

In: SEMINARIO "USO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO", 3., São Paulo, SP,
28 jun.-19 jul. 1988. Anais. São Paulo, CTCM, 1988.
p.223-228

EMPREGO DE CABOS DE AÇO NA CONSTRUÇÃO DE CABOS-TRELIÇA (TENSO-ESTRUTURAS)

Roberto L. A. Barbato

da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo

José Jairo de Sáles

da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade
Estadual Paulista

1- CONCEITUAÇÃO

As coberturas pênseis, também conhecidas como tenso-estruturas, compõem-se essencialmente de um sistema estrutural formado por cabos de aço e por um sistema de vedação que é fixado aos cabos. Os cabos que formam o sistema estrutural podem ser livremente suspensos ou, quando associados entre si, protendidos. No primeiro caso a cobertura é dita não protendida e no segundo é dita protendida ou pré-tensionada. As duas formas mais usuais de associação dos cabos geram dois sistemas estruturais distintos: os cabo-treliça e as cestas protendidas. Nos cabos-treliça são dispostos em um mesmo plano um cabo com concavidade voltada para cima, usualmente chamado de cabo portante, e um cabo com concavidade voltada para baixo, chamado de cabo tensor. A ligação entre os cabos é realizada por hastes verticais ou inclinadas, que dependendo da posição relativa existente entre os cabos, podem trabalhar tracionadas ou comprimidas. Na figura 1 são apresentadas algumas das formas mais usuais de cabos-treliça. Nas cestas são dispostas, transversalmente uma família de cabos portantes e uma família de cabos tensores, compondo assim uma superfície com dupla curvatura reversa. Na figura 2 apresentam-se algumas formas de cestas protendidas.

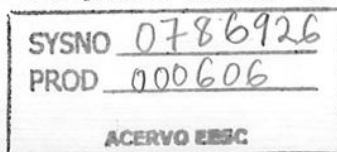
2- EXEMPLOS DE COBERTURAS PÊNSEIS COM CABOS-TRELIÇA

Uma das primeiras aplicações de cabos-treliça foi na cobertura do Auditório de Utica, Nova Iorque, construída em 1959. Trata-se de uma cobertura de planta circular com 73,15m de diâmetro, 4.200m² de área e em cabos-treliça bi-convexos com hastes verticais. Projeto: Gehron & Seltzer; Cálculo: Lev Zetlin & Associates. (Figura 3)

Outra importante aplicação do cabo-treliça é a cobertura do Estádio de Estocolmo, construído em 1960. É uma cobertura de planta retangular com vãos variando de 72 a 83m e 10.000m² de área coberta. Empregaram-se cabos-treliça, bicôncavos com hastes inclinadas. Projeto: Paul Hedqvist; Cálculo: David Jawerth. (Figura 4)

A cobertura do Teatro ao ar livre em Otigheim, construída em 1961, abriga 3.850 espectadores nos seus 2.200m² de área coberta. A estrutura é em cabo-treliça bicôncavo com 40m de vão. Projeto: Heid & Hottinger, Cálculo: D.Jawerth. (Figura 5)

Outra importante cobertura é a de uma fábrica em Lesjöfors, Suécia, construída em 1959, com 80m de vão e 2.000m² de área. A estrutura é formada por 5 cabos-treliça, interligados com 16m cada um, formando o vão total de 80m. Projeto: L.Bergstrom; Cálculo: Lindberg. (Figura 6)



Semelhante a esta cobertura é a do Pavilhão de Exposições de Carrara, Itália, que é formada, no ponto de maior dimensão, por três cabos-treliça também contínuos com 45m de vão, perfazendo 135m de vão total. Área coberta é de 10.000m². Projeto: S.Telara, G.Cacciatori, D.Geloni; Cálculo: M. Majowiecki. (Figura 7)

A cobertura do Estádio Victor Hugo, em Bordeaux, França, é formada por alguns cabos-treliça dispostos paralelamente, e por outros cabos-treliça dispostos radialmente formando assim uma cobertura com planta irregular. Os vãos dos cabos variam entre 22m a 50m cobrindo uma área total de 2.650m². Projeto: H.Shultz; Cálculo: D.Jaerwerth. (Figura 8)

3- COMPORTAMENTO, FORMA E CUSTO DO CABO-TRELIÇA

Nas coberturas protendidas os cabos trabalham solidariamente, de modo que as ações se distribuem entre ambos e de acordo com a rigidez de cada um. Assim, as forças verticais de cima para baixo aumentam a solicitação do cabo portante e reduzem a solicitação do cabo tensor. Para forças de sentido contrário acontece o oposto.

Devido a este comportamento solidário, as coberturas protendidas apresentam deslocamentos menores que os apresentados pelas não protendidas e comparáveis aos das estruturas metálicas usualmente empregadas para os mesmos vãos.

A força de protensão deve ser de intensidade tal que mantenha, ao longo da vida útil, a estrutura sempre tracionada. Cabe ressaltar que os cabos devem possuir sistemas de ajustes, que permitam compensar as perdas de protensão ocorridas ao longo do tempo.

Quanto à forma externa, ou em planta, as coberturas pênseis se adaptam a todas as concepções, incorporando a leveza que lhes é peculiar, resultando um conjunto extremamente estético e agradável à vista.

Por serem estruturas extremamente leves e de fácil execução, os cabos-treliça têm sido empregados com grande sucesso no mundo inteiro. De fato, consegue-se vencer com cabos-treliça, vãos em torno de 100m com peso próprio da ordem de 5kgf/m². Além disso, a sua montagem dispensa o emprego de equipamentos pesados e consome cerca de 0,2 homem hora por metro quadrado coberto.

Os gráficos da figura 9 elaborados a partir de estudos comparativos realizados por Majowiecki^[4], e por Sáles^[6], mostram que os cabos-treliça são as estruturas que apresentam o menor custo de construção para vãos acima de 40m.

4- BIBLIOGRAFIA

- 1 - Barbato, R.L.A. "Sobre o comportamento estático dos cabos de coberturas pênseis", EESC-USP, 1972.
- 2 - Barbato, R.L.A. "Contribuição ao estudo das coberturas pênseis em casca protendida de revolução", EESC-USP, 1975.
- 3 - Debs, A.L.H.C. "Contribuição ao estudo das coberturas pênseis com cabos-treliça", EESC-USP, 1983.
- 4 - Majowiecki, M. "Tensostutture: Projeto e Verifica", Ed. Cisia - Milano, 1985.
- 5 - Oshima, E. "Cálculo de cabos-treliça mediante o emprego de computador", EESC-USP, 1987.
- 6 - Sáles, J.J. "Projeto e viabilidade econômica de coberturas pênseis com cabos-treliça", EESC-USP, 1988.

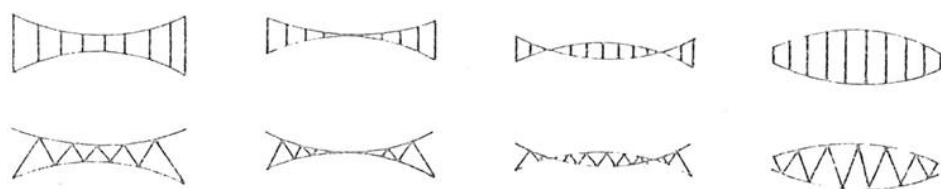


FIGURA 1 - FORMAS DE CABO-TRELIÇA

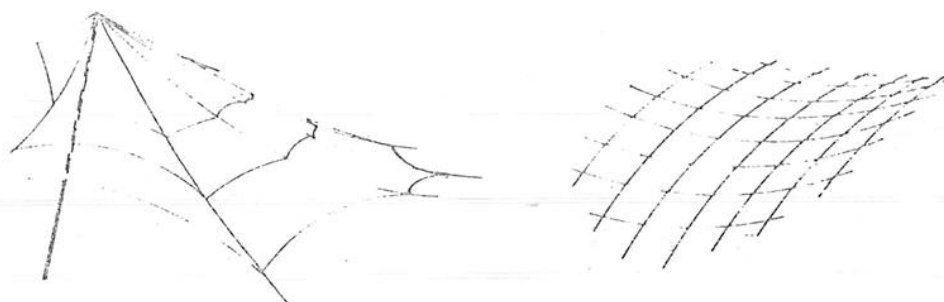


FIGURA 2 - FORMAS DE CESTAS PROTENDIDAS

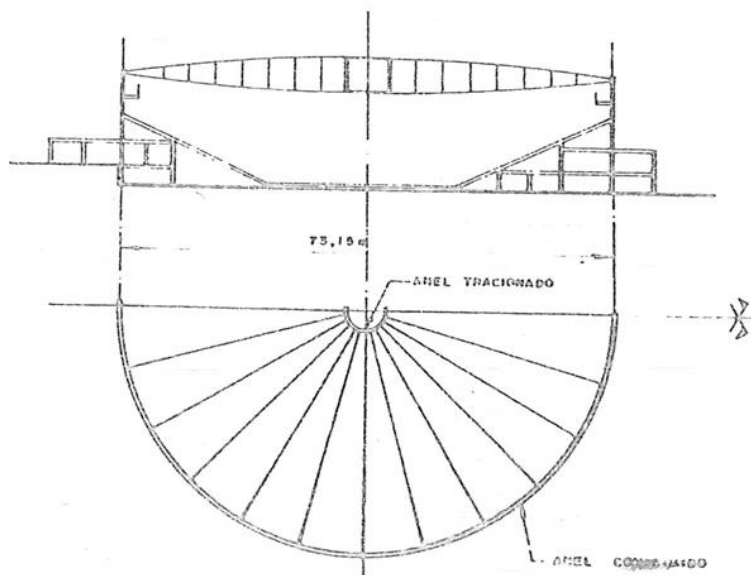


FIGURA 3 - ESQUEMA DO ESTÁDIO DE UTICA - N. Y

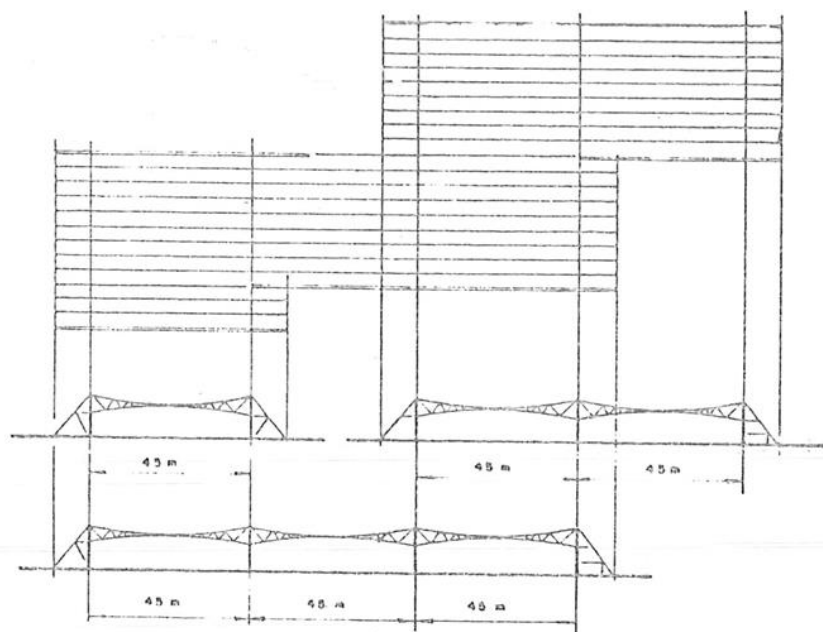


FIGURA 7 — ESQUEMA DO PAVILHÃO DE CARRARA

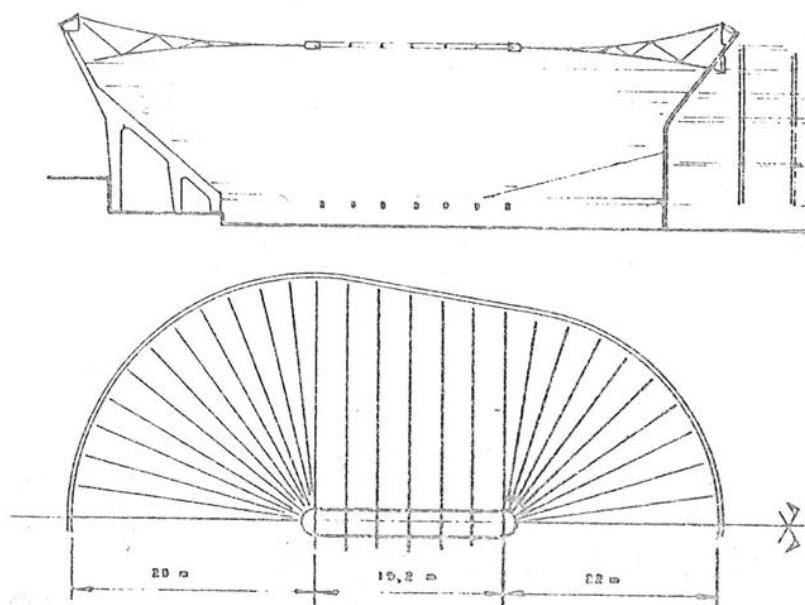
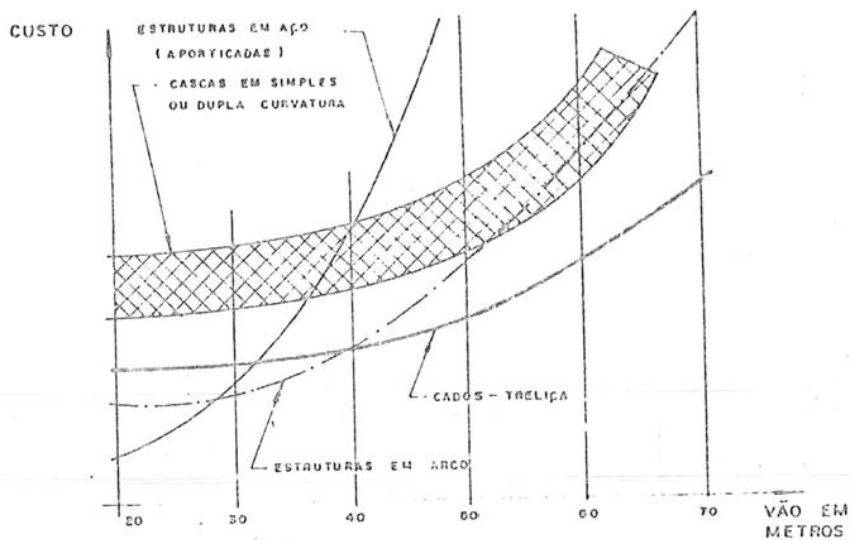
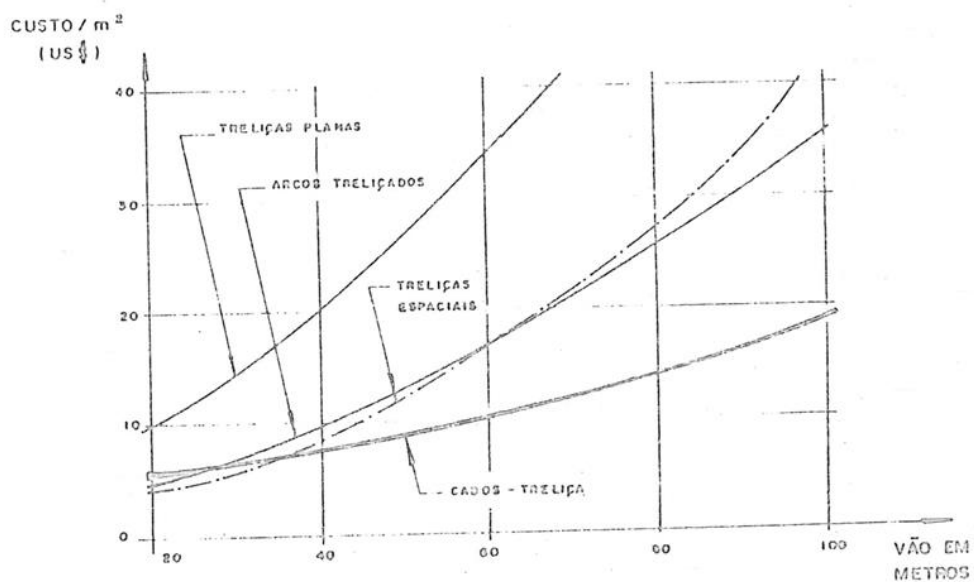


FIGURA 8 — ESQUEMA DO ESTÁDIO VICTOR HUGO



a) Estimativa EUROPEIA - ver [4]



b) Estimativa Nacional - ver [6]

FIGURA 9 - ESTIMATIVA E COMPARAÇÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO