

**A APLICAÇÃO DE TENSOESTRUTURAS ARQUEADAS (BARREL VAULTS)
NA ARQUITETURA CONTEMPORANEA**

Paulo Andre B. Barroso

Eng. Civil / Estruturas / M.Eng. Tensoestruturas

Anhalt University of Applied Sciences – Dessau - Alemanha

TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia

Av. Santos Dumont 2626 sala 1111 – Fortaleza – CE – BRASIL

e-mail: pa@tensoestruturas.com

Key Words: tensoestruturas arqueadas; barrel vaults

RESUMO / ABSTRACT

Nosso trabalho visa a apresentação de soluções reais do uso de tensoestruturas para 04 coberturas de edificações de diferentes finalidades, cujas geometrias foram concebidas tendo como base o arco circular. Abordaremos os aspectos mais importantes do projeto, fabricação e montagem dessas tensoestruturas, com ênfase nas principais diferenças e vantagens das estruturas arqueadas.

This paper presents 04 real solutions on the use of tensostructures, for different kind of buildings, which geometries were developed based on the circular arch concept. We discuss most important facts with respect to the design, fabrication and installation of such tensile roof covers, focusing the main differences and advantages of them.

1 – INTRODUÇÃO

Desde que o homem aprendeu a utilizar os materiais e ferramentas oriundas de seu meio ambiente, por mais primárias que estes e estas tenham sido, ele se deu conta, intuitivamente, que peças arqueadas (sujeitas primariamente a esforços axiais) eram mais eficientes que as retas ou planas (sujeitas à flexão). Assim naturalmente, durante grande parte da existência humana ancestral, as cavernas (cobertura abobadadas) foram escolhidas como abrigo mais seguro contra a intempérie e outros inimigos naturais.

O arco como elemento construtivo racional surgiu na Antiguidade (3500 AC), sendo adotado pelos povos Egípcios, Assírios, Babilônicos e Gregos antigos, entre outros. Mais tarde os Romanos dão uma ênfase especial aos arcos, utilizando-os na arquitetura de construções monumentais.[1]

Entretanto, foi por volta do ano 1100 DC (quase fim da Idade Media) que os arcos e seus derivativos geométricos, tiveram sua consolidação como importante elemento construtivo-arquitetônico-estrutural. A partir de elementos geométricos em arco, foram projetadas e construídas varias das mais importantes obras do patrimônio cultural da humanidade: as monumentais catedrais góticas, algumas existentes até hoje.[1]

Com o advento da matemática moderna, e da execução de cálculos de alta complexidade operados pelos processadores digitais, os arcos tornaram-se mais sofisticados, tendo sua aplicabilidade nas mais variadas áreas da engenharia e da arquitetura de vanguarda.

As membranas tensionadas têm nas formas arqueadas, a base da sua sustentabilidade.



Fig.1: Aqueduto de Segovia – Seculos I e II tagem



Fig.2: Moderna tensocobertura arqueada – em montagem

2 – DEFINIÇÃO / NOMENCLATURA

Define-se primariamente uma cobertura arqueada, ou em túnel, ou na forma de barril, àquela cobertura cujo comprimento é maior do que a largura e cuja seção transversal tem a forma de um arco. Na língua inglesa este tipo de cobertura é chamado de “barrel vault” (algo como abóbada em forma de barril).

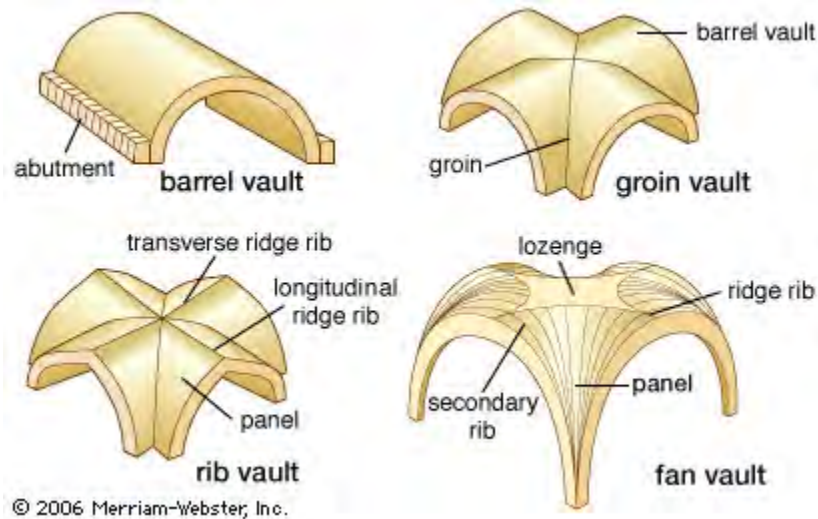


Fig.3 Características geométricas de uma “barrel vault” rib vault. [Art]. In *Encyclopædia Britannica*. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/media/66137/Four-common-types-of-vault>



Fig.4: Catedral de Saint Denis (1140-1144), mostrando as costelas arqueadas suportadas por colunas esbeltas (photo: Athena Review)].

3 – ESTRUTURAS ARQUEADAS

As primeiras estruturas a se utilizarem dos arcos como elemento construtivo foram construídas com materiais extraídos diretamente da natureza: pedra e madeira. Muito mais tarde com o desenvolvimento das indústrias do cimento e metalúrgicas, surgiram os arcos em concreto e aço (ou mistos). Modernamente, pode-se construir superfícies de coberturas arqueadas diretamente com membranas têxteis elásticas.

Os arcos, em se tratando de estruturas planas, podem ser construídos quanto ao seu comportamento estrutural das seguintes formas principais:

- Arcos de apoios fixos bi-rotulados – fundações sujeitas a somente reações verticais e horizontais;
- Arcos de apoios fixos tri-rotulados, ficando a terceira rótula no centro do vão – fundações ainda sujeitas a somente reações verticais e horizontais;
- Arcos com apoios totalmente engastados – fundações estão sujeitas além dos esforços acima, momentos de flexão.

Quanto a sua forma geométrica, os arcos podem ser classificados comumente em:

- Arcos circulares plenos – quando a flecha é igual ao raio do círculo gerador
- Arcos circulares abatidos – quando a flecha é menor que o raio
- Arcos pontudos – gerados por círculos em dois centros diferentes
- Arcos ogivais – cuja curvatura tem a forma de uma ogiva (arquitetura gótica)
- Arcos parabólicos – aqueles com a curvatura descrita por formulação matemática da parábola
- Arcos funiculares – cuja forma é a simétrica de um cabo, construídos com as mesmas dimensões, fixados nas extremidades de mesmo nível e suportando a carga de seu próprio peso. Estes são os arcos mais otimizados pois toda a sua carga (vertical e uniformemente distribuída) é transferida aos apoios por somente esforços internos axiais.

De um modo geral, os arcos circulares ou aproximadamente circulares, bi-rotulados podem ser calculados, determinando-se simplificadaamente suas reações pelas seguintes expressões:[2]

$$\text{Reação vertical} \quad V = q \cdot L / 2$$

$$\text{Reação horizontal} \quad H = q \cdot L^2 / 8 \cdot f$$

q = carga uniformemente distribuída

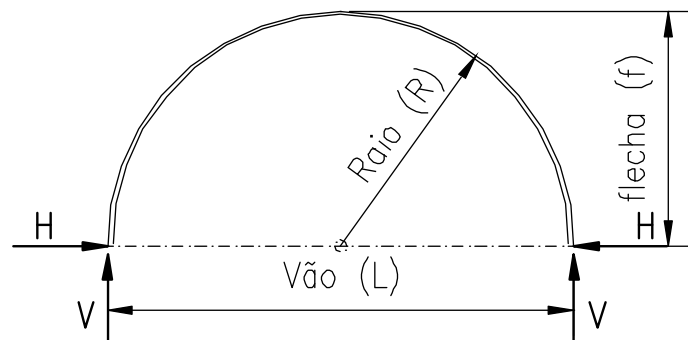


Fig.5: Nomenclatura das grandezas geométricas dos arcos

Para melhor entendimento do comportamento estrutural dos arcos, temos abaixo um estudo comparativo das variações das reações horizontais em função das flechas, para arcos bi-rotulados de mesmo vão.[2],[3]

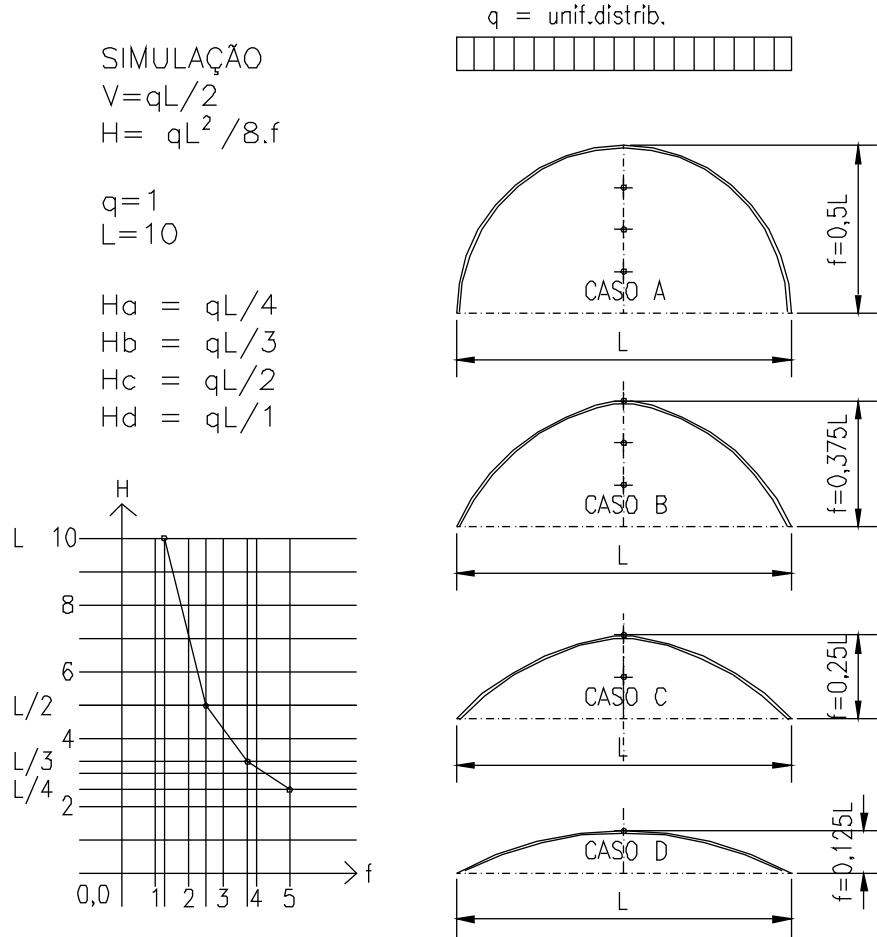


Fig.6: Estudo comparativo das reações horizontais em um arco

Note-se que as reações horizontais aumentaram em 4 vezes entre o arco pleno (CASO A) e o arco mais abatido (CASO D).

O esforço axial máximo é calculado pela expressão:

$$N = \text{sqrt}(V^2 + H^2)$$

Para os cabos parabólicos, (aproximação mais simples das curvas funiculares), sem protensão e para cargas uniformemente distribuídas, usa-se expressão análoga para determinação da reação horizontal:[4]

$$H = q \cdot L^2 / 8 \cdot f$$

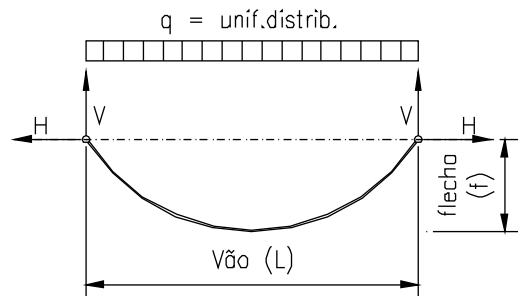


Fig.7: grandezas geométricas em um cabo parabólico

4 – ARCOS METALICOS

Dentre os materiais construtivos mais utilizáveis, de mais flexibilidade no uso e de melhor taxa custo/benefício, o aço tem um papel preponderante na construção civil em geral. Assim sendo, adotou-se este material para a aplicação de elementos portantes em tensocoberturas arqueadas.

Devido a sua extraordinária resistência aos esforços externos, não só às cargas uniformemente distribuídas, mas também às cargas assimétricas dos ventos, os arcos metálicos (principalmente os treliçados) tem demonstrado na prática, enormes vantagens econômicas sobre outras modalidades construtivas equivalentes, por exemplo, os pórticos retos de duas águas.

As estruturas arqueadas metálicas e treliçadas, podem ser desmembradas em partes e sub-partes construtivas, pois sua rigidez ajuda e garante maior estabilidade nas montagens em campo.

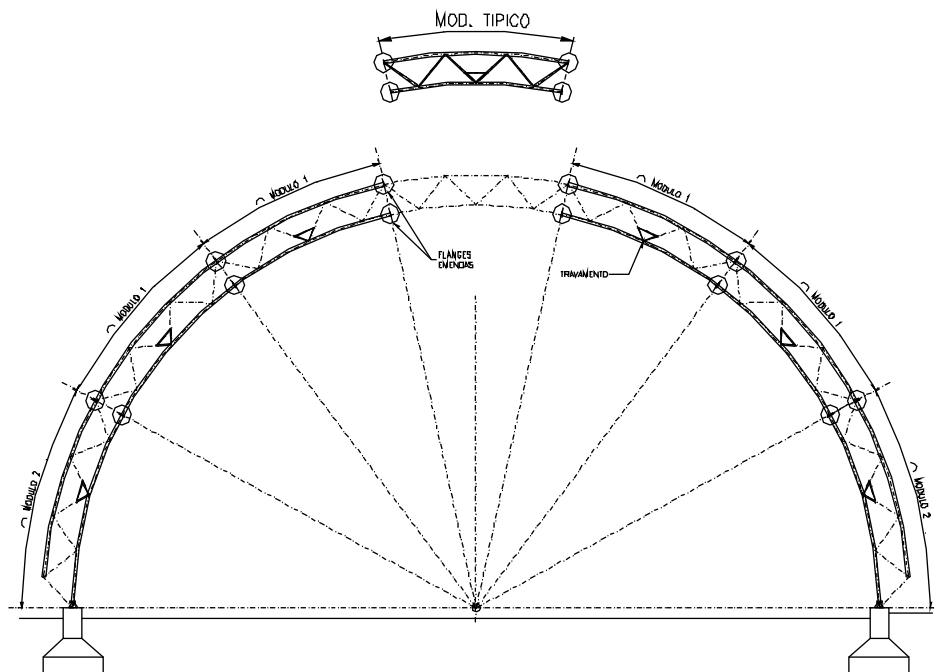


Fig.8 Desenho esquemático de um arco treliçado com módulos típicos em destaque (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

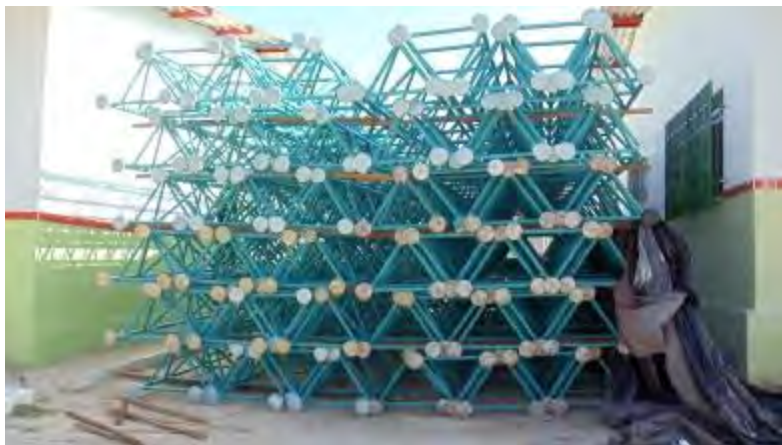


Fig. 9 Partes de uma estrutura metálica de produção seriada prontas para embarque

5 – MEMBRANAS EM COBERTURAS ARQUEADAS

Exatamente pela sua grande flexibilidade (flexibilidade física e de aplicação nas mais variadas formas geométricas), as membranas têxteis tensionadas são empregadas em coberturas curvas por apresentarem grandes vantagens construtivas:

- Facilidade na aplicação em superfícies curvas, de dupla curvatura (anticlásticas);
- Estanqueidade total uma vez que a membrana é fabricada com emendas impermeáveis por solda em alta frequência;
- Rapidez na montagem ou desmontagem das coberturas;
- Facilidade no transporte, por dobramento da membrana em partes menores;
- Beleza arquitetônica proporcionada pela translucidez e cores;
- Grande resistência física e durabilidade por volta dos 20 anos;
- Resistência química à intempérie e raios UV;
- Devido a sua grande resistência à tração, ajuda na estabilização geral do sistema;
- A cobertura propriamente dita não necessita de terças; utiliza-se de peças de travamentos com grandes espaçamentos;
- Baixíssimo peso próprio, em comparação aos outros materiais de cobertura;
- Aplicações em galpões industriais e comerciais, armazéns, arenas poliesportivas, passarelas de pedestres, etc.

Apresentamos abaixo, a relação simplificada entre geometria e tensões que governam as membranas ou cabos em dupla curvatura:

$$T1/R1 = T2/R2$$

$$T = p \cdot R$$

onde

T = tensão ou força

p = pressão ou carga linear

R1 e R2 raios de curvatura da membrana nas duas direções principais.

Podemos deduzir que para uma tensão admissível constante na membrana, quanto menor o raio, maior é a capacidade de carga desta membrana.

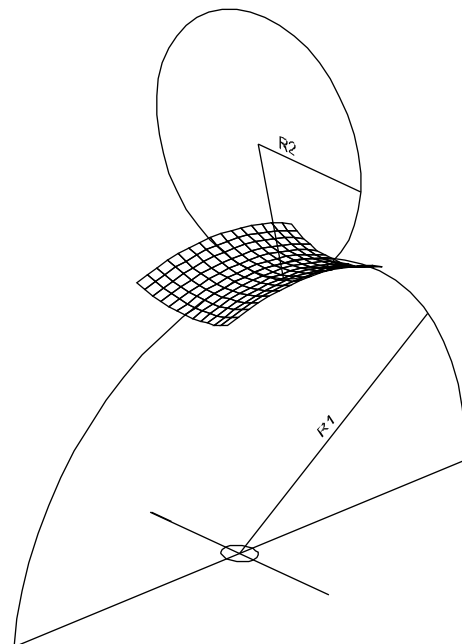


Fig. 10: Relação entre raios de curvatura e tensões

6 – PROJETOS

Apresentamos a seguir 04 projetos estruturais de nossa autoria, cujas coberturas são primariamente caracterizadas pelo emprego de membranas tensionadas suportadas por arcos metálicos.

6.1 Fábrica Desmontável (*)

Ficha técnica:

Cliente: (*)

Plano diretor e projeto conceitual: Arq. Herbert Rocha

Projeto conceitual e estrutural: Eng. Paulo Andre Barroso

Status: Obra em andamento

(*) por motivo de sigilo contratual, não podemos citar o nome da obra, do contratante ou do local de construção.

6.1.1 Descrição Sumaria:

Trata-se de um grande galpão, medindo 110 m de comprimento por 40 m de largura, composto por arcos metálicos treliçados, bi-rotulados, apoiados de chão a chão, e espaçados a cada 10 m. Para maior ventilação e diminuição das pressões internas dos ventos, a cobertura é dotada de lanternins colocados ao longo das cordas superiores dos arcos. Os arcos têm vão livre de 40 m e flecha 20 m.

Esta estrutura e respectiva membrana da cobertura foram concebidas de maneira toda especial, com a finalidade da desmontagem após término do prazo de produção da indústria (de dois a cinco anos).



Fig.11: Simulação digital da implantação do complexo industrial (Arq. Herbert Rocha)

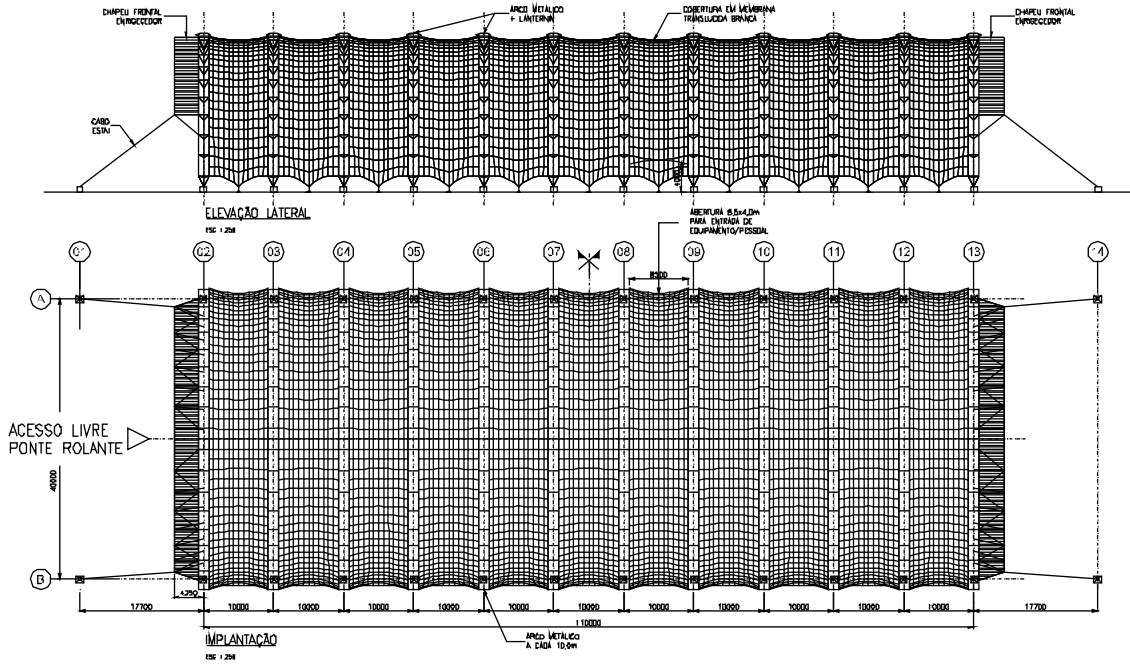


Fig. 12: Desenho de engenharia do projeto – Implantação e Elevação Lateral (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

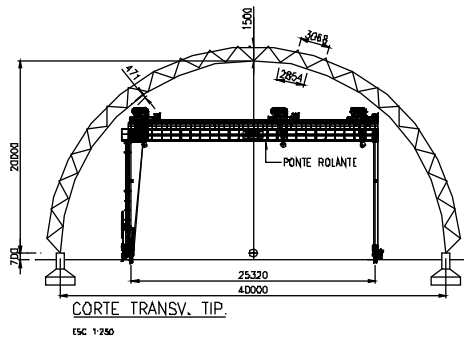


Fig.13: Desenho de engenharia do projeto – Corte Típico (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

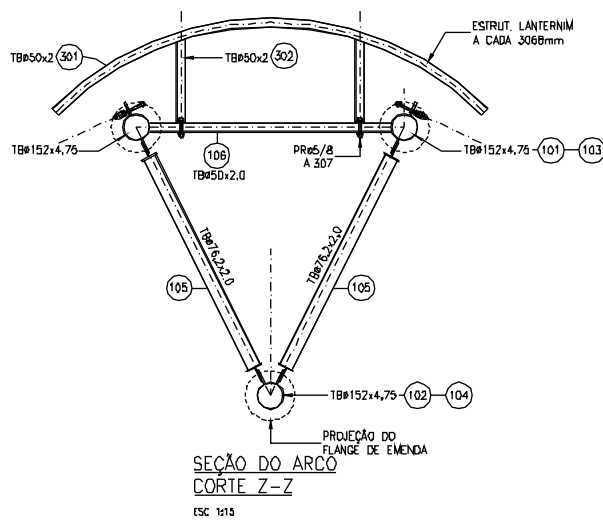


Fig. 14 Desenho de engenharia do projeto – Seção do Arco (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)



Fig. 15: Obra em andamento da montagem (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

6.1.2 Aspectos do cálculo

Para o cálculo e dimensionamento das partes metálicas e membranas foram levadas em consideração as prescrições das Normas Brasileiras e outras normas internacionais pertinentes.

- Vento: Velocidade Básica $V_0=30$ m/s (Região Nordeste)
- Sobrecargas: $Q=25$ kgf/m² (agindo somente nos arcos metálicos)

6.1.3 Resultados

Em se tratando de um trabalho sobre tensoestruturas, apresentamos aqui tão somente resultados relativos ao comportamento da membrana.

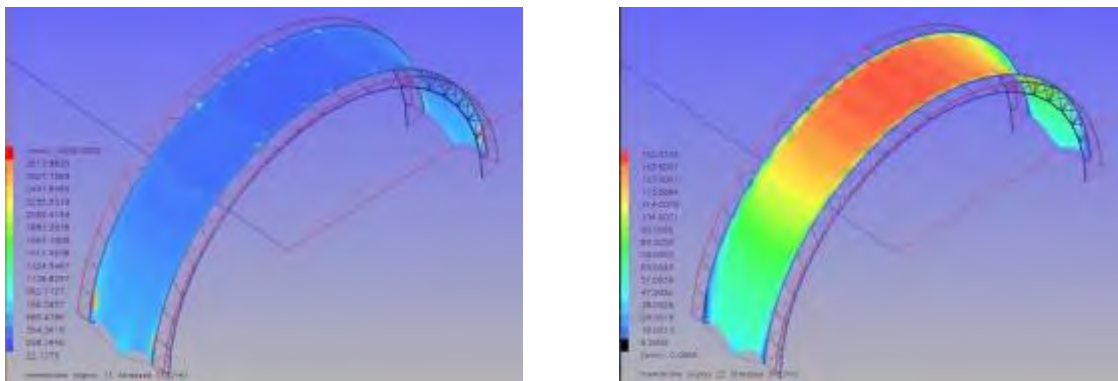


Fig. 16: Diagrama das tensões principais S11 e S22 para o Form Find (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

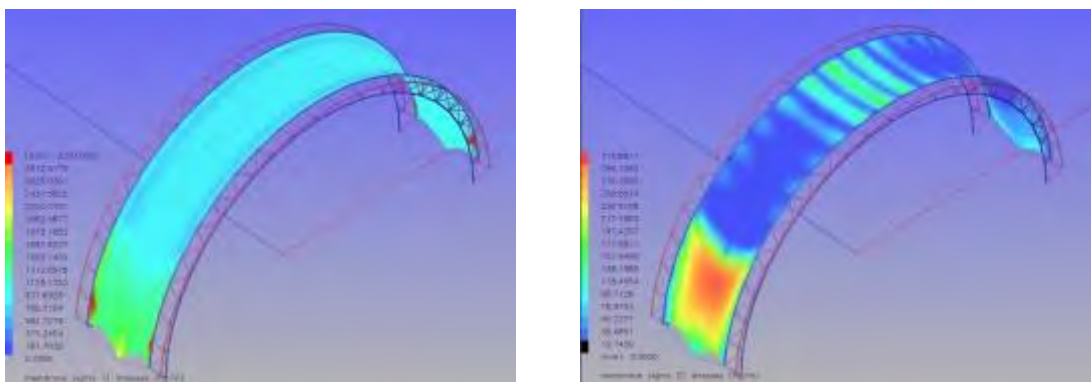


Fig. 17: Diagrama das tensões principais S11 e S22 para o as cargas de Vento 1 (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

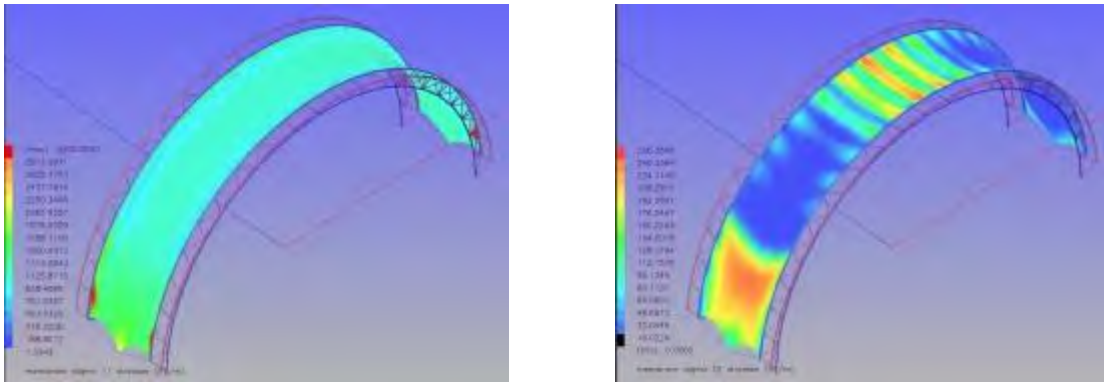


Fig. 18: Diagrama das tensões principais S11 e S22 para o as cargas de Vento 2 (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

Apresentamos acima apenas os dois casos de ação do vento, mais significativos.

6.1.4 Materiais Empregados

Para a execução deste projeto usamos os seguintes materiais:

a) – Membrana estrutural Tipo I: tecido de alta resistência de fabricação francesa, à base de fios de poliéster amalgamados em PVC e revestimento especial em PVDF, marca FERRARI Precontraint 902, com as seguintes propriedades:[5]

- Fios: 1000/1000 Dtex PES HT
- Peso: 950 g/m²
- Resistência tração: 440/380 daN/5cm
- Resistência ao rasgo: 55/55 daN
- Acabamento: branco translúcido
- Resistência ao fogo: Sim. Não propagas as chamas
- Durabilidade: 15 anos

b) – Estruturas metálicas: tubos e chapas fabricados em aço USI-SAC 250 / A36 ou equivalente, com acabamento em pintura de boa qualidade, conforme necessidade do projeto, quanto á durabilidade.

c) - Cabos para tensionamento: fabricação CIMAF tipo 6x19 AACI galvanizados, com torção regular, com resistência à ruptura de aproximadamente 200 Kgf/mm². Todos os acessórios serão confeccionados por forja em aço de alta resistência e galvanizados a fogo;

6.2 Faculdade Leão Sampaio – Prédio do Laboratório – Juazeiro do Norte – CE

Ficha técnica:

Cliente: Instituto Leão Sampaio de Ensino Universitário Ltda.

Projeto conceitual: Arq. Rafael Magalhães

Projeto conceitual e estrutural: Eng. Paulo Andre Barroso

Status: Obra em andamento

6.2.1 Descrição Sumaria:

A cobertura, também projetada no mesmo sistema anterior, desenvolve-se ao longo de um comprimento de 100 m por 42 m de largura aproximadamente. O complexo estrutural é formado por arcos metálicos treliçados, bi-engastados, apoiados de chão a chão, e espaçados a cada 10 m. Como cobertura usamos uma membrana tensionada, fabricada em módulos de largura teórica 8,50 m e comprimento desenvolvido de 70% do arco, fixados a estes transversalmente, por sistema esticador/regulador. Nas extremidades usamos o sistema de mastros tubulares rotulados e ancorados ao solo por cabos de aço. Analogamente ao galpão industrial concebido anteriormente, e pelos mesmos motivos, a cobertura é dotada de lanternins colocados ao longo das cordas superiores dos arcos. Os arcos têm vão livre de 42 m e flecha de 17 m.

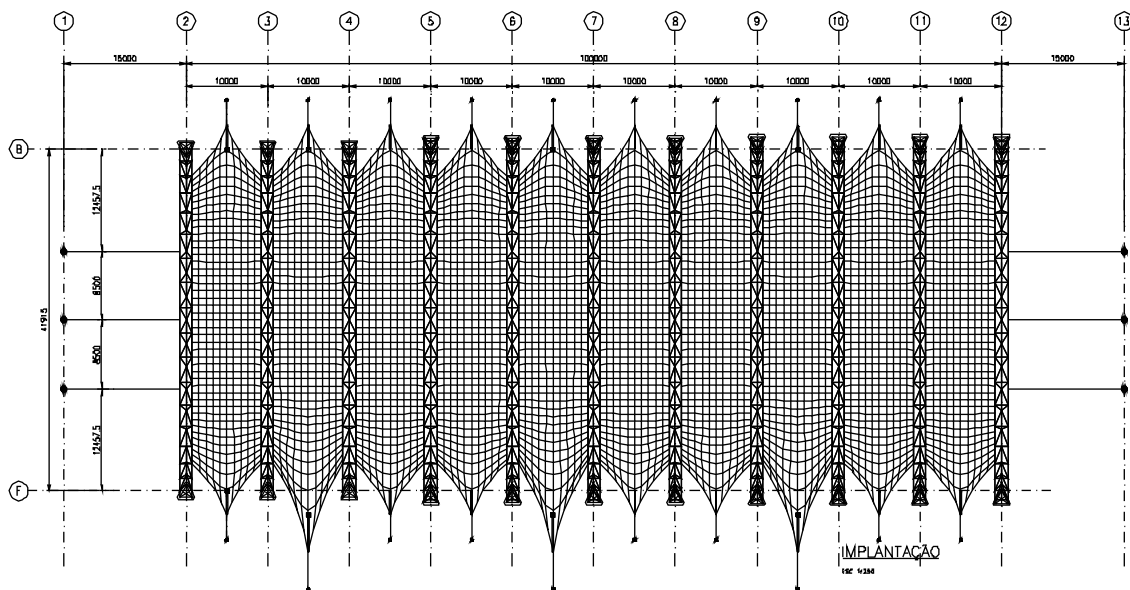


Fig. 19: Desenho de engenharia do projeto – Implantação (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

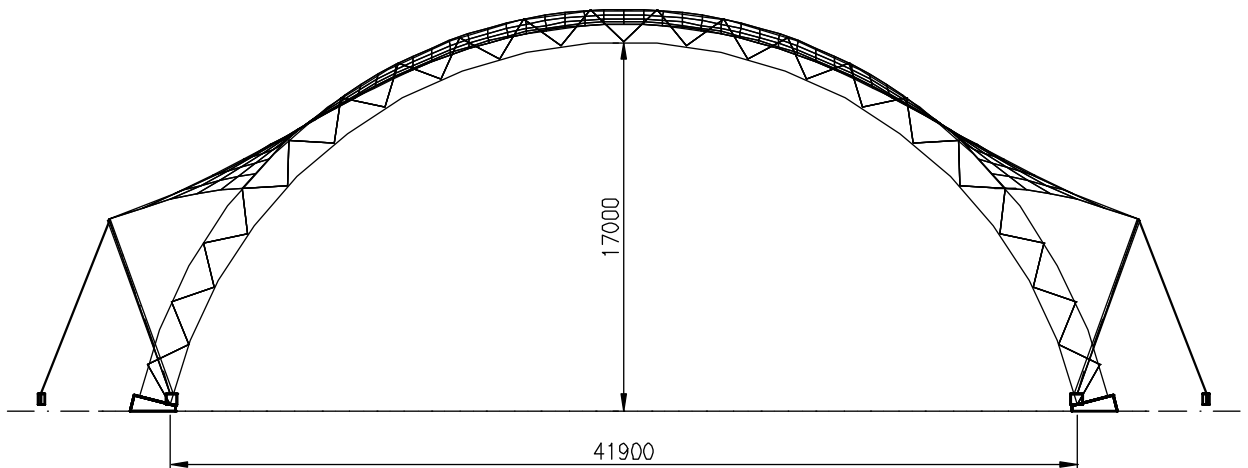


Fig. 20: Desenho de engenharia do projeto – Seção Transversal Típica (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

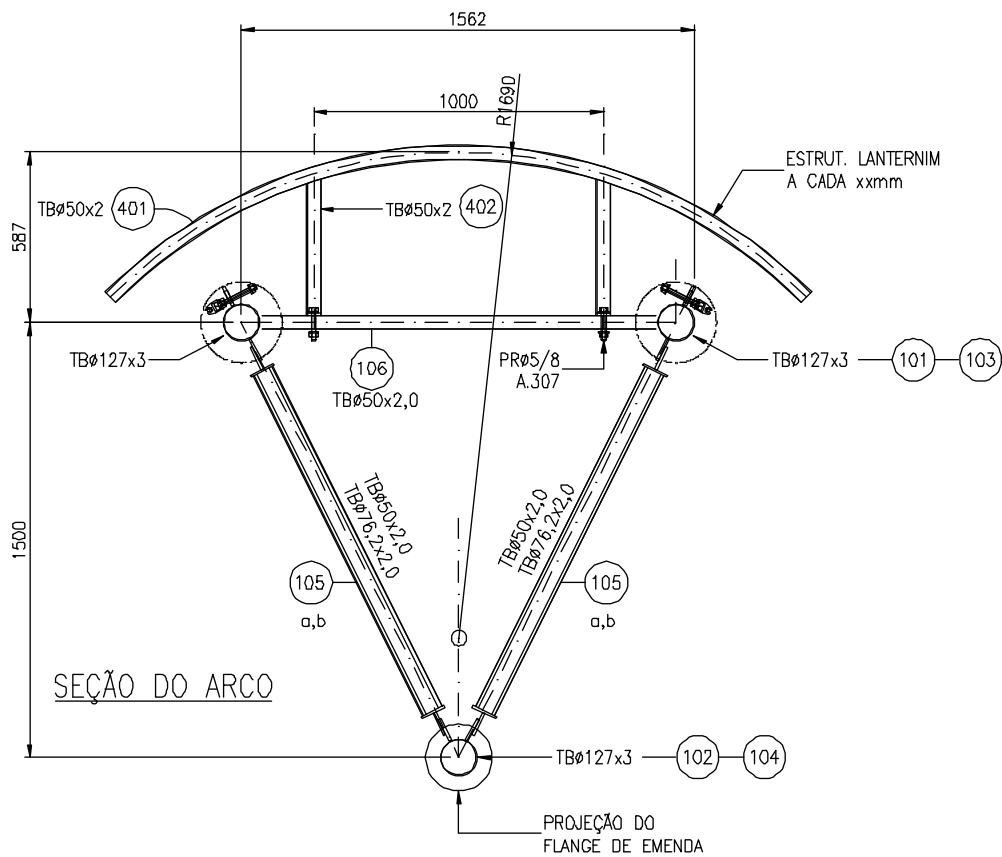


Fig. 21: Desenho de engenharia do projeto – Seção do Arco (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

Apesar da grande semelhança entre este projeto e o anterior, há algumas diferenças sutis devido às peculiaridades arquitetônicas, ambientais e estruturais, quais sejam:

- bases engastadas ao invés de rotuladas. Tomamos esta decisão para que tivéssemos maior estabilidade inicial durante a montagem, pois devido a existência da construção de uma edificação dentro do ambiente, haverá cuidados especiais e operações diferenciadas neste processo. A montagem se dará por módulos individuais fixados a partir das bases para cima;

- a geometria da membrana de cobertura difere um pouco do projeto anterior. Aqui a cobertura termina com seus vértices projetados para fora do alinhamento das bases, formando varandas para total ventilação do ambiente. As fixações destes vértices se dão por meio de mastros tubulares ancorados ao solo por cabos de aço.

6.2.2 Aspectos do cálculo

Da mesma forma que a estrutura do projeto anterior, o cálculo e dimensionamento das partes metálicas e membranas foram baseados nas prescrições das Normas Brasileiras e outras normas internacionais pertinentes.

- Vento: Velocidade Básica $V_0=30$ m/s (Região Nordeste)
- Sobrecargas: $Q=25$ kgf/m² (agindo somente nos arcos metálicos)

6.2.3 Resultados

Seguem abaixo, resultados das tensões principais na membrana.

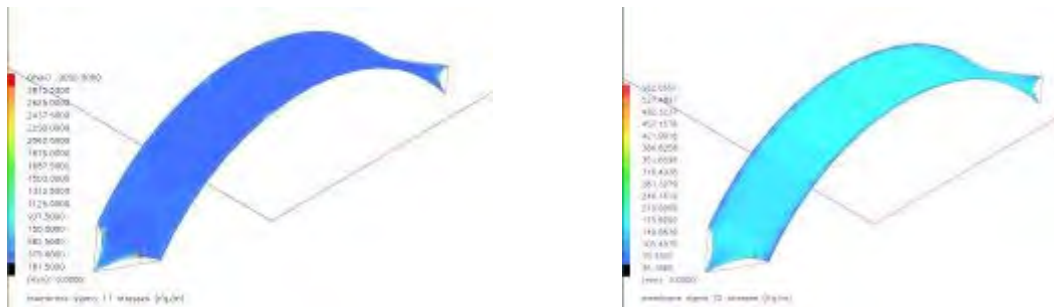


Fig. 22: Diagrama das tensões principais S11 e S22 para o Form Find (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

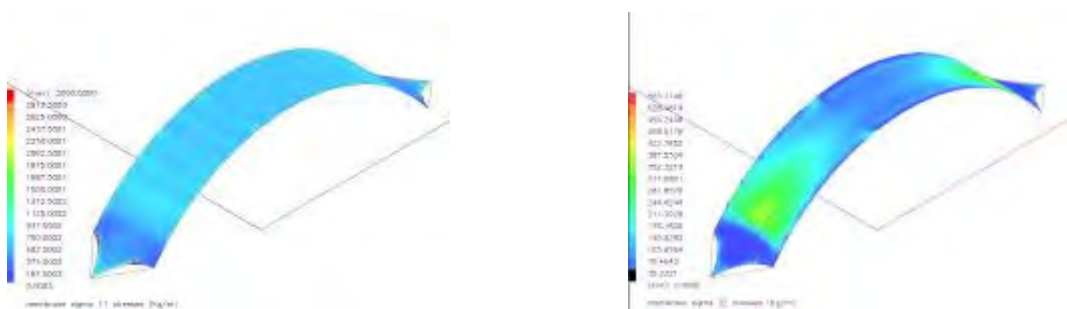


Fig.23: Diagrama das tensões principais S11 e S22 para o Vento 1 (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

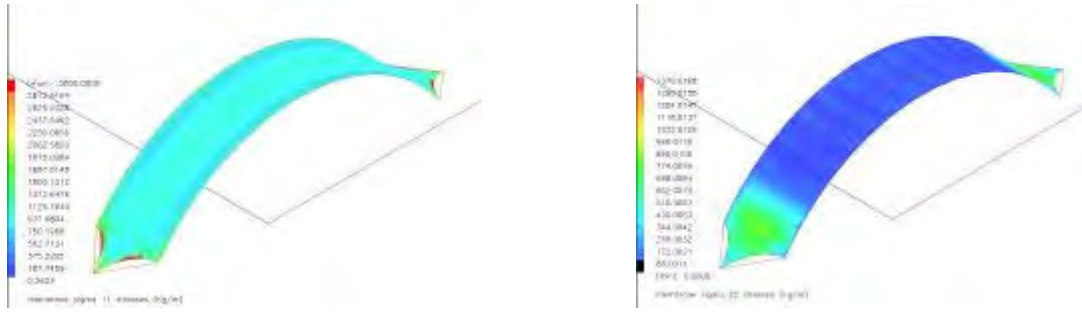


Fig.24: Diagrama das tensões principais S11 e S22 para o Vento 2 (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

Apenas para ilustração, apresentamos ainda alguns diagramas de deformação do arco metálico diante dos casos de carregamentos mais interessantes:

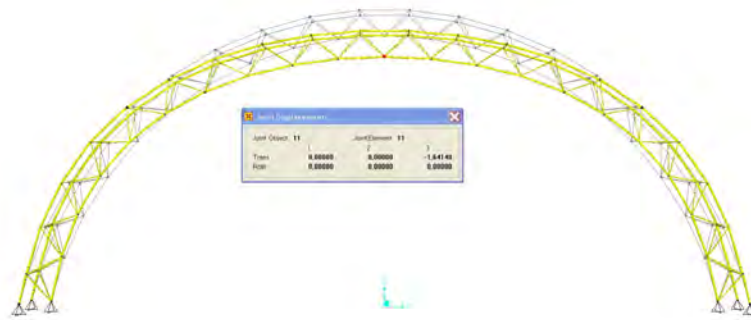


Fig.25: Geometria deformada ampliada – Combinação de Cargas 1 (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)



Fig.26: Geometria deformada ampliada – Combinação de Cargas 2 (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

6.2.4 Materiais Empregados

Neste projeto usamos os seguintes materiais:

a) – Membrana estrutural Tipo I: tecido de alta resistência de fabricação francesa, à base de fios de poliéster amalgamados em PVC e revestimento especial em PVDF, marca FERRARI Precontraint 1002, com as seguintes propriedades:[5]

- Fios: 1100/1100 Dtex PES HT
- Peso: 1050 g/m²
- Resistência tração: 420/400 daN/5cm
- Resistência ao rasgo: 55/50 daN
- Acabamento: branco translúcido
- Resistência ao fogo: Sim. Não propagas as chamas
- Durabilidade: 15 anos

b) – Estruturas metálicas: tubos e chapas fabricados em aço USI-SAC 250 / A36 ou equivalente, com acabamento em pintura de boa qualidade, conforme necessidade do projeto, quanto á durabilidade.

c) - Cabos para tensionamento: fabricação CIMAF tipo 6x19 AACI galvanizados, com torção regular, com resistência à ruptura de aproximadamente 200 Kgf/mm². Todos os acessórios serão confeccionados por forja em aço de alta resistência e galvanizados a fogo;

6.3 Ginásio Poliesportivo da Secretaria do Meio Ambiente de Estado do Ceará – Complexo Portuário do Pecém – CE.

Ficha técnica:

Cliente: SEMACE

Projeto conceitual: Arq. Herbert Rocha / Arq. Daniel Lenz

Projeto conceitual e estrutural: Eng. Paulo Andre Barroso

Status: Obra em andamento

6.3.1 Descrição Sumaria:

Este terceiro projeto, exatamente pelas características da rapidez na fabricação e montagem bem como também na possibilidade de rápida e fácil desmontagem, foi desenvolvido no mesmo sistema dos dois primeiros. A cobertura tem a finalidade do envelopamento de um ginásio poliesportivo e mede 60 m de comprimento por 30 m de largura – dimensões tomadas eixo-a-eixo. A estrutura é composta por arcos metálicos treliçados, bi-rotulados, apoiados de chão a chão, e espaçados a cada 10 m, sempre em analogia às estruturas anteriores. Neste caso usamos também uma membrana tensionada, tirando partido arquitetônico da necessidade de sombreamento maior em um lado do ginásio, aplicando-se varandas, dando uma leve assimetria ao conjunto. Da mesma forma, esta cobertura é dotada de lanternins colocados ao longo das cordas superiores dos arcos. Os arcos têm vão livre de 30 m e flecha interna de 12 m.

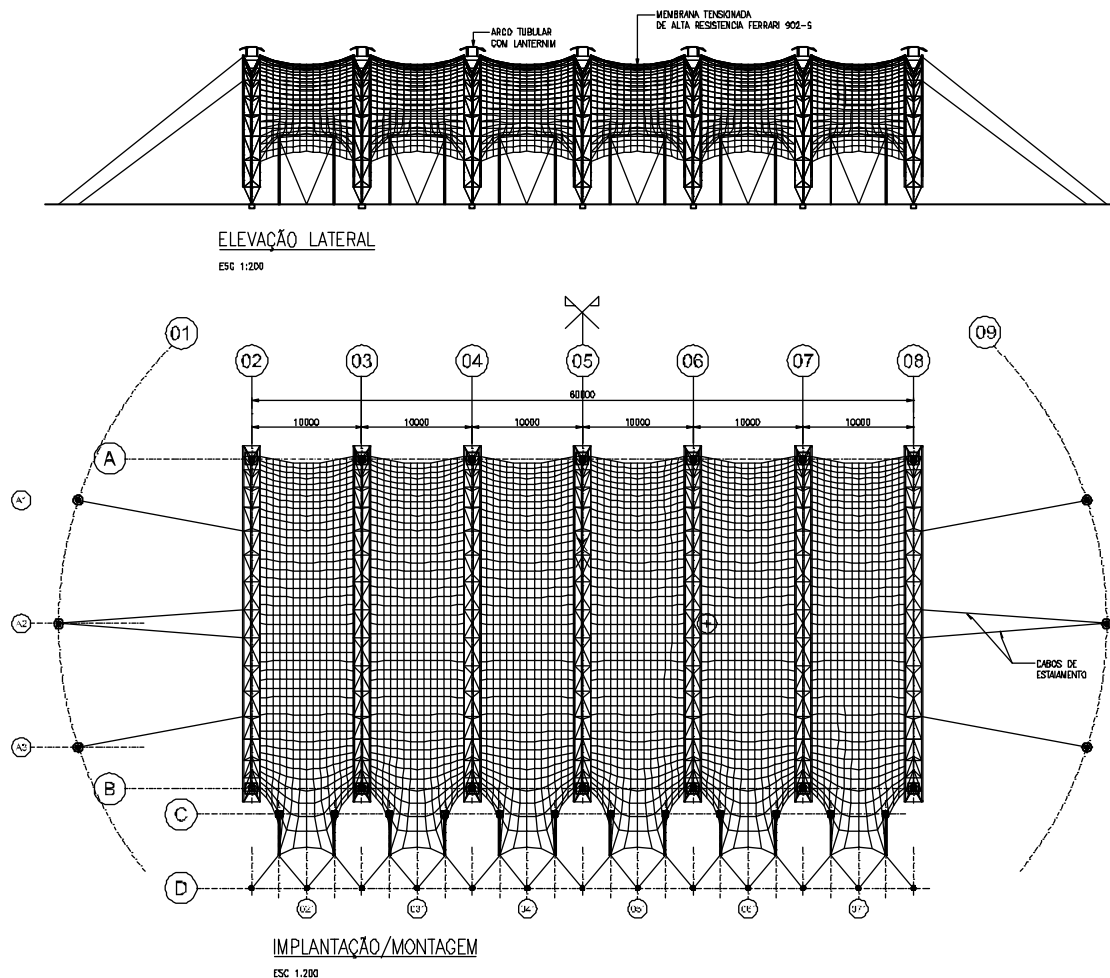


Fig.27: Desenho de engenharia do projeto – Implantação e Elevação Lateral (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

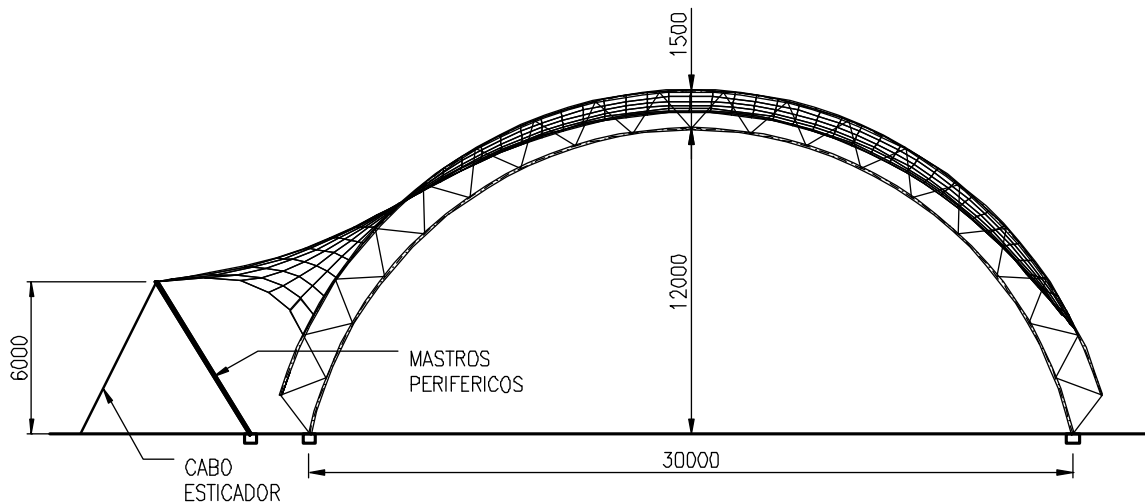


Fig. 28: Desenho de engenharia do projeto – Corte Transversal Típico (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

6.3.2 Aspectos do cálculo

O cálculo e dimensionamento das partes metálicas e membranas foram baseados nas prescrições das Normas Brasileiras e outras normas internacionais pertinentes, as mesmas utilizadas nos projetos anteriores.

- Vento: Velocidade Básica $V_0=30$ m/s (Região Nordeste)
- Sobrecargas: $Q=25$ kgf/m² (agindo somente nos arcos metálicos)

6.3.3 Resultados

Seguem abaixo os resultados das tensões principais na membrana:

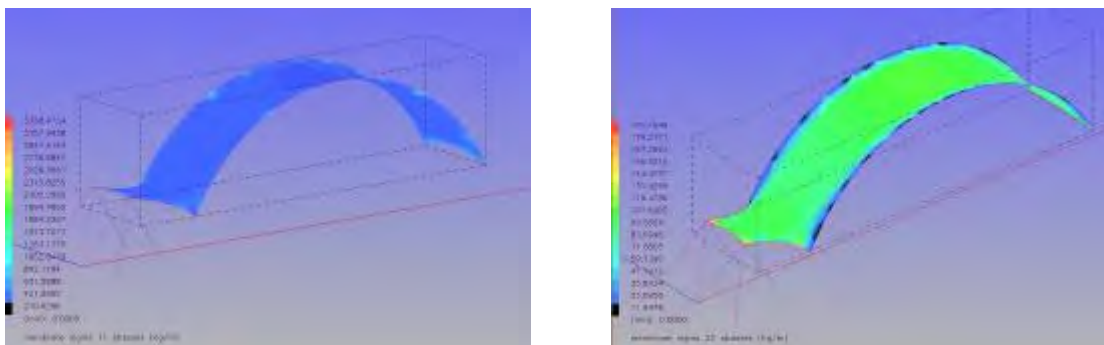


Fig.29: Diagrama das tensões principais S11 e S22 para o Form Find (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

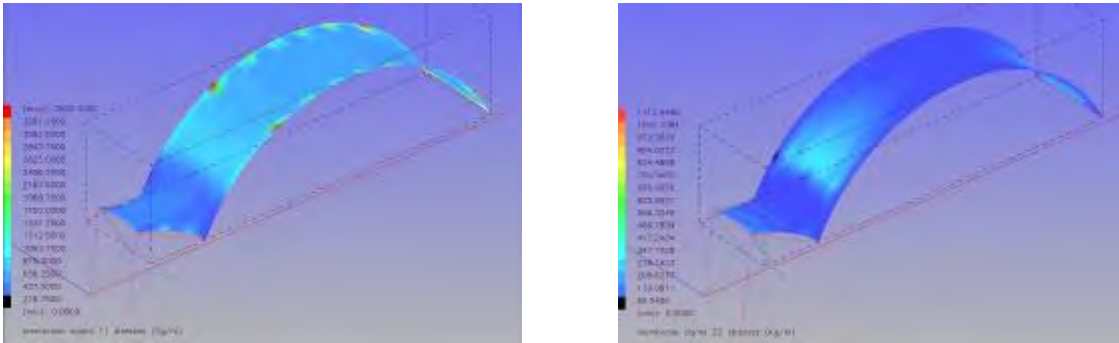


Fig.30: Diagrama das tensões principais S11 e S22 para o Vento 1 (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

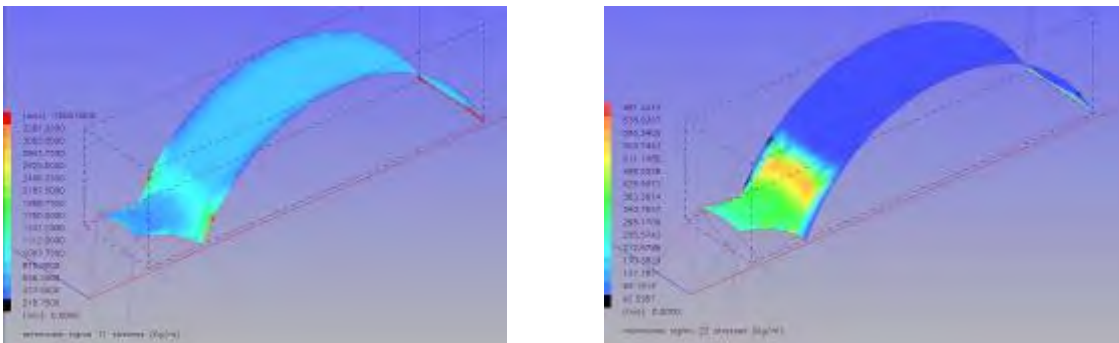


Fig.31: Diagrama das tensões principais S11 e S22 para o Vento 2 (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

6.3.4 Materiais Empregados

Neste projeto usamos os seguintes materiais:

a) – Membrana estrutural Tipo I: tecido de alta resistência de fabricação francesa, à base de fios de poliéster amalgamados em PVC e revestimento especial em PVDF, marca FERRARI Precontraint 1002, com as seguintes propriedades:[5]

- Fios: 1100/1100 Dtex PES HT
- Peso: 1050 g/m²
- Resistência tração: 420/400 daN/5cm
- Resistência ao rasgo: 55/50 daN
- Acabamento: branco translúcido
- Resistência ao fogo: Sim. Não propagas as chamas
- Durabilidade: 15 anos

b) – Estruturas metálicas: tubos e chapas fabricados em aço USI-SAC 250 / A36 ou equivalente, com acabamento em pintura de boa qualidade, conforme necessidade do projeto, quanto á durabilidade.

c) - Cabos para tensionamento: fabricação CIMAF tipo 6x19 AACI galvanizados, com torção regular, com resistência à ruptura de aproximadamente 200 Kgf/mm². Todos os acessórios serão confeccionados por forja em aço de alta resistência e galvanizados a fogo;

6.4 Passarela de Acesso ao Carrefour – Brasília - DF

Ficha técnica:

Cliente: Construtora JC Gontijo
 Projeto conceitual: Construtora JC Gontijo
 Projeto conceitual e estrutural: Eng. Paulo Andre Barroso
 Status: Obra em andamento

6.4.1 Descrição Sumaria:

O quarto e último projeto a ser apresentado neste trabalho, é uma cobertura de uma passarela de pedestres de ligação entre 2 centros comerciais. A finalidade precípua desta cobertura é a proteção contra o sol e a chuva. A estrutura é composta por arcos metálicos tubulares simples, no sistema aporticado, com bases semi-engastadas, tendo o trecho arqueado um raio de 1,50 m e pernas retas de aproximadamente também 1,5 m de forma que o pé direito máximo interno seja de 3,0 m eixo-a-eixo. Os arcos estão espaçados a cada 3,0 metros, e somam um total de 182 m de comprimento.

A cobertura propriamente dita é feita por uma membrana tensionada, fixada entre pórticos por sistema regulador/esticador, cujo desenvolvimento, acompanha somente a parte curva de cada pórtico. As bordas extremas também arqueadas, são esticadas e fixadas por meio de cabos de aço.

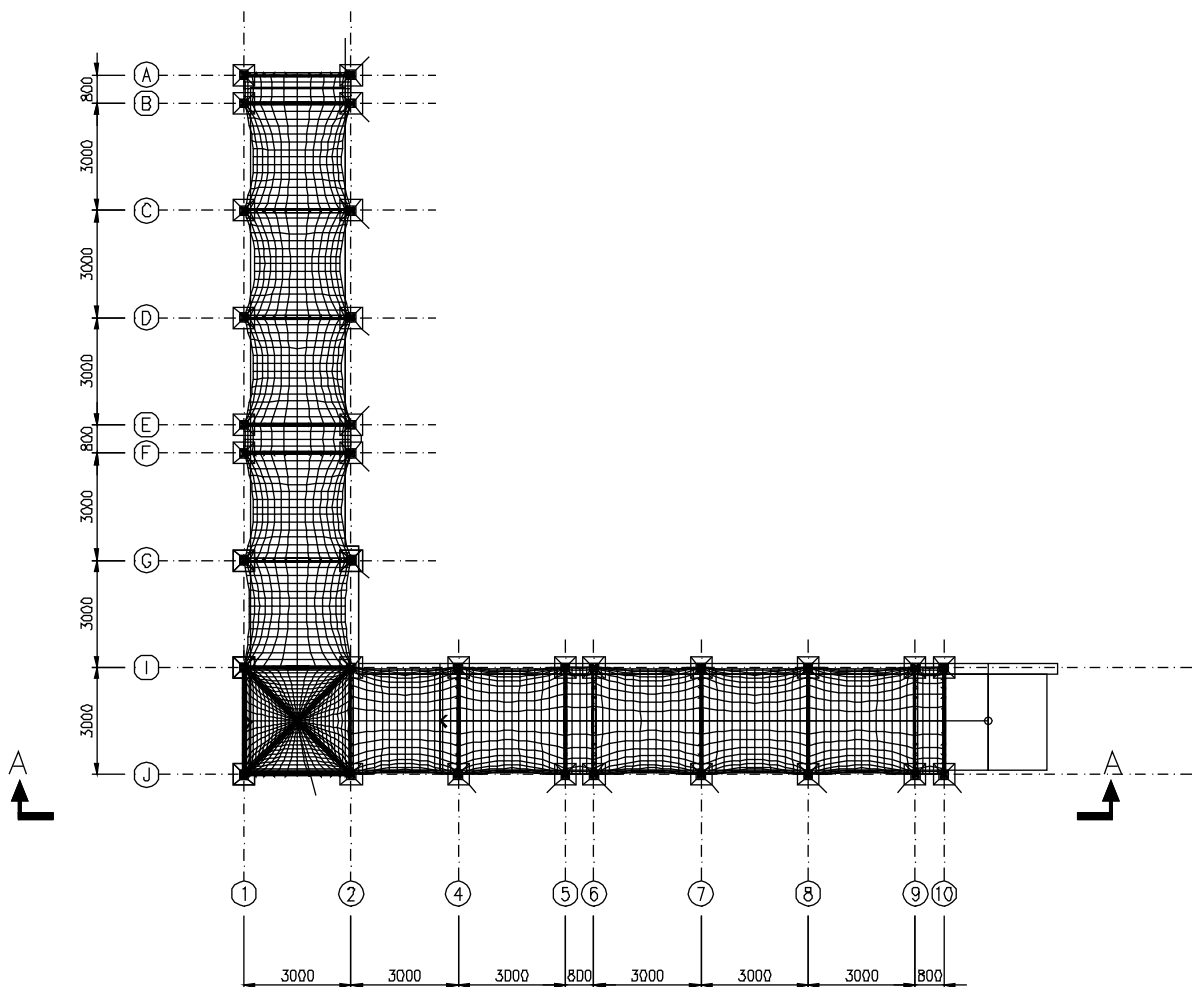


Fig.32: Desenho de engenharia do projeto – Implantação parcial devido à grande extensão da passarela (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

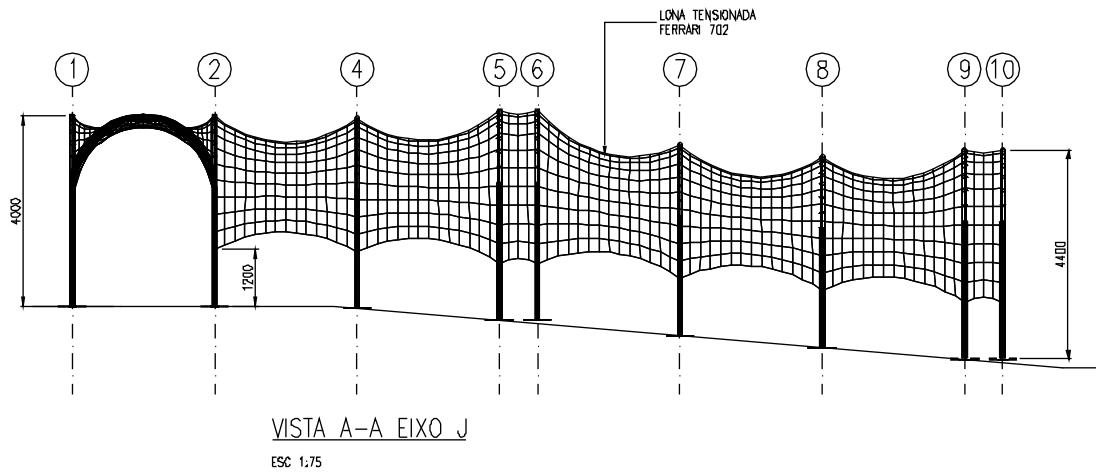


Fig.33: Desenho de engenharia do projeto – Vista Lateral - parcial (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

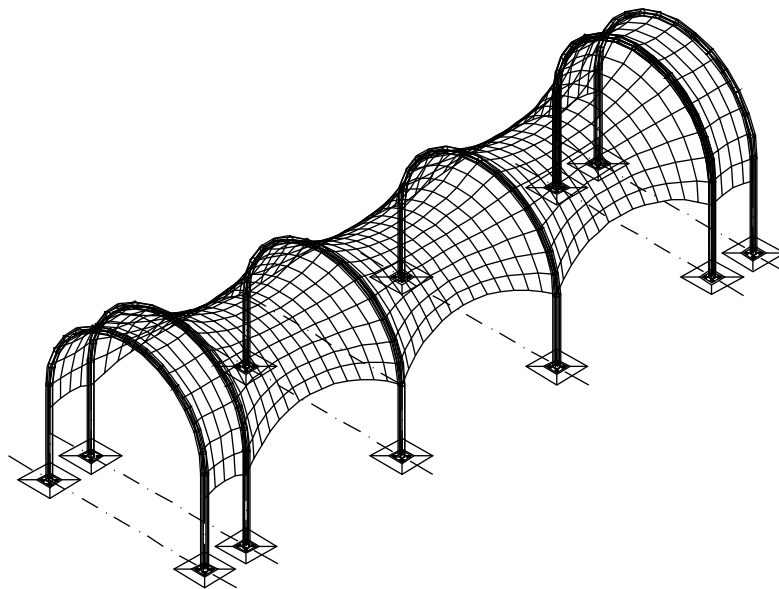


Fig.34: Desenho de engenharia do projeto – Perspectiva de um trecho típico (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

6.4.2 Aspectos do cálculo

O cálculo e dimensionamento das partes metálicas e membranas foram baseados nas prescrições das Normas Brasileiras e outras normas internacionais pertinentes, as mesmas utilizadas nos projetos anteriores.

- Vento: Velocidade Básica $V_0=35$ m/s (Brasília)
- Sobrecargas: $Q=25$ kgf/m² (agindo somente nos pórticos metálicos)

6.4.3 Resultados

Abaixo, mostramos os resultados das tensões de um painel típico.

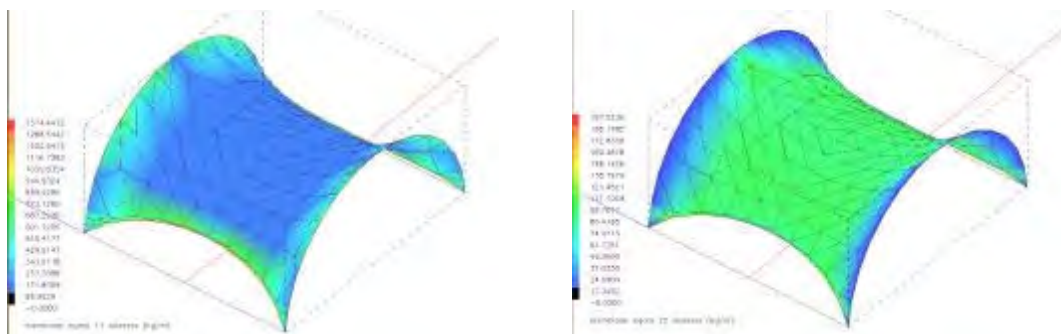


Fig.35: Diagrama das tensões principais S11 e S22 para o Form Find (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

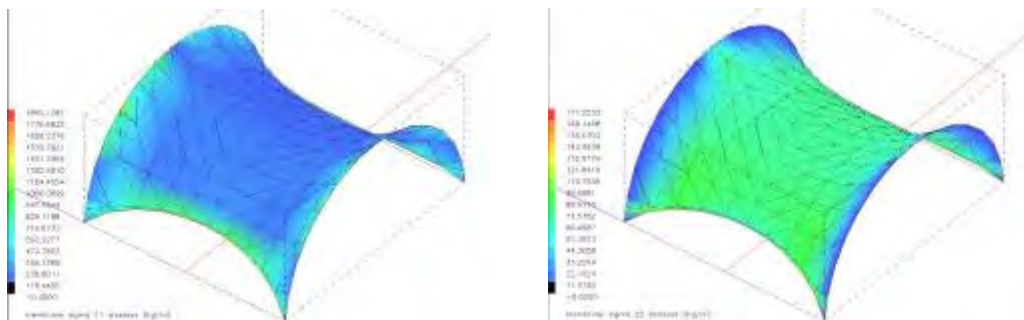


Fig.36: Diagrama das tensões principais S11 e S22 para o Vento 1 (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

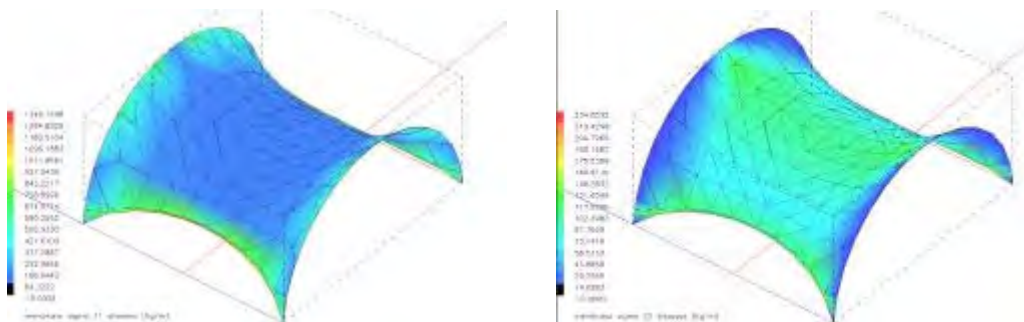


Fig.37: Diagrama das tensões principais S11 e S22 para o Vento 2 (TENSOR Estruturas Especiais e Tecnologia)

Nota: devido a grande rigidez da membrana, as tensões adicionais devidas às cargas do vento tem pouca influencia sobre o modo de como as tensões estão distribuídas ao longo da superfície.

6.4.4 Materiais Empregados

Neste projeto usamos os seguintes materiais:

a) – Membrana estrutural: tecido de alta resistência de fabricação francesa, à base de fios de poliéster amalgamados em PVC e revestimento especial em PVDF, marca FERRARI Precontraint 702, com as seguintes propriedades:[5]

- Fios: 1100/1100 Dtex PES HT
- Peso: 750 g/m²
- Resistência tração: 300/280 daN/5cm
- Resistência ao rasgo: 30/28 daN
- Acabamento: branco translúcido
- Resistência ao fogo: Sim. Não propagas as chamas
- Durabilidade: 10 anos

b) – Estruturas metálicas: tubos e chapas fabricados em aço USI-SAC 250 / A36 ou equivalente, com acabamento em pintura de boa qualidade, conforme necessidade do projeto, quanto á durabilidade.

c) - Cabos para tensionamento: fabricação CIMAF tipo 6x19 AACI galvanizados, com torção regular, com resistência à ruptura de aproximadamente 200 Kgf/mm². Todos os acessórios serão confeccionados por forja em aço de alta resistência e galvanizados a fogo;

7 – CONCLUSÃO

Nesses nossos 35 anos de experiência em projeto, fabricação e construção de coberturas e fechamentos metálicos (são mais de 7,5 milhões de metros quadrados de estruturas executadas), sempre observamos que as que tinham curvatura eram as mais econômicas, e conseqüentemente, sempre que possível, as mais preferidas pelo investidor, mesmo que não fossem as mais belas no que diz respeito ao partido arquitetônico.

Outrora, as coberturas de estruturas arqueadas eram feitas com telhas metálicas nervuradas, que além de não terem o melhor aspecto estético, ainda dependiam a sua aplicabilidade, da curvatura do arco. Para pequenos raios, o dobramento das telhas metálicas tornava-se um grande problema chegando mesmo à impossibilidade. Em caso positivo, estas estruturas metálicas necessitavam ainda de outros elementos secundários de suporte, tais como: terças, consoles, esticadores e mãos francesas, além de todos os acessórios de fixação das próprias telhas. Havia ainda o fator limitante da curvatura em um só plano

Hoje, graças a existência e a flexibilidade de uso das coberturas têxteis, a junção destes dois elementos tem se tornado imbatível economicamente quando se trata de coberturas de grandes vãos. No panorama arquitetônico, abrem-se inúmeras possibilidades de coberturas curvas espaciais, com muito maior apelo estético, se comparadas às anteriores.

8 – BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://en.wikipedia.org/barrelvault>
- [2] Manual Brasileiro para o Cálculo de Estruturas Metálicas – Vol II STI/MIC – 1986
- [3] Engel, Heinrich – Sistema de Estruturas – H. Blume Ediciones - 1978
- [4] Krishna, Prem - Cable Suspended Roofs – McGraw Hill – 1978
- [5] Catálogos das membranas FERRARI Precontraint – www.ferrari-textiles.com

9 – NORMAS APLICAVEIS AOS PROJETOS

- Forster, Brian; Mollaert, Marijke – European Design Guide for Tensile Surface Structures – Tensinet – 2004
- NBR-8681 - Ações e segurança nas estruturas;
- NBR-8800 - Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios;
- NBR-6120 - Cargas para cálculo de estruturas de edificações;
- NBR-6123 - Forças devidas ao vento em edificações;
- NBR-6355 - Perfis estruturais, de aço, formados a frio;
- NBR 5884 - Perfis estruturais soldados de aço;
- NBR 6657 - Perfil de estruturas soldados de aço;
- NBR 11003 - Tintas - Determinação da aderência;
- PNB-117 - Cálculo e execução de estrutura em aço soldada;
- AISC (American Institute of Steel Construction) - Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings;
- AISC - Code of standard practice for steel building and bridges;
- AISC - LRFD Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts;
- AISI (American Iron and Steel Institute) - Load and Resistance Factor Design Specification for Cold-Formed Steel Structural Members, 1991;
- AISC - A guide to the shop painting of structural steel;
- ASTM A123 – Standard specification for zinc coating (hot-dip galvanized) on iron and steel products;
- ASTM A153 - Standard specification for zinc coating (hot-dip galvanized) on iron and steel hardware;
- ASTM A394 e ASTM A325 - Parafusos, porcas e arruelas galvanizados;
- ASTM A307 - Parafusos e porcas - ligações secundárias;
- SAE 1020 - Chumbadores e barras redondas;
- AWS D1.1 - Structural welding code, edição 1996;
- AWS D1.0 - Welding in building construction;
- AWS A5.1 - Specification for Covered Carbon Steel Arc Welding Electrodes
- AWS A5.5 - Specification for Low-alloy Steel Covered Arc Welding Electrodes

- AWS A5.17 - Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged arc Welding
- ASTM A6 - Standard specifications for general requirements for rolled steel, plates, shapes, sheet piling and bars for structural use;
- ANSI B 18.2.1 – Square and hex bolts and screws;
- ANSI B 18.2.2 – Square and hex nuts;
- ANSI B 18.5 – Round head bolts;
- SSPC - Steel structures painting council;
- SIS-05-5900 - Padrões visuais - normas suecas;