou, então, importar as estrutu ras prontas, com todos os seus pertences, o que é mais sim ples. Com a vantagem da Concorrência Internacional dos três tipos de aços: COR-TEN, MAYHARI e YAW-TEN.

É claro que esta solução não interessa à economia nacional.

2.14 Interesse geral

Trouxemos este assunto ao SEMINÁRIO, na certeza de que sin tonizaria a atenção geral e despertaria em todos o mais vi vo interesse pela matéria.

Acreditamos agora que o esforço conjunto conduzirá a me lhor solução, aquela que atenderá os interesses nacionais, satisfazendo usuários e fabricantes.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - ESPECIFICAÇÃO CESP/SUM/SE/4003: "Recomendação para Estruturas Metálicas de Linhas de Transmissão".
- 2 - Raws, J. A. : - "VEPCO 500 kV LINE ADVANCES NEW", pags. 44/46 - Electrical World, nº 26 - 1962.
- 3 - Carl R. Weymueller: "WHAT YOU SHOULD KNOW ABOUT SPECIFICATIONS FOR HIGH-STRENGTH STEELS", pag. 84 - Metal Progress Magazine, Ag-69.
- 4 - Seymour K. Coourn: "WEATHERING STEEL FAVORED BY ARCHITECTS", pag. 77, Metal Progress Magazine, Ag-69.
- 5 - Data Sheet: "COMPOSITION PROPERTIES, AND PRODUCERS OF HIGH STRENGTH STEELS", pag. 94 - tab. V, Metal Progress Magazine, Ag-69.
- 6 - CSN - Catálogo de Produtos.
- 7 - CSN - "Tabelas de Preço" - pags. 32/33 - Ag-71 (em vigor).

OBRA: GTR — GRUPO DE ESTUDOS DE TRANSMISSÃO

DES. S. HERNANDEZ

ESC. —

VER.

Fl. de

ASSUNTO: EMPREGO DO AÇO COR-TEN-A NA FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS DE L.T.s.

DES. N.º A4-3.559

SP/GTR/08

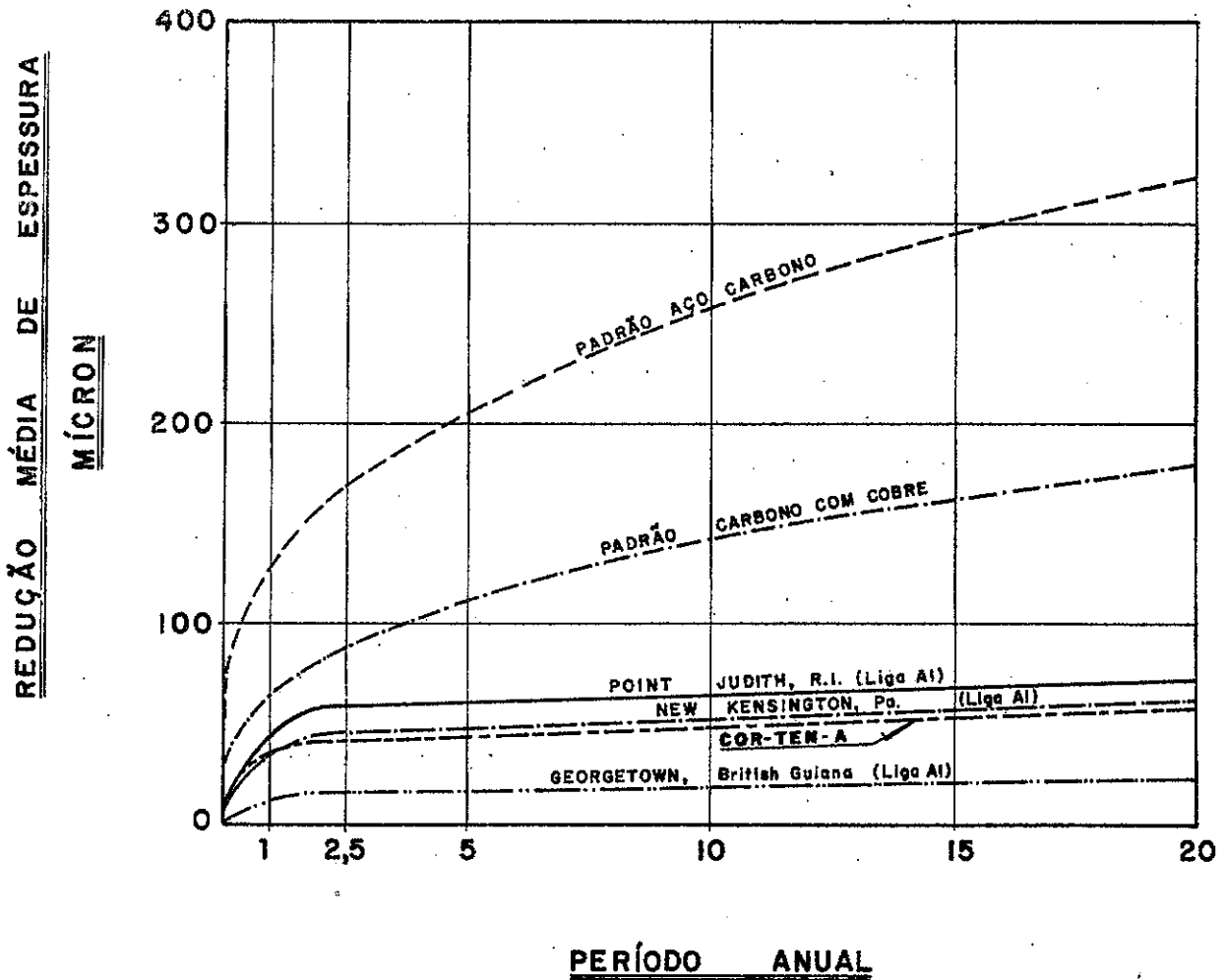


ILUSTRAÇÃO 2.4-1