



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO



São José dos Campos, 17 de novembro de 2011

Fabiano Edson Carlos

FOLHA DE APROVAÇÃO

Relatório Final de Estágio Curricular aceito em 17/11/2011 pelos abaixo assinados:

Fabiano Edson Carlos

Robson Fernandes Ramos – Orientador na DIRENG

Francisco Alex Correia Monteiro – Orientador do ITA

Eliseu Lucena Neto – Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

INFORMAÇÕES GERAIS

Estagiário

Fabiano Edson Carlos
Engenharia Civil-Aeronáutica

Empresa

Diretoria de Engenharia da Aeronáutica
Divisão de Edificações

Orientador

Cel Eng. Robson Fernandes Ramos

Orientador do ITA

Prof. Francisco Alex Correia Monteiro

Período

02/02/2011 a 17/06/2011
Total de horas: 636 horas

1. Considerações Iniciais

Introdução

De acordo com o Sistema de Gerenciamento do Patrimônio Histórico da Aeronáutica (SIGPIMA), a Força Aérea Brasileira (FAB) detém um total de 492 hangares. Desses, 79 possuem a estrutura da cobertura em madeira. Ainda assim, não há um gerenciamento de hangares apropriado. Atualmente, há intervenções estruturais apenas após a deterioração e perda da funcionalidade de parte da estrutura.

O estudo do caso do Museu Aeroespacial (MUSAL) torna-se nesse contexto uma oportunidade de se iniciar um projeto para uma gerência de hangares adequada, afim de manter hangares funcionais e economizar recursos financeiros.

Enquanto não há desenvolvimento neste ramo de pesquisa, recomenda-se um estudo de caso para cada hangar. Uma vez que os hangares podem ter patologias em graus diferentes dependendo do material e da agressividade do ambiente em que cada hangar está instalado.

O Museu Aeroespacial

Histórico

A ideia de criação de um Museu Aeroespacial data de 1943 e partiu do primeiro Ministro da Aeronáutica, Dr. Salgado Filho, em 1943, porém a falta de local disponível inviabilizou o projeto.

Atendendo ao Ministro da Aeronáutica, Ten-Brig-do-Ar Araripe Macedo, o Presidente Emílio Garrastazu Médici cria em 31 de julho de 1973 o Núcleo do Museu Aeroespacial, pelo decreto nº 72552.

Em janeiro de 1974 iniciam-se os trabalhos de restauração do prédio e hangares da antiga “Divisão de Instrução de Voo” da Escola da Aeronáutica, simultaneamente à coleta de acervo, restauração de aviões, motores, armas e outras peças de valor histórico.

O MUSAL foi inaugurado em 18 de outubro de 1976. Tal criação deve-se à necessidade de preservação e divulgação de material aeronáutico e documentos históricos para as futuras gerações.

Situado no Campo dos Afonsos, o MUSAL integra o Campus da Universidade da Força Aérea (UNIFA) e está subordinado administrativamente ao Instituto Histórico-Cultural da Aeronáutica (INCAER), desde 1986.

Atividades

As principais atividades do MUSAL são: pesquisar, desenvolver, divulgar, preservar, controlar e estimular as atividades referentes à memória e cultura da aeronáutica brasileira, transmitindo para futuras gerações o que foi a vida, a obra e a contribuição para a sociedade nacional e internacional, daqueles que fizeram a História da Aviação.

O Museu ocupa uma área de 15195 m², incluindo um prédio de dois andares e cinco hangares em anexo. As salas de exposição do prédio abrigam as coleções históricas dos pioneiros da aviação em 12 exposições e nos hangares estão abrigadas as aeronaves de

importante valor histórico e tecnológico.

O Museu Aeroespacial possui uma equipe de serviço de restauradores. Essa equipe leva cerca de 4 a 8 anos para restaurar completamente todos os tipos de aviões, além de construírem réplicas de aviões cujas peças originais não são mais encontradas.

Exposições

Uma réplica em tamanho natural do 14 Bis, do Demoiselle, fotos e pertences de Santos Dumont, mobiliário, armas, aviões, helicópteros e lembranças da ofensiva aliada na 2ª Guerra Mundial compõem o rico acervo histórico do MUSAL. Segue a descrição de cada exposição:

- **Esquadrilha da Fumaça:** Apresenta imagens de aviões utilizados pela Esquadrilha da Fumaça, de 1956 até hoje e fotos de equipes de pilotos e manutenção dos aviões. A peça principal em exposição é o avião T6D-1959, que pertenceu ao ex-líder da Esquadrilha, Cel. Antonio Arthur Braga.
- **Exposição de Armas:** Destacam-se as metralhadoras Lewis e Vickers do período de 1914 e 1918. Apresentam-se também os canhões aéreos Hispano-Suiça e Dainippon-Oerlikon, entre outras peças bélicas.
- **“A Força da Mulher - A trajetória da Mulher Militar na FAB, Passado-Presente-Futuro”:** A mostra conta com fotografias, painéis e objetos pessoais das diversas turmas do corpo feminino que contribuíram para o engrandecimento da Força Aérea Brasileira nesses vinte e cinco anos de atividade.
- **Bartolomeu de Gusmão 300 anos:** Trata-se de uma ação referente ao tricentenário da Demonstração do Balão de Ar Quente. Reúne fotografias, maquetes, medalhas e cenografia baseada no contexto histórico de época, ao final da apresentação exibe-se um vídeo sobre o tema.
- **Ministro Salgado Filho:** Exibe-se o mobiliário do gabinete do primeiro Ministro da Aeronáutica, em 1941, além de uma galeria de fotos dos Ministros e Comandantes da Aeronáutica.
- **“Para que os Outros Possam Viver”:** Visa mostrar ao público como funciona o Serviço de Busca e Salvamento no Brasil e a participação da FAB no sistema. Apresenta um importante acervo de equipamentos utilizados em resgate.
- **Santos Dumont:** A história do Pai da Aviação, permeando sua vida e suas invenções, está representada nesta exposição, permitindo uma comparação entre os primeiros aviões e a configuração dos jatos modernos. O Coração do inventos encontra-se preservado numa redoma de metal.
- **“A FAB na Guerra”:** Apresenta a participação da FAB na 2ª Guerra Mundial através do 1º Grupo de Caça, seus antecedentes e sua trajetória. A exposição reúne peças originais dos pilotos, vídeos, cenografia e elementos interativos que evidenciam a participação do Brasil no conflito, além do relevante papel da FAB nas forças de paz da Organização das Nações Unidas (ONU).
- **Primórdios da Aviação Brasileira:** Remonta os primeiros ensaios em voo com um objeto mais pesado que o ar e segue com as primeiras companhias aéreas nacionais e estrangeiras. Permeia a década de 40 com a criação do Ministério da Aeronáutica e encerra com os primeiros foguetes de sondagem e o veículo lançador de satélites(VLS).
- **Embraer - O Brasil na Vanguarda da Indústria Aeronáutica:** Mostra a construção do protótipo da aeronave Bandeirante em 1968, fato que incentivou a criação da Embraer S.A. A trajetória da empresa está representada através de documentos, fotografias e maquetes das aeronaves produzidas até hoje.

- **Exposição de Motores:** Destacam-se os motores da 1ª e 2ª Guerra Mundial, dentre os quais, um “Diesel Junkers Jumo 205C” da década de 30 e um “Rolls Royce Merlin” que equipou os Spitfires, Lancasters e Mosquitos.
- **Exposição de Simuladores:** Apresenta os diversos simuladores de voo como o primeiro modelo (Link Trainer) e um simulador de voo do 727-100 da empresa Varig S.A.

1. Estudo de Caso – Análise de carga no MUSAL

Dimensões e materiais da estrutura

De acordo com o Laudo Técnico fornecido pelo Instituto de Pesquisas Técnicas (IPT), a amostra da estrutura da cobertura em madeira do MUSAL é da espécie *Aspidosperma Polyneuron*, conhecida na construção civil como peroba-rosa. O IPT realizou a análise macroscópica de lenho. O método consiste em observar as fibras através de uma lupa de aumento 10x e comparar com as amostras identificadas no acervo do Laboratório de Madeira e Produtos Florestais do IPT.

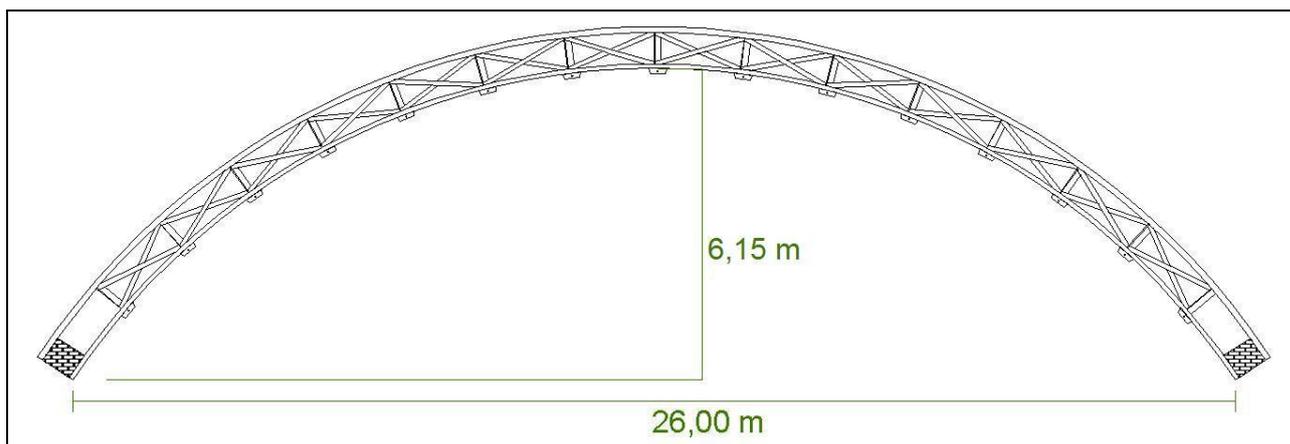
A estrutura de cobertura analisada do MUSAL corresponde aos cinco hangares e quatro anexos em concreto armado e com telhas onduladas de fibrocimento (Figura 2.1). Cada hangar possui 70,25 m de comprimento e 26,00 m de vão. Cada anexo possui 19,07 m de comprimento e 28,75 m de vão.



Figura 2.1 - Hangar 2 do MUSAL.

Além da alvenaria que suporta o telhado nas extremidades, a base de resistência da cobertura é composta de onze tesouras em arco de circunferência em cada hangar e duas tesouras em cada anexo. A distância de centro a centro entre cada tesoura é de 5,80 m. Cada tesoura apóia com mão francesa quinze terças igualmente espaçadas (seção de 10x10 cm) que acompanham todo o comprimento dos hangares e anexos. Há também um caibro (seção de 10x5 cm) entre cada par de tesouras consecutivas que acompanha a curvatura do telhado.

A Figura 2.2 apresenta as dimensões da tesoura e a Figura 2.3 mostra os detalhes da estrutura de cobertura.



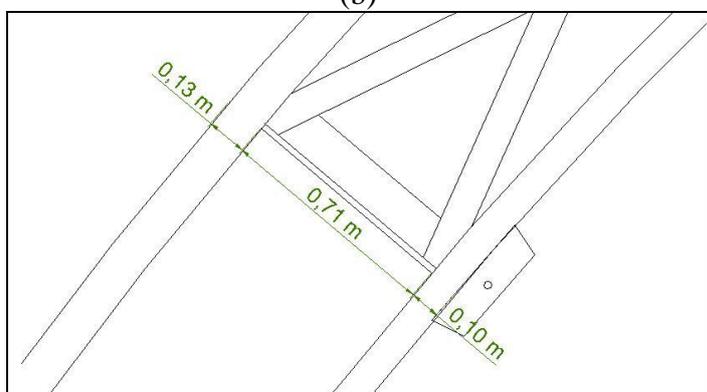
(a)



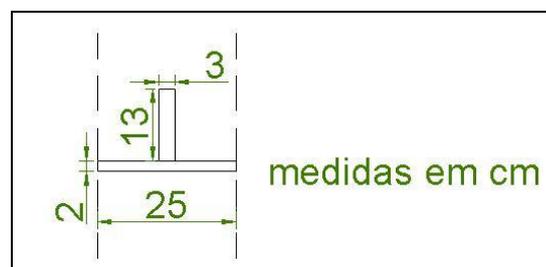
(b)



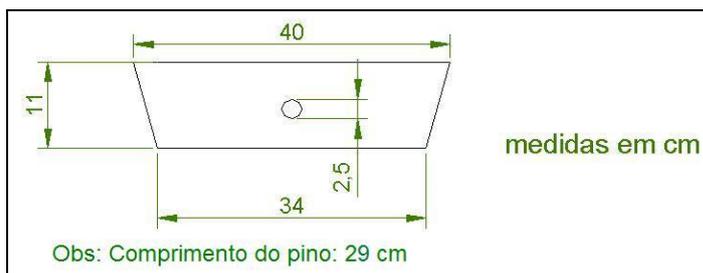
(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 2.2 - Tesoura em arco: (a) dimensões gerais; (b) foto da estrutura; (c) detalhe do engastamento; (d) dimensões dos banzos; (e) dimensões dos estribos e da espessura da tesoura; (f) detalhe do elemento de ligação; (g) foto do elemento de ligação.

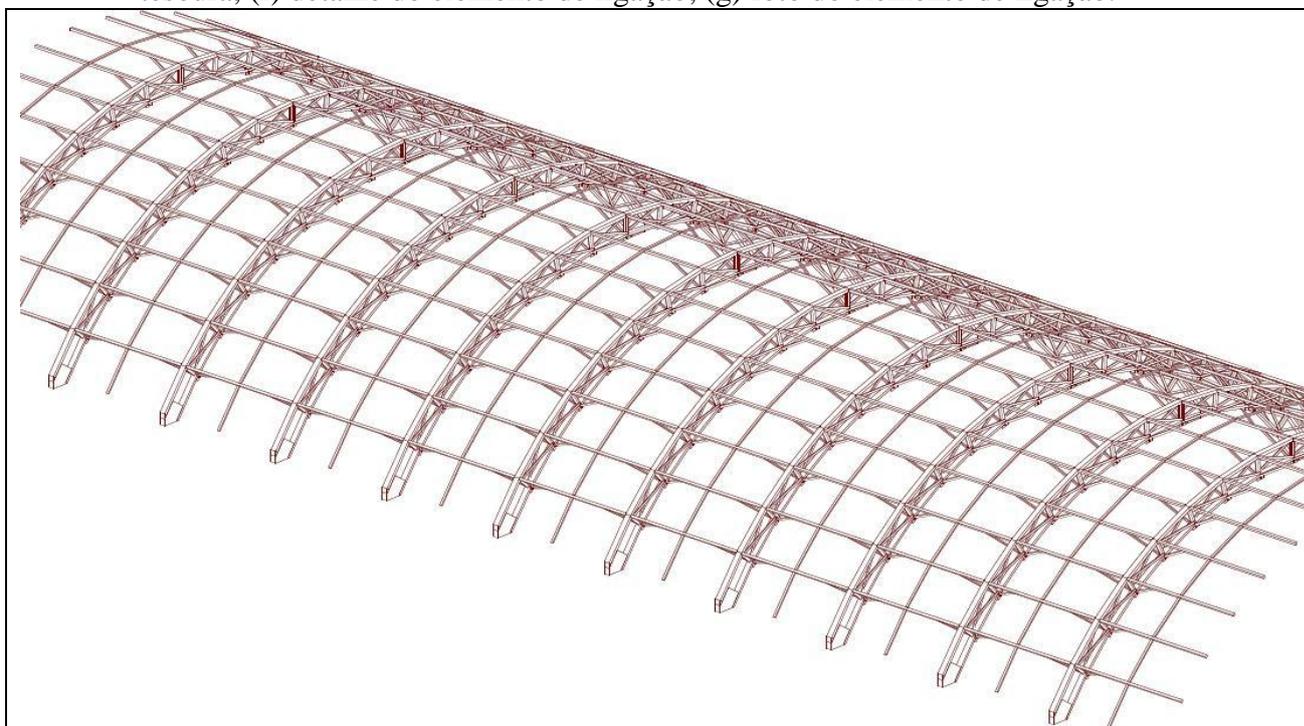


Figura 2.3 - Estrutura da cobertura em madeira de um hangar.

Avaliação das Ações

Existem dois casos a serem analisados. No primeiro caso, deve-se analisar a estrutura como ela está atualmente para saber se o projeto está de acordo com a norma brasileira NBR 7190 (1997) e observar o quão segura está a estrutura. Em outra situação, observa-se a segurança da estrutura mediante a uma reforma que substitui as telhas de fibrocimento por telhas termoacústicas (chapa de isopor revestida por duas lâminas de alumínio), além da possível instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), um sistema de sprinklers e de climatização no ambiente.

Peso próprio da estrutura e do telhado

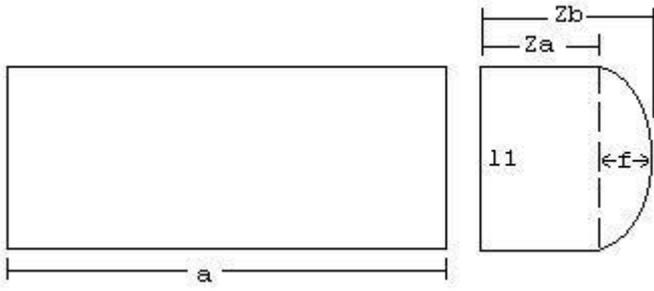
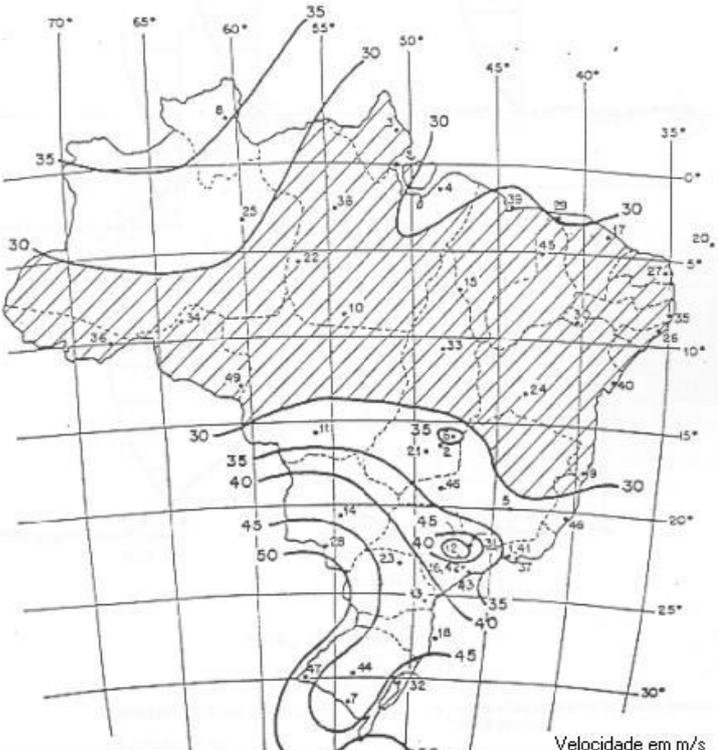
De acordo com a equipe técnica do MUSAL, a telha de fibrocimento pesa 18,6 kg/m². Pela especificação do projeto de reforma do MUSAL, a telha termoacústica pesa 8,0 kg/m². Pelo IPT (1989a), a densidade da peroba-rosa a 12% de umidade é de 760 kg/m³. A consideração de 12% para a madeira é recomendação da norma brasileira, item 6.1.5.

Como a distância de centro a centro da tesoura é de 5,8 m, cada tesoura suporta 107,9 kg de telha de fibrocimento por metro no primeiro caso e 46,4 kg de telha termoacústica por metro no segundo caso.

Vento

O cálculo da carga de vento segue a norma NBR 6123 (1988). Na Tabela 2.1 encontram-se os dados de entrada no programa.

Tabela 2.1 - Dados para o cálculo da carga de vento.

 <p>Diagrama de uma edificação retangular com dimensões a e b. À direita, um perfil de vento com altura Za e Zb, e uma distância f entre o edifício e o perfil. O número 11 está dentro do perfil.</p>	<p>a: 70,25 m; $L1$: 26,00 m; Za: 6,45 m; Zb: 12,6 m; Dist pórticos: 5,80 m; Sem aberturas fixas; Sem aberturas móveis.</p>
 <p>Mapa de velocidade do vento no Rio de Janeiro com isoléneas e uma área hachurada. A escala é em m/s.</p>	<p>Velocidade do vento no Rio de Janeiro: 35 m/s.</p>
<p>- Categoria do Terreno: IV; terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados; - Grupo da edificação: 2; alto fator de preocupação.</p>	

A partir desses dados, as ações são: 6,5 kN/m de força de sucção no pórtico (tesoura) ou 0,7 kN/m de sobrepressão.

Ações extras

Deve-se também avaliar as cargas extras que podem atuar na estrutura de cobertura, tais como tubulação de climatização, sistema de sprinkler e para-raio.

A carga de peso do para-raio está diretamente relacionada ao nível de proteção que a estrutura exige. Para tal, utiliza-se a norma NBR 5419 (2005). O Anexo B (Método de seleção do nível de proteção) da referida Norma trata esse problema.

Segue o método do item B.2 da Norma citada:

- Dias de trovoadas por ano: $T_d = 30$ dias;
- Densidade de descargas atmosféricas: $N_g = 2,81$ por km^2/ano ;
- Área de exposição equivalente: $A_e = 17525, 1 \text{ m}^2$;
- Frequência de descargas atmosféricas sobre a estrutura: $N_d = 0,0492$;

Como N_d é maior que 0,001, a estrutura requer um SPDA, porém, esse sistema é fixado diretamente na alvenaria e não gera cargas na estrutura de cobertura.

De acordo com a Divisão de Engenharia de Instalações da Diretoria de Engenharia da Aeronáutica (DIRENG), o projeto de reforma deve prever uma estrutura de reforço em alumínio para a tubulação do sistema de climatização e para o sistema de sprinklers. Não é recomendável apoiar esses sistemas na estrutura de madeira pelos seus próprios princípios de funcionamento, que geram vibrações. Dessa forma, não há contribuições para a estrutura da cobertura de cargas extras.

Análise das Cargas

Para se analisar as condições de segurança, de acordo com a NBR 7190 (1997), devem-se ponderar as ações e as resistências de modo que as resistências de projeto sejam sempre maiores que as ações de projeto.

Combinações de Carga

Pela avaliação das ações, as únicas que atuam na estrutura pelo item 5.5.1 são as cargas permanentes e o vento.

Para a avaliação do Estado Limite Último (ELU), a carga permanente deve ser ponderada pelo fator γ_g , que vale 1,3 para situações desfavoráveis e 1,0 para situações favoráveis, pela Tabela 3 da Norma. Nesse caso, as únicas cargas variáveis são de sobrepressão e sucção do vento, que nunca agem simultaneamente, e são ponderadas por um γ_Q de 1,4 para situações favoráveis e 1,0 para situações desfavoráveis, pela tabela 6 da Norma. Para a avaliação do Estado Limite de Utilização (ELS), γ_g e γ_Q valem 1,0.

As combinações de ações para avaliar o ELU antes e após a reforma são:

- Combinação 1: ações permanentes e vento (sucção), primeiro caso: $F_d = 1,3F_g + 1,0 F_{Q1}$.
- Combinação 2: ações permanentes e vento (sucção), segundo caso: $F_d = 1,0F_g + 1,4 F_{Q1}$.
- Combinação 3: ações permanentes e vento (sobrepressão): $F_d = 1,3F_g + 1,4F_{Q2}$.

As combinações de ações para avaliar o ELS são:

- Combinação 4: ações permanentes e vento (sucção), primeiro caso: $F_d = F_g + F_{Q1}$.
- Combinação 5: ações permanentes e vento (sobrepressão): $F_d = F_g + F_{Q2}$.

Modelo de Elementos Finitos

Para aplicar o Modelo de Elementos Finitos (MEF), utiliza-se o programa MSC. Nastran 4.5 da empresa MSC. Software Corporation, com interface FEMAP 7.1 da mesma. Para simular a tesoura e seus esforços, define-se na ordem: materiais, propriedades, geometria da estrutura, nós e elementos, restrições, carregamentos e suas combinações. Após esses passos, pode-se analisar cada combinação de carga e extrair os esforços de carregamento.

Define-se dois materiais para a tesoura: peroba-rosa e aço.

O aço utilizado na construção civil é isotrópico com as seguintes características:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Módulo de elasticidade: } E = 200 \text{ GPa;} \\ \text{Coeficiente de Poisson: } \eta = 0,37; \\ \text{Densidade: } d = 7850 \text{ kg/m}^3. \end{array} \right.$$

O módulo de corte (G) não precisa ser informado por ser uma constante dependente de E e η e calculada internamente.

A peroba-rosa, por ser madeira de natureza ortotrópica e precisa de dados de densidade, de três módulos de elasticidades, seis coeficientes de Poisson e três módulos de corte. Utiliza-se o módulo de elasticidade longitudinal $E = 15.738 \text{ MPa}$. A densidade adotada para 12% é de 760 kg/m^3 .

Segue as relações e os dados de entrada nas direções longitudinal (L), radial (R) e tangencial (T):

$$\left\{ \begin{array}{l} E_L : E_R : E_T \approx 20 : 1,6 : 1 \\ G_{LR} : G_{LT} : G_{RT} \approx 10 : 9,4 : 11 \\ E_L : G_{LR} \approx 14 : 1 \\ \eta_{LR} = 0,37; \eta_{LT} = 0,50; \eta_{RT} = 0,67; \\ \frac{\eta_{LR}}{E_L} = \frac{\eta_{RL}}{E_R}; \frac{\eta_{LT}}{E_L} = \frac{\eta_{TL}}{E_T}; \frac{\eta_{RT}}{E_R} = \frac{\eta_{TR}}{E_T} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E_L = 15.738 \text{ MPa}; E_R = 1.259 \text{ MPa}; E_T = 786 \text{ MPa} \\ G_{LR} = 1.124 \text{ MPa}; G_{LT} = 225 \text{ MPa}; G_{RT} = 1.057 \text{ MPa} \\ \eta_{RL} = 0,42; \eta_{TL} = 0,030; \eta_{TR} = 0,025 \end{array} \right.$$

A Tabela 2.2 apresenta a lista de propriedades adotadas para a modelagem da tesoura. EM todos os casos, utilizou-se o tipo *bar*.

Tabela 2.2 - Lista de propriedades do MEF.

Nome	Forma	Material	Altura (cm)	Largura (cm)	Raio (cm)	Espessura da mesa	Espessura da peça
1 - Banzo Inferior	Barra Retangular	Peroba-rosa	10	25	-	-	-
2 - Banzo Superior	Barra Retangular	Peroba-rosa	13	25	-	-	-
3 - Barra Vertical	Seção T	Peroba-rosa	17	25	-	2	3
4 - Barra de madeira	Barra Retangular	Peroba-rosa	5	5	-	-	-
5 - Reforço	Barra Circular	Aço	-	-	1,5	-	-

Adota-se a geometria da peça apresentada na Figura 2.4. Cada barra da estrutura é modelada com dois elementos. Listam-se as propriedades utilizadas nas barras do modelo.

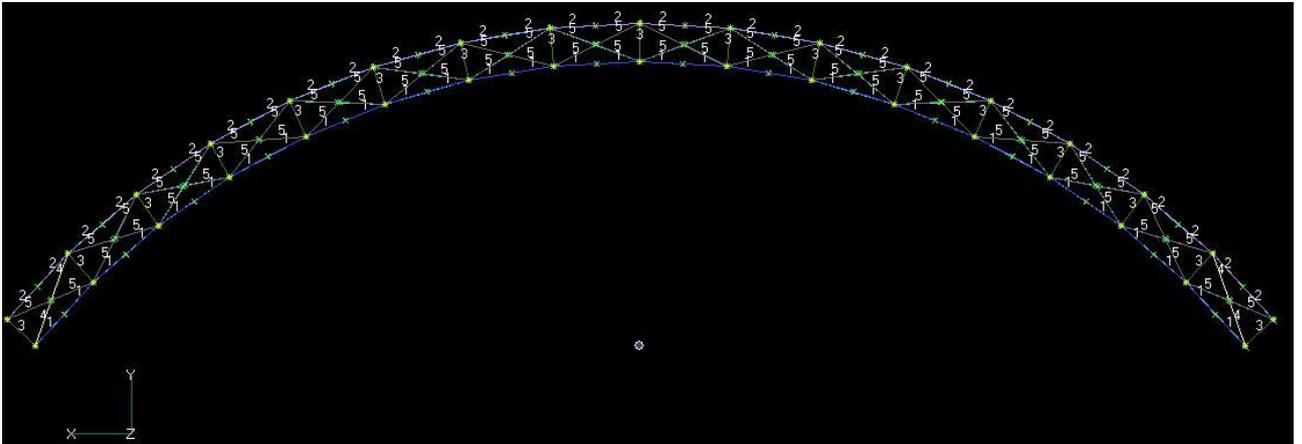


Figura 2.4 - Geometria e elementos do MEF.

A estrutura, montada de forma simétrica, é impedida de se deslocar no eixo Z da Figura 2.5 nos pontos de apoio. Além disso, o modo como a mesma está travada nos dentes da parede, há apenas a rotação em torno do eixo Z de liberdade.

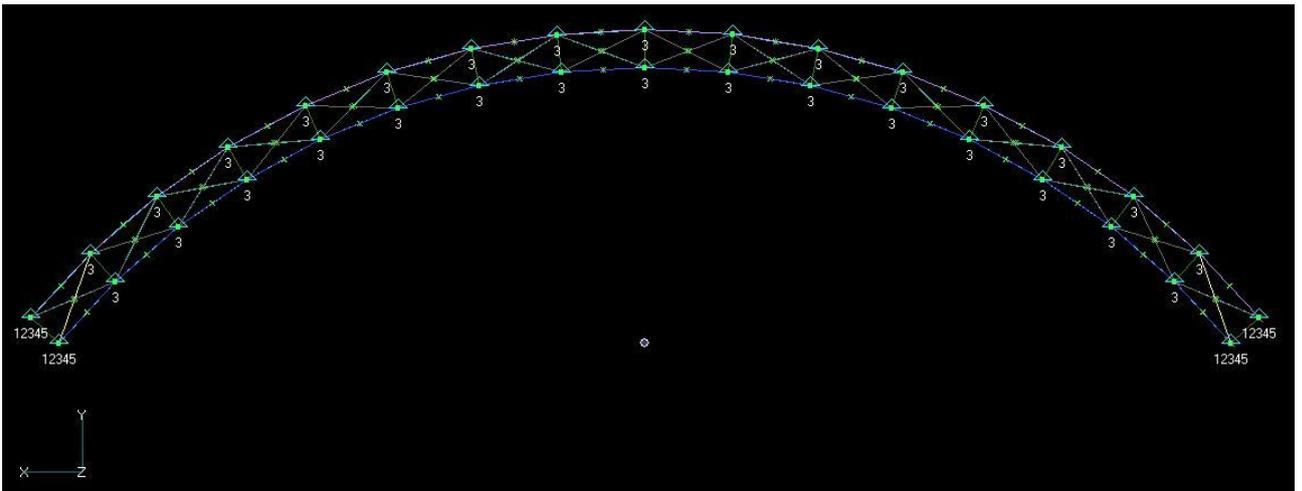


Figura 2.5 - Restrições do MEF.

Na lista de carregamentos (Tabela 2.3), considera-se aceleração da gravidade de $9,81 \text{ m/s}^2$ para se calcular o carregamento devido ao peso próprio do telhado (antes e após a reforma) e da cobertura. As cargas foram aplicadas como carregamento distribuído diretamente sobre os elementos de banzo superior.

Tabela 2.3 - Lista de Carregamentos do MEF.

Nome	Carregamento Distribuído na Direção Y (kN/m)	Aceleração Translacional (m/s^2)
1 - Peso Próprio Atual	- 1058,49	Direção Y: -9,81
2 - Peso Próprio de Reforma	- 455,18	Direção Y: -9,81
3 - Vento Sobrepressão	-700,00	-
1 - Vento Sucção	6500,00	-

Observa-se pela Tabela acima que a carga de vento de sucção é bem superior (em módulo) que o peso da estrutura do telhado. Dessa forma, espera-se que a carga de vento de sucção influencie diretamente nas dimensões da estrutura resistente.

Seguem os resultados de casos críticos.

Tabela 2.4 - Caso 1 - ELU - vento de sucção

Propriedade	Momento Máximo (N.m)	Compressão máxima (Pa)	Tração Máxima (Pa)	Cisalhamento Máximo (kN)
1 - Banzo Inferior	150	-	62.262	210
2 - Banzo Superior	2.577	-	82.974	8.237
3 - Barra Vertical	202	4.881	-	425
4 - Barra de madeira	-	4.094	-	6
5 - Reforço	27	-	21.519	43

Tabela 2.5 - Caso 2 - ELU - vento de sobrepressão

Propriedade	Momento Máximo (N.m)	Compressão máxima (Pa)	Tração Máxima (Pa)	Cisalhamento Máximo (kN)
1 - Banzo Inferior	88	28.156	-	145
2 - Banzo Superior	799	31.886	-	2.451
3 - Barra Vertical	75	-	2.678	350
4 - Barra de madeira	-	1.474	-	5
5 - Reforço	20	9.058	-	39

Tabela 2.6 - Caso 3 - ELS - vento de sucção

Propriedade	Momento Máximo (N.m)	Compressão máxima (Pa)	Tração Máxima (Pa)	Cisalhamento Máximo (kN)
1 - Banzo Inferior	105	-	43.536	147
2 - Banzo Superior	1.802	-	58.019	5.760
3 - Barra Vertical	141	3.413	-	297
4 - Barra de madeira	-	2.863	-	4
5 - Reforço	19	-	15.047	30

Tabela 2.7 - Caso 4 - ELS - vento de sobrepressão

Propriedade	Momento Máximo (N.m)	Compressão máxima (Pa)	Tração Máxima (Pa)	Cisalhamento Máximo (kN)
1 - Banzo Inferior	66	21.015	-	108
2 - Banzo Superior	596	23.799	-	1.829
3 - Barra Vertical	56	-	1.999	261
4 - Barra de madeira	-	1.100	-	4
5 - Reforço	15	6.761	-	29