

MODELAGEM E ANÁLISE ESTRUTURAL DO TUBO PROLONGADOR DO TELESCÓPIO MASCO

Rúbia Elaine Martins

Celso Koiti Kague

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/DMC, Av. dos Astronautas, 1758-C.P. 515 - Jardim da Granja, SJC, SP.

Patricia Gardel Barbosa

Universidade do Vale do Paraíba - FEAU, Av. Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, SJC, SP.

Resumo

O telescópio MASCO é um instrumento capaz de obter imagens do céu em raios-x e raios gama de baixa energia através do emprego da técnica de imageamento conhecida como Máscara Codificada. O objetivo deste trabalho é apresentar a análise estática do tubo prolongador com a finalidade de verificar sua integridade estrutural, considerando-se duas situações críticas em que o mesmo estará submetido : o tubo fica na posição horizontal; e o tubo sofre uma desaceleração correspondente ao instante em que a gôndola é desacoplada do balão. A estrutura do tubo prolongador é composta por dois cilindros de mesmas dimensões, unidas por juntas aparafusadas e reforçada por 16 nervuras fixadas radialmente em cada extremidade dos cilindros. O tubo prolongador foi modelado utilizando o método dos elementos finitos através do uso do *software* comercial *MSC/NASTRAN*. Para a modelagem do cilindro, assim como para as nervuras e flanges, foram utilizados elementos de casca.

Palavras-chave: Elementos Finitos, MASCO, *MSC/NASTRAN*.

1. INTRODUÇÃO

O projeto MASCO (MÁScara COdificada) (Souza *et al*, 1997) é um telescópio, desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, com o objetivo de investigar raios-x e raios gama de baixa energia através do emprego da técnica da Máscara Codificada MURA (*Modified Uniformly Redudant Array*) (Villela, *et al*, 1995 , Gottesman *et al*, 1989).

O telescópio voará dentro de uma gôndola suspensa (figura 1) por um balão estratosférico, uma vez por ano, numa altitude de 42 Km e deverá permanecer em vôo de 15 à 48 horas, seguido por uma fase de descida suspensa por um pára-quedas. O mesmo será montado numa plataforma capaz de, durante os vôos, apontar o telescópio para alvos astrofísicos e manter esse apontamento independente dos movimentos do balão. Entre outros alvos a serem observados encontram-se o Centro Galáctico, binárias de raios-x, pulsares e candidatos a buraco negro. O tubo prolongador do telescópio servirá de suporte para a máscara codificada, que é um dispositivo que traduz os sinais provenientes do feixe de raios-x (ou gama) que incide na superfície do detector.

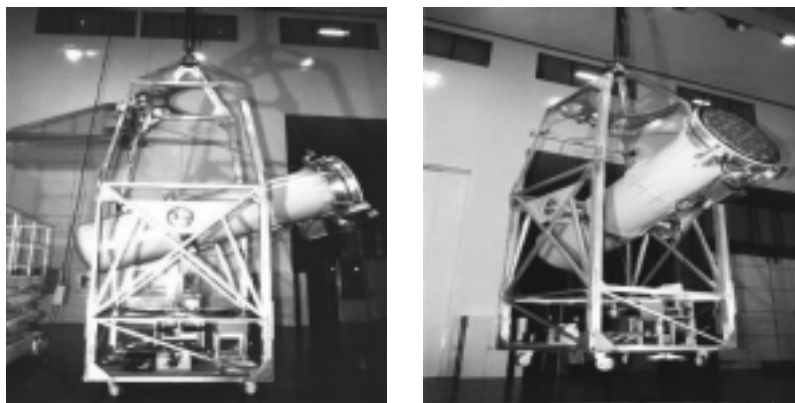


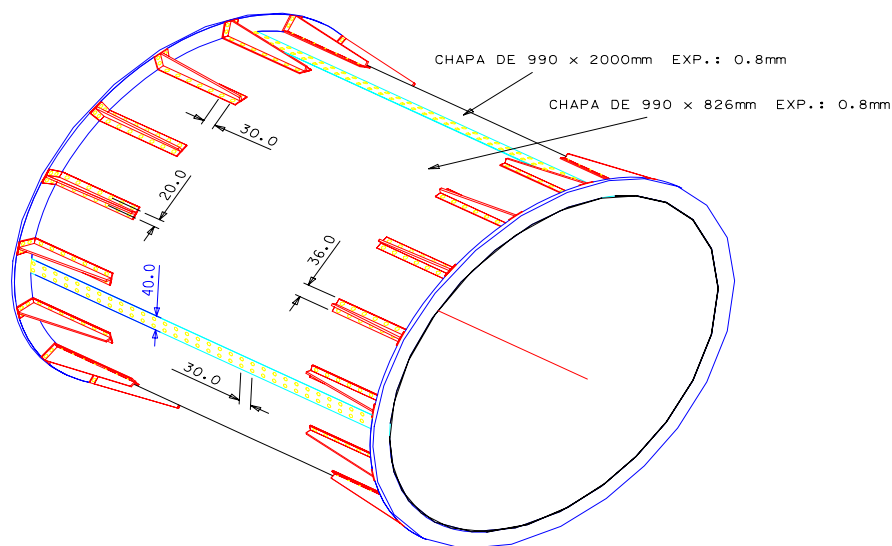
Figura 1. O telescópio MASCO

2. MODELAGEM DO SISTEMA ESTRUTURAL DO TUBO PROLONGADOR

O objetivo desta etapa do trabalho é a realização de uma análise estática no tubo prolongador, com a finalidade de verificar sua integridade estrutural, considerando duas situações críticas em que o mesmo estará submetido : o tubo na posição horizontal e o tubo submetido a uma desaceleração correspondente ao instante em que a gôndola é desacoplada do balão.

2.1 Análise Estrutural do Tubo Prolongador do Telescópio MASCO

A estrutura do tubo prolongador é composta por dois cilindros de mesmas dimensões, unidos por juntas rebitadas e reforçado por 16 nervuras fixadas radialmente em cada extremidade dos cilindros, como pode ser observado na figura 2. Cada cilindro possui 1 m de altura e 0,90 m de diâmetro. São fabricados a partir de chapas de alumínio de 0.8 mm de espessura, costuradas por meio de união rebitada.



OBS.

- 1) ESPESSURA DA CHAPA DO MATA-JUNTA: 0.8mm.
- 2) CADA MATA-JUNTA SERA FIXADO AO CORPO DO TUBO PROLONGADOR POR 66 REBIT
- 3) CADA NERVURA SERA FIXADA AO CORPO DO TUBUO PROLONGADOR POR 28 REBITES
- 4) CADA NERVURA SERA FIXADA AO FLANGE POR 4 REBITES.
- 5) O REBITE USADO E DE \varnothing 4.0mm E 12.0mm DE COMPRIMENTO.

Figura 2. Detalhe do cilindro do tubo prolongador

2.2 Modelo de Elementos Finitos

A equação de movimento de um sistema estrutural discretizado em elementos finitos, considerando-se n graus de liberdade envolvidos, pode ser escrita como:

$$\mathbf{K} \mathbf{X} = \mathbf{F} \quad (1)$$

onde \mathbf{X} é o vetor de deslocamentos e rotações nodais; \mathbf{K} é a matriz de rigidez e \mathbf{F} é o vetor de forças nodais.

O tubo prolongador foi modelado utilizando o método dos elementos finitos através do uso do *software* comercial *MSC/NASTRAN*. A figura 3 mostra o modelo do tubo prolongador em elementos finitos. Para a modelagem do cilindro, das nervuras e das flanges foram utilizados elementos de casca. A união entre as várias partes da estrutura foi modelada utilizando-se elementos rígidos. O material utilizado para análise foi o Alumínio AA 1200-H14 cujas propriedades mecânicas são:

$$E = 66400 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,33$$

$$\sigma_{\text{adm}} = 65,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{adm}} = 32,75 \text{ MPa}$$

Os dois cilindros do tubo prolongador, feitos a partir de uma chapa de alumínio de 0,8 mm, foram modelados utilizando elementos de casca quadrilateral (CQUAD4) definidos por 4 nós. O tubo sustenta a máscara do telescópio e serve de condutor, dos raios captados pela máscara, para o decodificador.

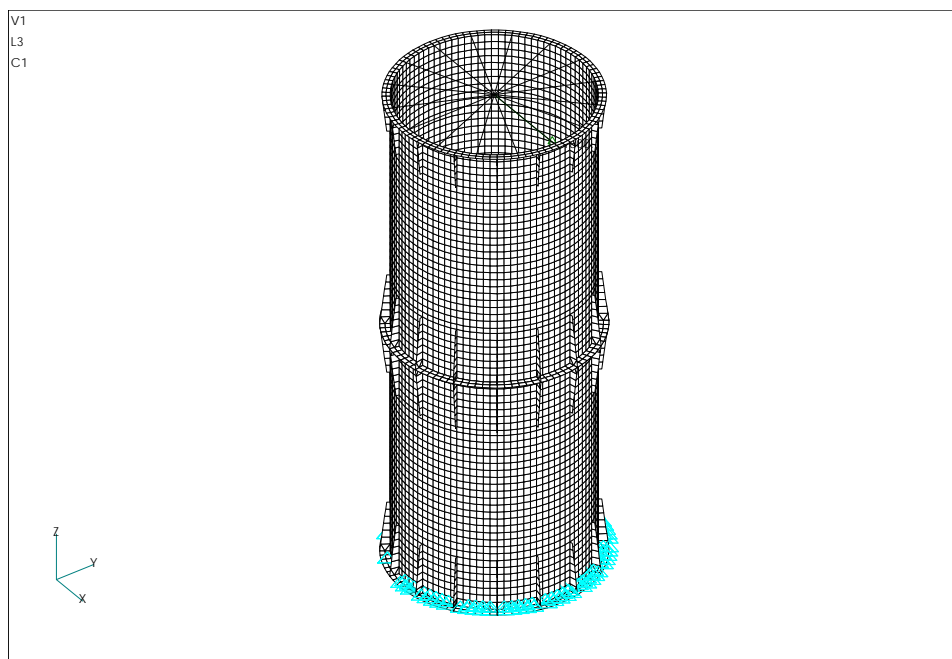


Figura 3. Modelo do Tubo Prolongador em Elementos Finitos

As flanges foram modeladas com elementos de casca quadrilateral (CQUAD4) e, estão presentes nas extremidades dos dois tubos (figura 4). São utilizadas para dar maior rigidez às extremidades e para facilitar a montagem. São usinadas e fabricadas em alumínio de 8,0 mm de espessura. A união dos cilindros é feita através das flanges utilizando-se 16 parafusos.

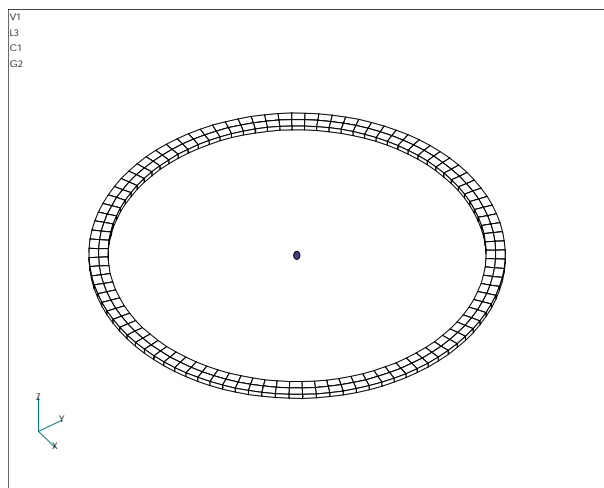


Figura 4. Flange

A estrutura tubular é reforçada por 12 nervuras fixadas radialmente nos cilindros e montadas nas suas duas extremidades. Elas unem o cilindro à flange por meio de parafusos que são representados por elementos rígidos (RBE2). Esses elementos simulam juntas com rigidez infinita em direções pré-estabelecidas, em quaisquer dos seis graus de liberdade. A nervura, mostrada na figura 5, é fabricada a partir de chapa de alumínio de $\frac{3}{16}$ in (4,8 mm).

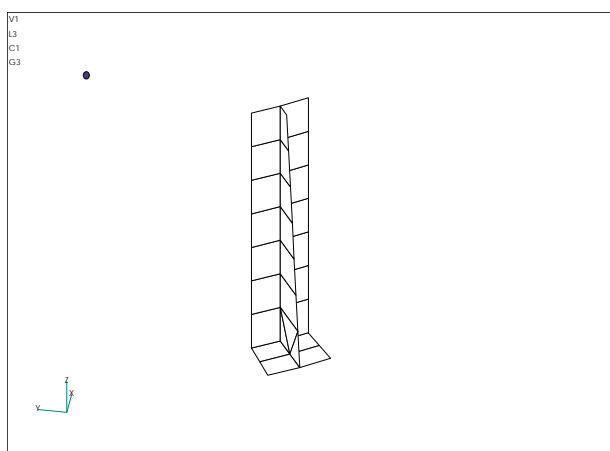


Figura 5. Nervura

2.3 Condições de Carregamentos do Telescópio

O telescópio estará submetido a quatro tipos de carregamento durante as fases de lançamento e operação: (1) na fase de pré-lançamento o telescópio está montado e colocado na posição horizontal. Nesta situação a estrutura é solicitada, além do peso próprio, por uma carga concentrada na extremidade de 1800 N devido a massa da máscara; (2) quando a gôndola está suspensa pelo balão o tubo prolongador sofre uma carga estática de 1g no sentido ascendente; (3) quando o pára-quedas abre (carregamento transiente correspondente a 5g no sentido ascendente); (4) quando o telescópio toca o chão (carregamento transiente correspondente a 5g no sentido descendente).

Neste trabalho serão analisados os casos (1) e (4).

2.3.1 Condição de Carregamento 1

Quando o telescópio se posiciona horizontalmente, conforme mostrado na figura 6, a massa da máscara solicita a estrutura tubular de modo a flexionar a mesma. Dessa forma, a análise estática realizada nessa situação consiste na verificação da região mais crítica, e analisa sua integridade estrutural em relação a resistência das uniões rebitadas.

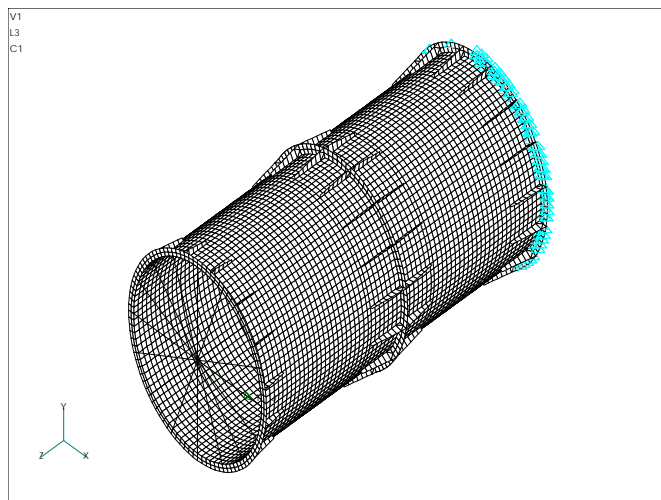


Figura 6. Tubo submetido a condição 1

Para representar o peso correspondente à massa da máscara (180 kg) do telescópio, foi aplicada numa extremidade do tubo uma força de 1800N na direção X em relação ao sistema de coordenadas global do modelo (figura 3). Considerou-se também os efeitos da gravidade sobre o tubo aplicado na mesma direção. Na outra extremidade foram colocadas restrições à translação nas três direções. O resultado dessa análise, mostrado na figura 7, é :

elemento mais crítico : ID = 682
tensão de Von Mises: 43,05 MPa

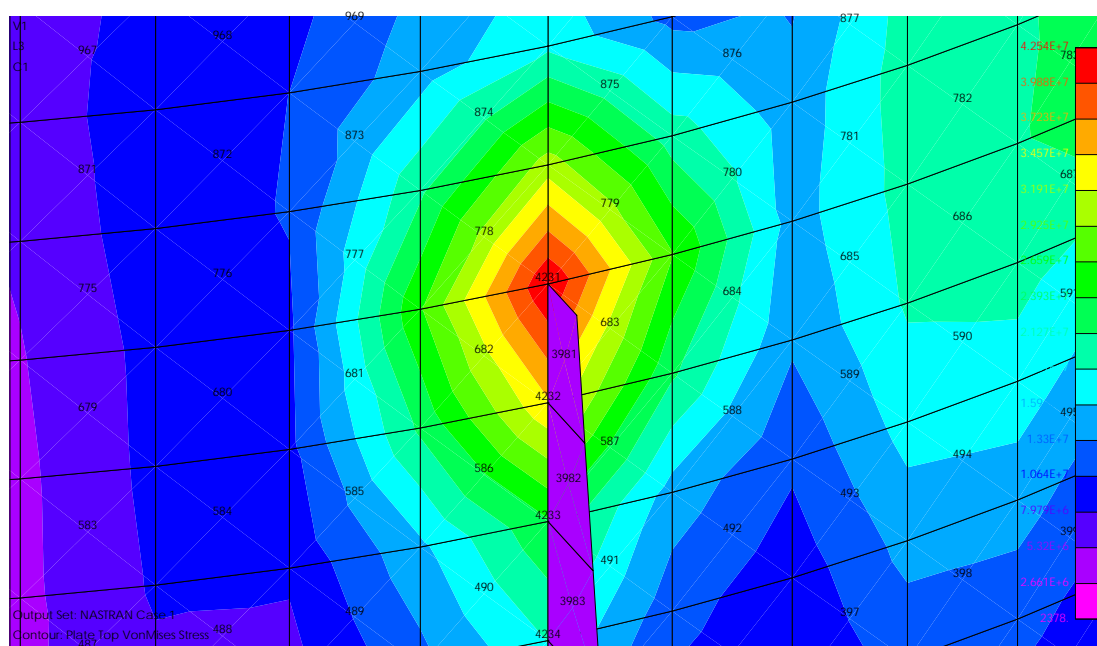


Figura 7. Detalhe da região de maior sollicitação de tensões (elemento 682)

Com a intenção de investigar melhor a região crítica, refinou-se a malha na região de maior concentração de tensão, conforme pode ser visto na figura 8:

elemento mais crítico : ID = 4257

tensão de Von Mises: 67,0 MPa

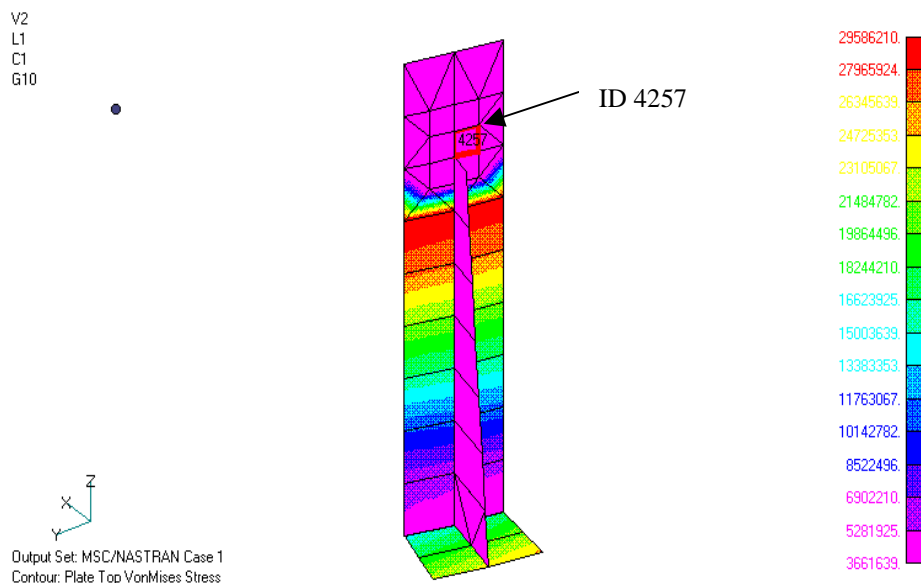


Figura 8. Refinamento da malha na região crítica de tensões.

2.3.2 Condição de Carregamento 4

Para representar o carregamento dinâmico que a estrutura tubular sofre no instante em que toca o chão, estimou-se um carregamento equivalente à cinco vezes o peso da máscara do telescópio e dividiu-se o mesmo em todos os nós da flange superior, de modo a representar o carregamento da forma mais uniforme possível.

$$P_{equivalente} = \frac{5 \times 9,81(m/s^2) \times 180kg}{288nós} = 30,66 \frac{N}{nó}$$

A figura 9 mostra o carregamento aplicado nos nós da flange superior.

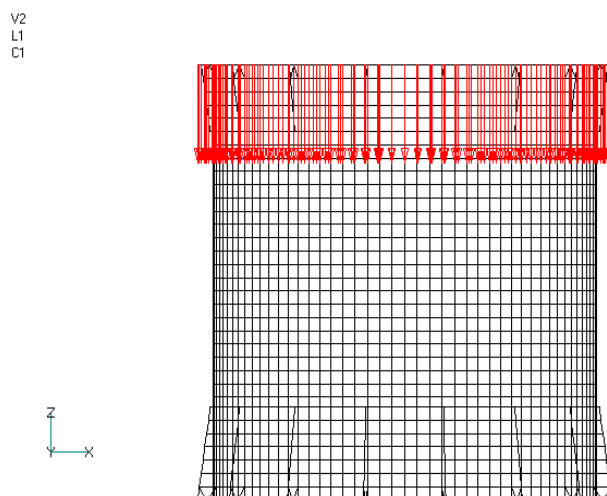


Figura 9. Tubo submetido a condição de carregamento 4.

A figura 10 mostra um detalhe das regiões de maior solicitação de tensão como resultado desta análise. Essas regiões estão localizadas nas extremidades das nervuras, como ocorreu no acaso do carregamento 1.

elemento mais crítico : ID = 3209

tensão de Von Mises: 31,0 MPa

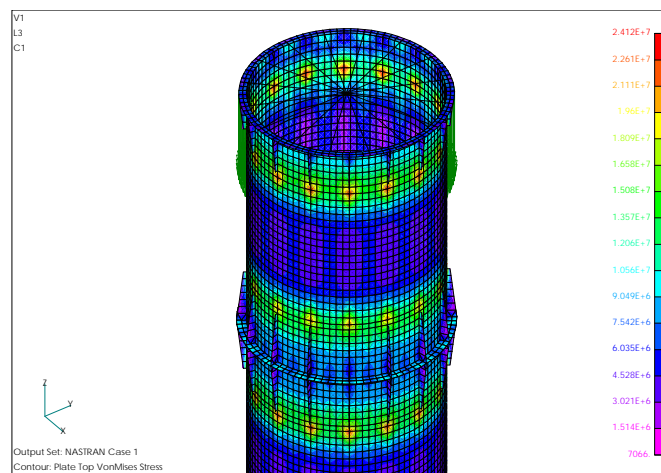


Figura 10. Detalhe das regiões de maior solicitação de tensão

2.3.3 Verificação do Modelo Numérico

Após a etapa de modelamento da estrutura do telescópio, alguns testes foram realizados para verificar a exatidão do modelo. Estes testes, sugeridos pela NASA (*GIRD, 1994*), têm o objetivo de detectar a existência de alguns dos erros mais comuns no modelamento numérico de estruturas.

1º Teste : Aplica-se uma carga gravitacional unitária na direção de cada um dos três eixos da estrutura. O modelo deve estar livre de quaisquer outros carregamentos externos. Através de uma análise estática verifica-se se a resultante das reações de apoio na direção do carregamento aplicado é igual ao peso da estrutura. Este teste detecta a existência de possíveis restrições não especificadas.

2º Teste : Uma análise modal é feita no modelo livre-livre da estrutura. As seis primeiras frequências obtidas devem ser inferiores a $1,0E-2$ Hz e o modelo deve ser capaz de representar os seis modos de corpo rígido da estrutura.

3º Teste : Retirados todos os carregamentos externos do modelo, deixa-se ele apoiado em apenas um nó. É aplicado um deslocamento unitário nos três graus de liberdade de deslocamento deste apoio (translação ao longo dos três eixos x, y e z), um de cada vez. Na análise estática, deve-se constatar que o deslocamento em todos os nós da estrutura é igual ao dado no nó restrito. Este teste indica se há algum nó preso indevidamente.

3. Conclusões

Observa-se que no caso 1 a tensão de Von Mises é igual a 43,05 MPa. Quando refina-se a malha na região mais crítica a tensão de Von Mises aumenta para 67 MPa. O valor admissível de tensão de tração/compressão do material utilizado é 65,5 MPa, existindo um fator de segurança embutido neste valor. As tensões solicitantes ultrapassam um pouco a tensão admissível apenas em pontos localizados, isto é, pontos de concentração de tensões. Como critério de verificação pode-se admitir que esta situação seja aceitável para poucos ciclos dos carregamentos estáticos equivalentes analisados.

A resistência dos rebites da estrutura ao cisalhamento também deve ser verificada. Os rebites das nervuras e das flanges não apresentaram a segurança desejada e foram substituídos por parafusos.

Tratando-se de um equipamento de alta precisão e para garantir toda margem de segurança do projeto, foi decidido reforçar o tubo, conforme ilustra a figura 11, adicionando tiras de alumínio nas regiões mais críticas, reduzindo assim os picos de tensões, e substituindo os rebites existentes na estrutura por parafusos. A próxima etapa do trabalho é a verificação da segurança à fadiga.

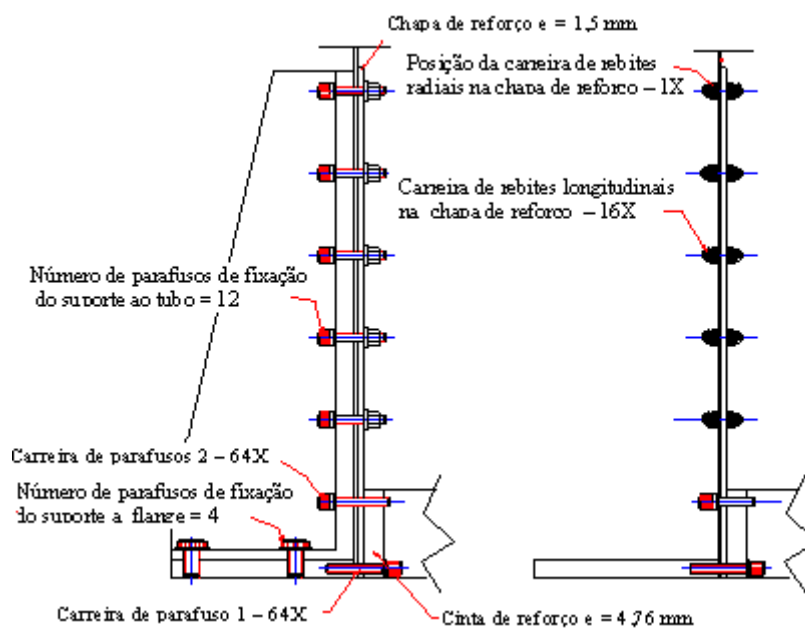


Figura 11. Solução de reforço da estrutura tubular

4. Agradecimentos

Ao INPE por possibilitar a realização desse trabalho.

5. Referências Bibliográficas

- Enterprise Software Products, 1996, “Introducing to FEA (Finite Element Analysis) using FEMAP (Finite Element Modeling and Postprocessing)”, Version 4.51 for Windows, Exton.
- Gottesman, S.R & Femimore, E.E., 1989, “New family of binary arrays for coded aperture imaging”, Applied Optics, 28(20), 4344-4352.
- MSC/NASTRAN, The MacNeal-Schwendler Corporation/National Aeronautics and Space Administration, 1998, Los Angeles, U.S.A.
- NASA, 1994, “General Interface Requirements Document (GIRD) for EOS Common Spacecraft / Instruments”, Nasa Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, REVA, GSFCC-422-11-12-01.
- Souza, P. N., Fonseca, R. A., Villela Neto, T. & Kataoka Filho, M., 1997, “The Design of a Stabilized Gondola for a Gamma Ray Telescope”, XIV Brazilian Congress of Mechanical Engineering, UNESP, Bauru.
- Villela, T., Braga, J., D’Amico, F. & Jayanthi, U.B., 1995, “A MURA-based coded mask telescope”, Advances in Space Research, 15(5), 95-98.