

VEMAX

VEÍCULO DE PROPULSÃO HUMANA COM CARENAGEM

* MARCOS WOLYNEC

* ROGÉRIO DE PETRINI SILVA COELHO

* SÉRGIO RICARDO AFONSO

LINA 219450

cor-23

X ORIENTADOR: OSMAR PAVANI

COORDENADOR DA ÁREA : OMAR MOORE DE MADUREIRA

PMC 580 - PROJETO MECÂNICO I

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

INVERNO DE 1992

Índice.

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	2
3. Especificação Técnica.....	2
3.1. Construtivos.....	2
3.2. Operacionais.....	2
3.3. Funcionais.....	3
4. Síntese das Soluções.....	3
4.1. Solução 1.....	3
4.2. Solução 2.....	3
4.3. Solução 3.....	3
4.4. Solução 4.....	4
5. Exequibilidade Física.....	5
5.1. Estrutura.....	5
5.2. Transmissão.....	5
5.3. Assoalho.....	5
5.4. Carenagem.....	5
5.5. Freios.....	5
5.6. Sistema de direção.....	5
6. Escolha da Melhor Solução.....	6
7. Construção de Modelos.....	7
Modelos icônicos.....	7
Modelos analógicos.....	7
Modelos matemáticos.....	7
7.1. Estrutura, condutor e carenagem.....	7
7.2. Mapeamento para construção do modelo a ser ensaiado em túnel de vento.....	8
7.3. Determinação da velocidade angular do pedal.....	8
7.4. Teste em túnel de vento do modelo aerodinâmico.....	8
7.5. Análise da resistência.....	8
7.5.1. Estrutura.....	8
7.5.2. Sistema de direção.....	8
7.6. Análise das forças.....	9
7.6.1. Velocidade constante.....	9
7.6.2. Movimento de aceleração.....	10
7.7. Determinação da massa do veículo.....	10
8. Análise da Sensibilidade.....	11
8.1. Força aplicada no pedal.....	11
9. Análise da Compatibilidade.....	14

9.1. Giro do pedal.	14
9.2. Ângulo de direção.	14
9.3. Movimento da alavanca de direção.	14
9.4. Análise estática.	14
10. Bibliografia.	15

1. Introdução.

Velocidade. O desejo do Homem de cada vez ser mais rápido, superando seus próprios limites. Um desejo que aumenta a versatilidade das pessoas, empurra o desenvolvimento técnico-científico, e traz mais prazer à vida e aos esportes.

A ciência investe massivamente em tecnologias, recursos, materiais e processos que permitam atingir velocidades cada vez mais elevadas. A gama de aplicações é vasta: desde novos combustíveis para foguetes, rendimento de motores de combustão interna e modelagens aerodinâmicas, até novos solados para tênis de corrida, treinamento e alimentação de cavalos de corrida e métodos científicos de aproveitamento muscular.

O que se procura não é a máxima velocidade com que um ser humano pode ser transportado, cujo recorde hoje em dia pertence ao ônibus espacial, mas sim otimizar um veículo, adequando-o a uma determinada finalidade. A cada tipo de aplicação estão vinculados um trajeto, o objeto a ser transportado, como ele pode ser transportado, as possíveis fontes de propulsão e como o transporte se relacionará com o meio ambiente.

O estudo de veículos de propulsão humana está sendo restudado há alguns anos. A idéia de uma bicicleta que possa atingir velocidades que são obtidas com um automóvel é de interesse dos pesquisadores, em face dos vários inconvenientes dos automóveis, como a escassez dos combustíveis e a poluição. Do mesmo modo, ela também busca bicicletas mais rápidas como meio de superar recordes no ciclismo. Assim, foi criada em 1976 a *International Human Powered Vehicle Association* (IHPVA), com o propósito de realizar competições de velocidade para veículos de propulsão humana. Esta entidade é desvinculada da *Union Cycliste Internationale*, que rege as regras do ciclismo como esporte, e impõe estritas restrições a dispositivos aerodinâmicos e formas construtivas das bicicletas.

Vários veículos foram concebidos após a criação da IHPVA no mundo inteiro, mas nenhum no Brasil. A idéia de se construir um veículo de propulsão humana visando a máxima velocidade deve partir de um projeto acadêmico cujas preocupações básicas são os estudos das tecnologias e equacionamentos que visem otimizar o veículo. Desta forma, não se faz necessário o estudo de fabricação seriada e aceitação no mercado. No caso deste projeto, os custos somente serão considerados como fator limitante quando atingirem níveis que impossibilitem a construção de um protótipo.

2. Objetivos.

O projeto **VEMAX➤** consiste em desenvolver um veículo terrestre de propulsão humana visando obter a máxima velocidade possível. Desta forma o veículo deve aproveitar ao máximo a potência e energia disponíveis do condutor, utilizando-se para isso de mecanismos de alto grau de eficiência, dispositivos para minimização das perdas para o meio e de uma aplicação das teorias de ergonomia visando o bem-estar e permitindo o maior fornecimento de potência por parte do condutor.

Em linhas gerais, o projeto pretende:

- minimizar a força de arrasto atuante sobre o veículo;
- desenvolver os mecanismos de transmissão da força aplicada e de dirigibilidade;
- projeto de uma estrutura leve e resistente que permita comportar os mecanismos necessários, o condutor, e os esforços resultantes do movimento;
- estudo ergonômico do posicionamento do condutor, tanto na sua acomodação no veículo, bem como a interação dele com os mecanismos acima descritos.

O veículo deve atender às seguintes regras e parâmetros:

- a única fonte propulsora do veículo deve ser proveniente da força muscular do condutor;
- a velocidade máxima deverá ser medida num percurso retilíneo plano de 200 m com largada lançada após aproximadamente 2000 m de aceleração;
- não deve haver nenhum meio de redução de arrasto que seja externo ao veículo, como por exemplo um carro à frente que gera uma depressão, ou que necessite de uma fonte de energia que não seja a do próprio condutor;

3. Especificação Técnica.

De modo a satisfazer as necessidades anteriormente estabelecidas, o veículo deve atender os requisitos a seguir:

3.1. Construtivos

- Área frontal do veículo + condutor deve ser no máximo de 0,7 m².
- Peso do veículo limitado em $\begin{cases} \text{carenagem: 13 kg} \\ \text{estrutura: 23 kg} \end{cases}$

3.2. Operacionais

- Fácil manutenção.
- Carenagem com montagem/desmontagem simples.

3.3. Funcionais

- Propulsão humana.
- Velocidade.
- Segurança.
- Visibilidade adequada.
- Raio mínimo de curvatura de 10 m.

4. Síntese das Soluções.

4.1. Solução 1.

Bicicleta convencional com carenagem.

Características construtivas:

- Maior número de marchas com relação de transmissão de modo a propiciar maior velocidade final.
- Apoios para encaixe da carenagem.
- Carenagem a 0,3 m do chão, de modo a permitir que o veículo possa inclinar o suficiente para fazer curvas.
- Eficiência da transmissão: $\eta_{\text{corrente}} = 0,99$ e $\eta_{\text{rolamento}} = 0,98 \Rightarrow \eta = 0,99 \times (0,98)^2 = 0,95$.

4.2. Solução 2.

Veículo de três rodas, sendo uma dianteira e duas traseiras.

Características construtivas:

- Roda dianteira de 16", responsável pela tração.
- Rodas traseiras de 26", responsáveis pela direção.
- Transmissão por corrente.
- Assento e encosto apoiados na estrutura, fabricado em nylon e espuma, com posição regulável.
- Carenagem presa ao assoalho do veículo.
- Câmbio de 5 velocidades.
- Alavanca de direção lateral.
- Freio na roda dianteira.
- Eficiência da transmissão: $\eta = 0,99 \times (0,98)^2 = 0,95$.

4.3. Solução 3.

Veículo de três rodas, sendo duas dianteiras e uma traseira.

Características construtivas:

- Rodas dianteiras de 16", responsáveis pela direção.
- Roda traseira de 26", responsável pela tração.
- Transmissão por corrente, passando por debaixo do condutor.

- Assento e encosto apoiados na estrutura, fabricado em nylon e espuma, com posição regulável.
- Carenagem presa ao assoalho do veículo.
- Câmbio de 5 velocidades.
- Rodas dianteiras fixadas por garfos.
- Alavanca de direção lateral.
- Freio nas três rodas.
- Eficiência da transmissão: $\eta = 0,99 \times (0,98)^6 = 0,88$.

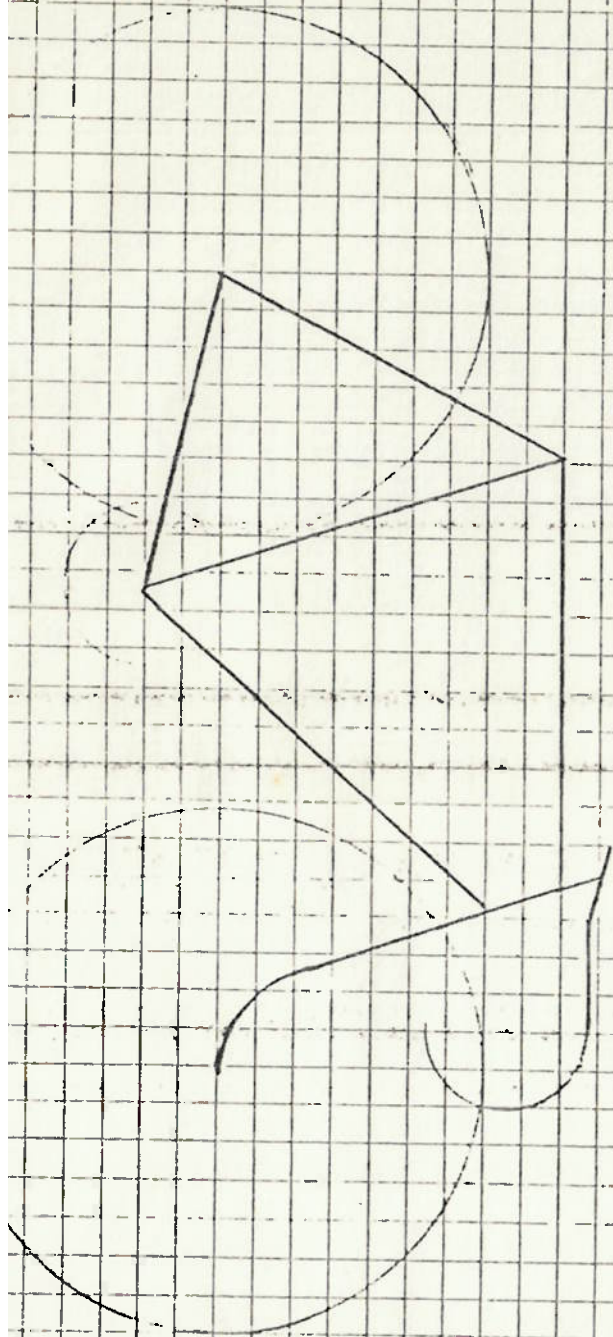
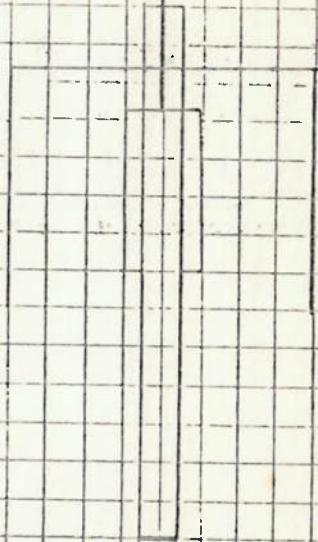
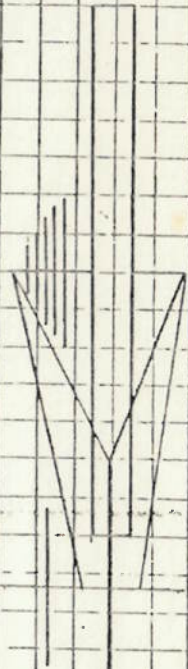
4.4. Solução 4.

Veículo de três rodas, sendo duas dianteiras e uma traseira, Similar à Solução 3.

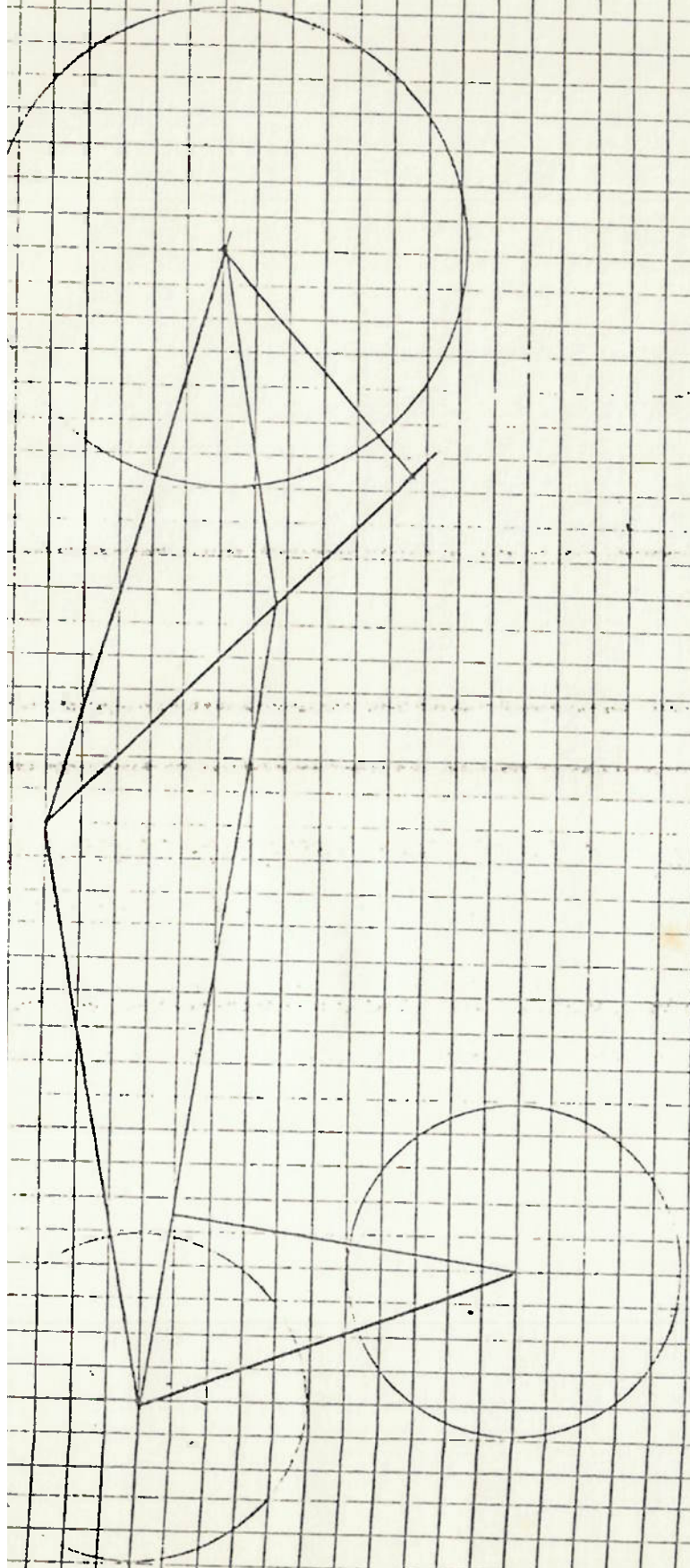
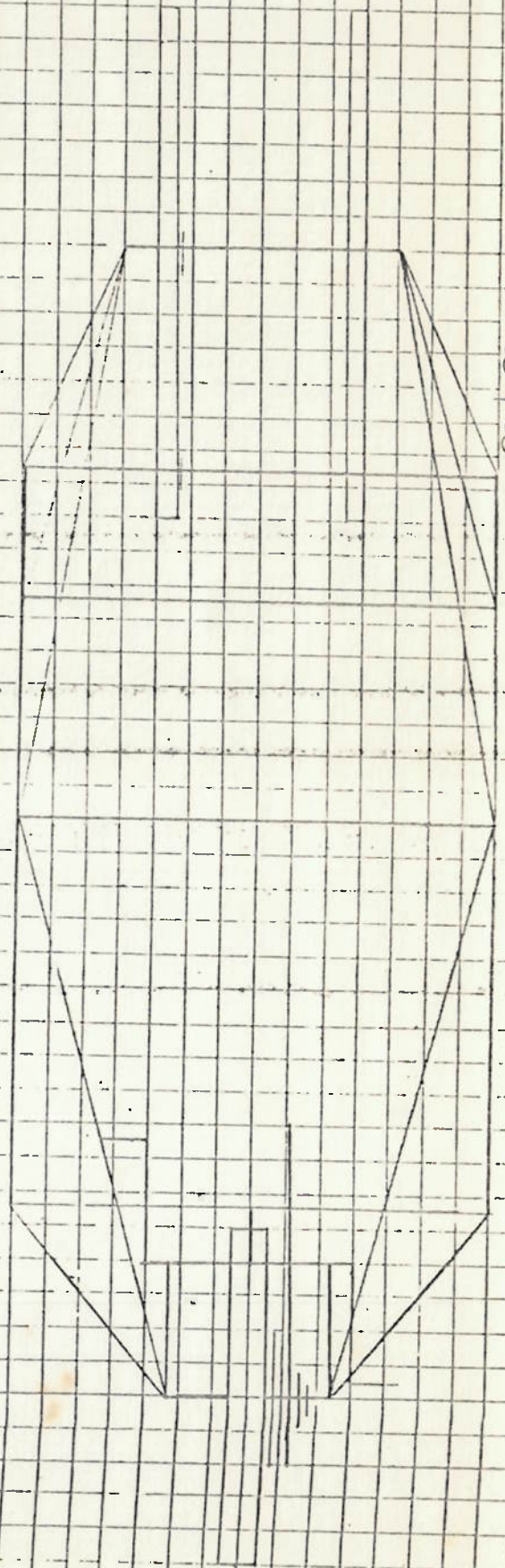
Características construtivas que diferem da Solução 3:

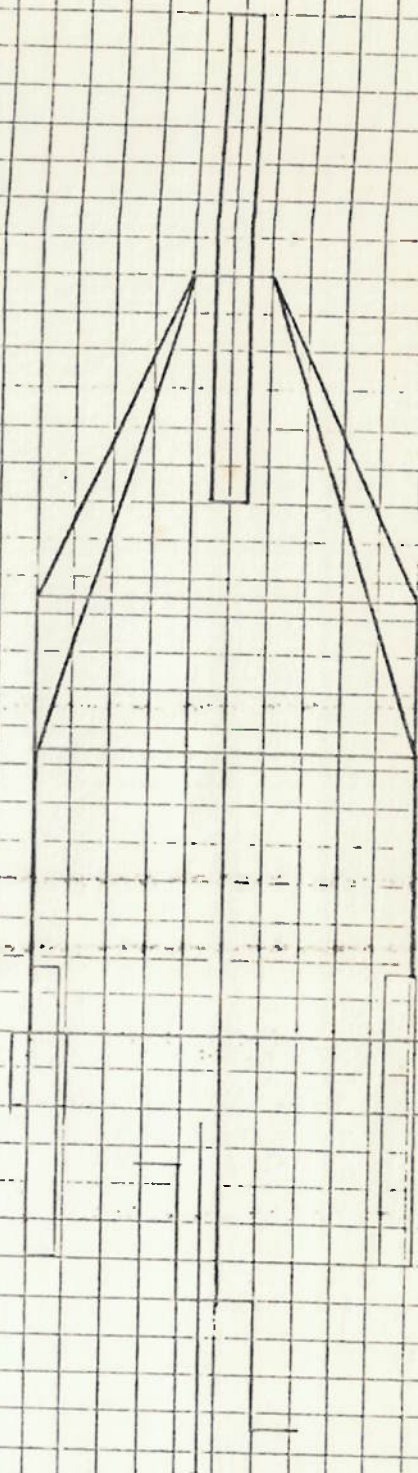
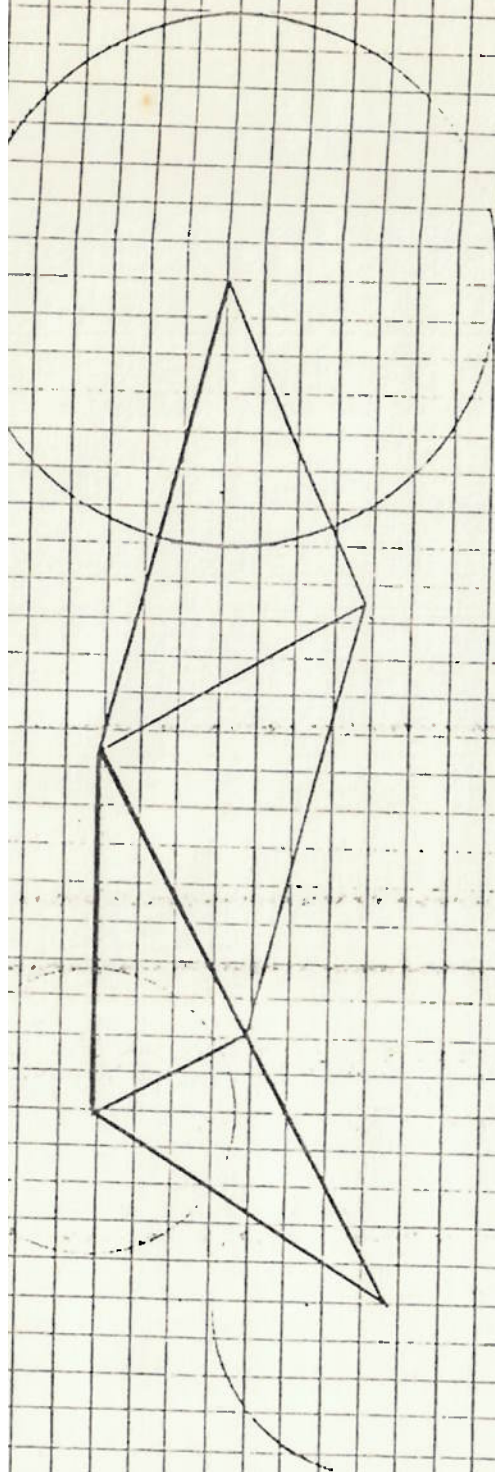
- Rodas dianteiras de 26", com fixação monoapoiada na estrutura.
- Alavanca de direção inclinada no plano de simetria do veículo.
- Freio apenas na roda traseira.
- Eficiência da transmissão: $\eta = 0,99 \times (0,98)^6 = 0,88$.

Soluzioni 1



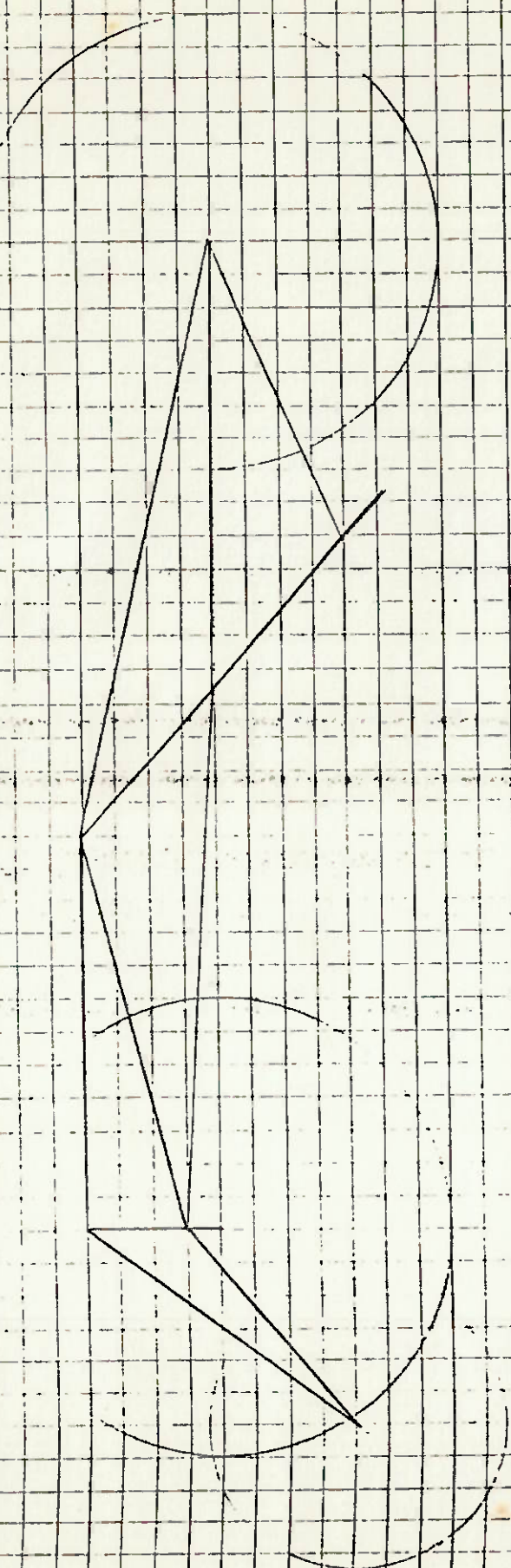
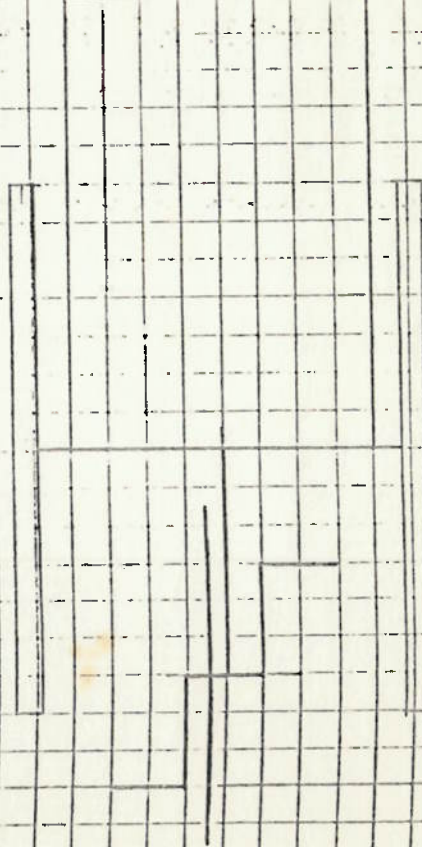
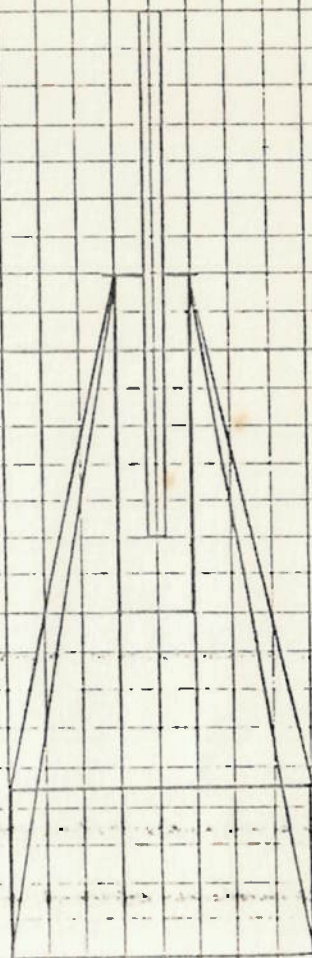
Solucão 2



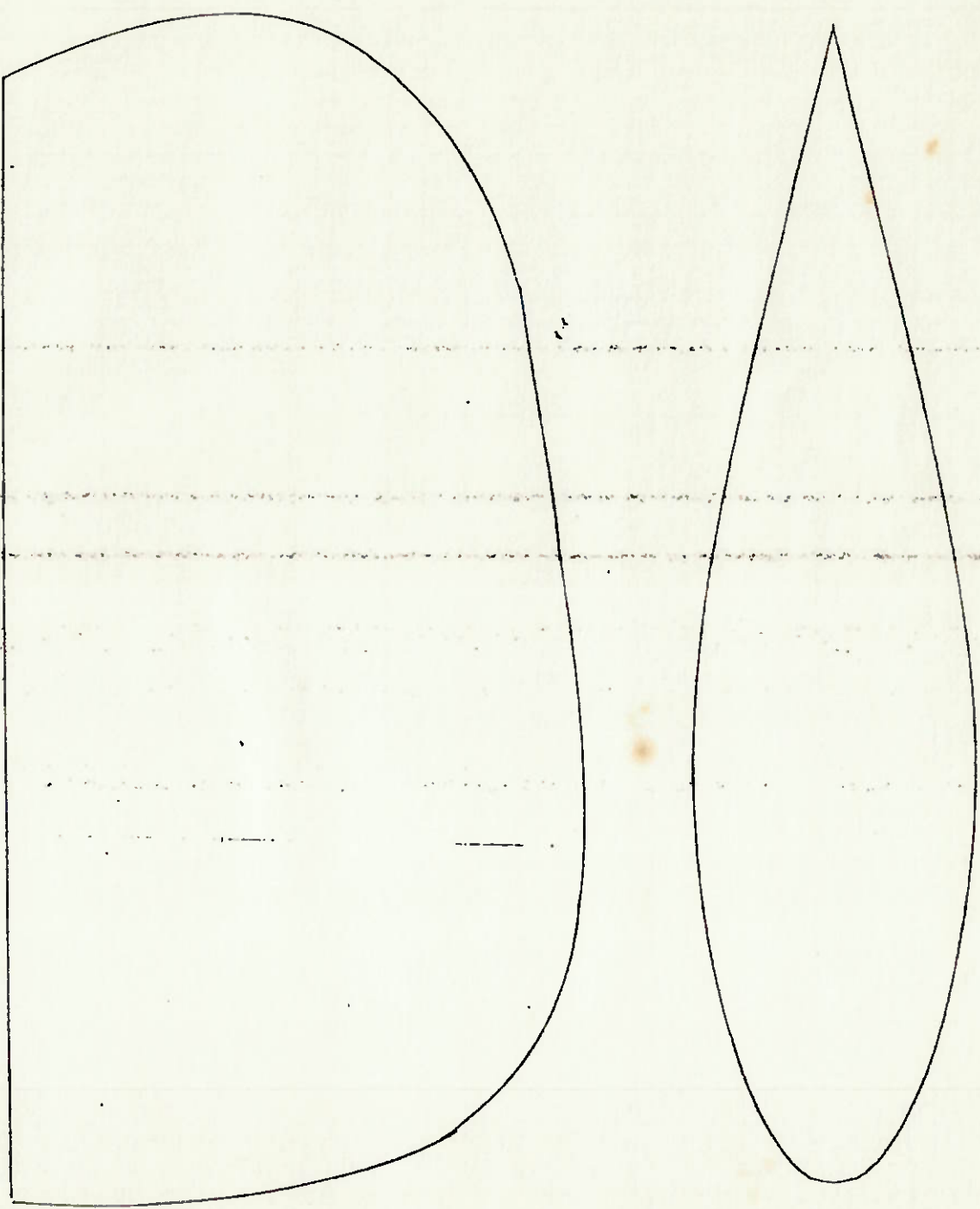


Solutoe 3

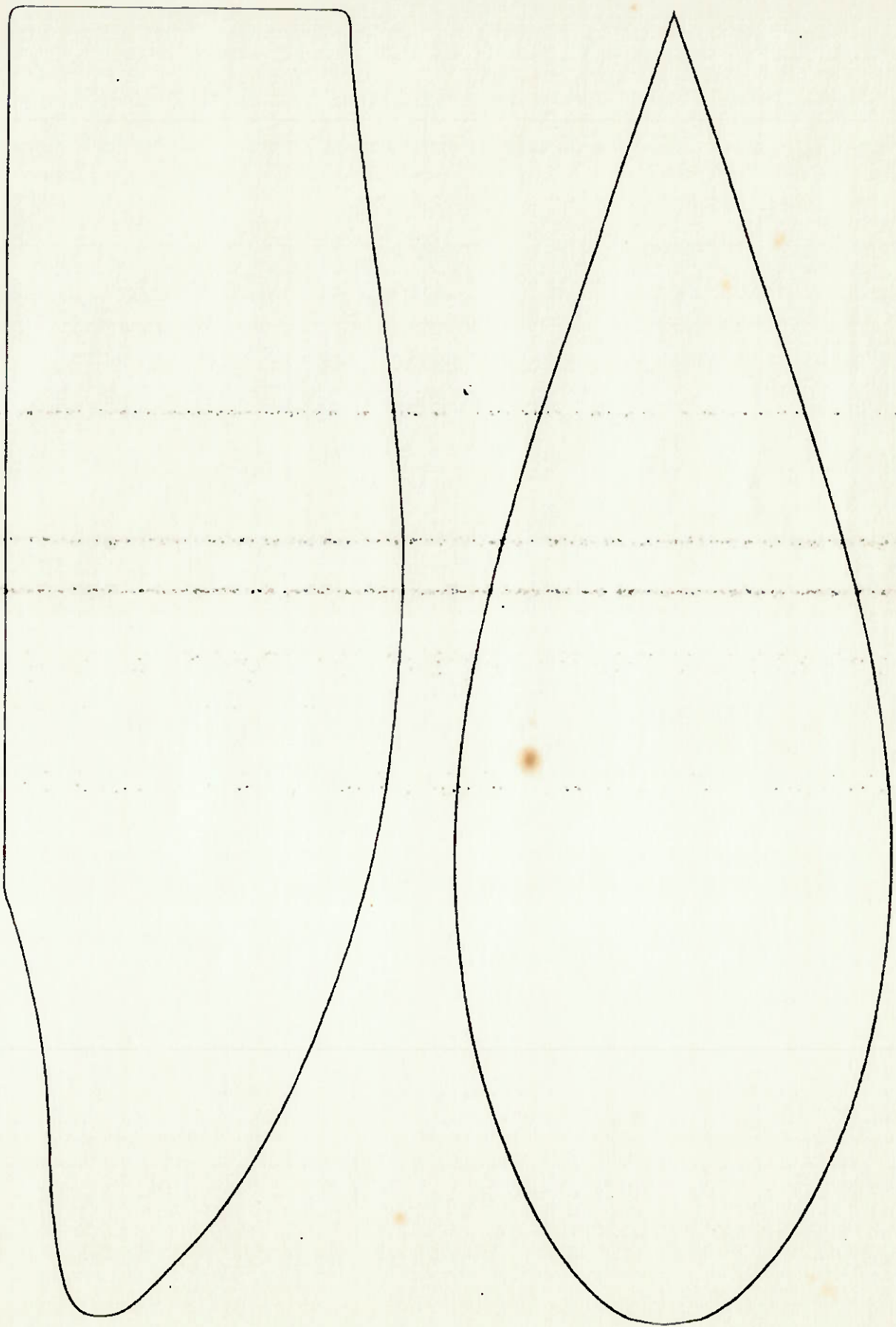
Solucão 4



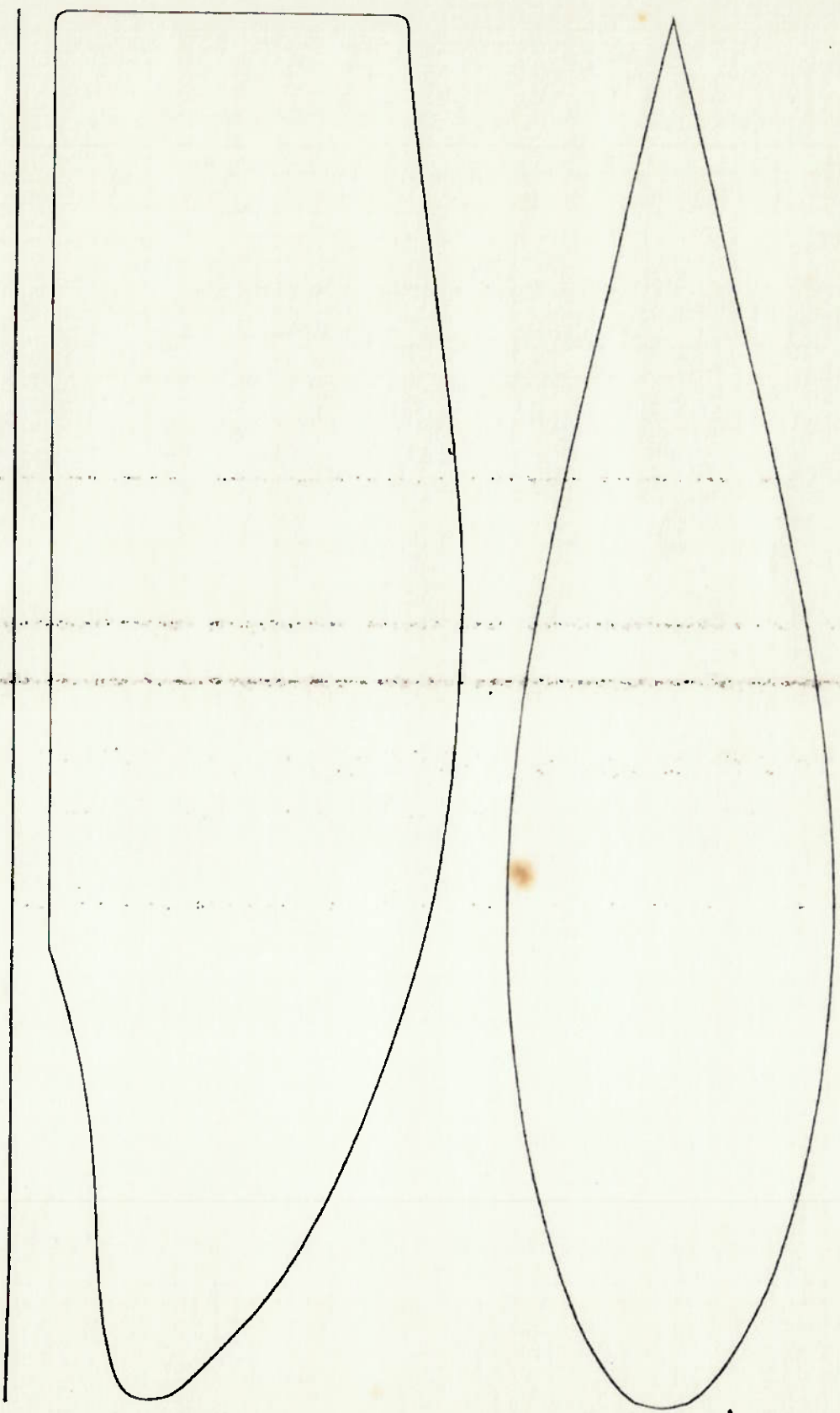
Solução nº 1



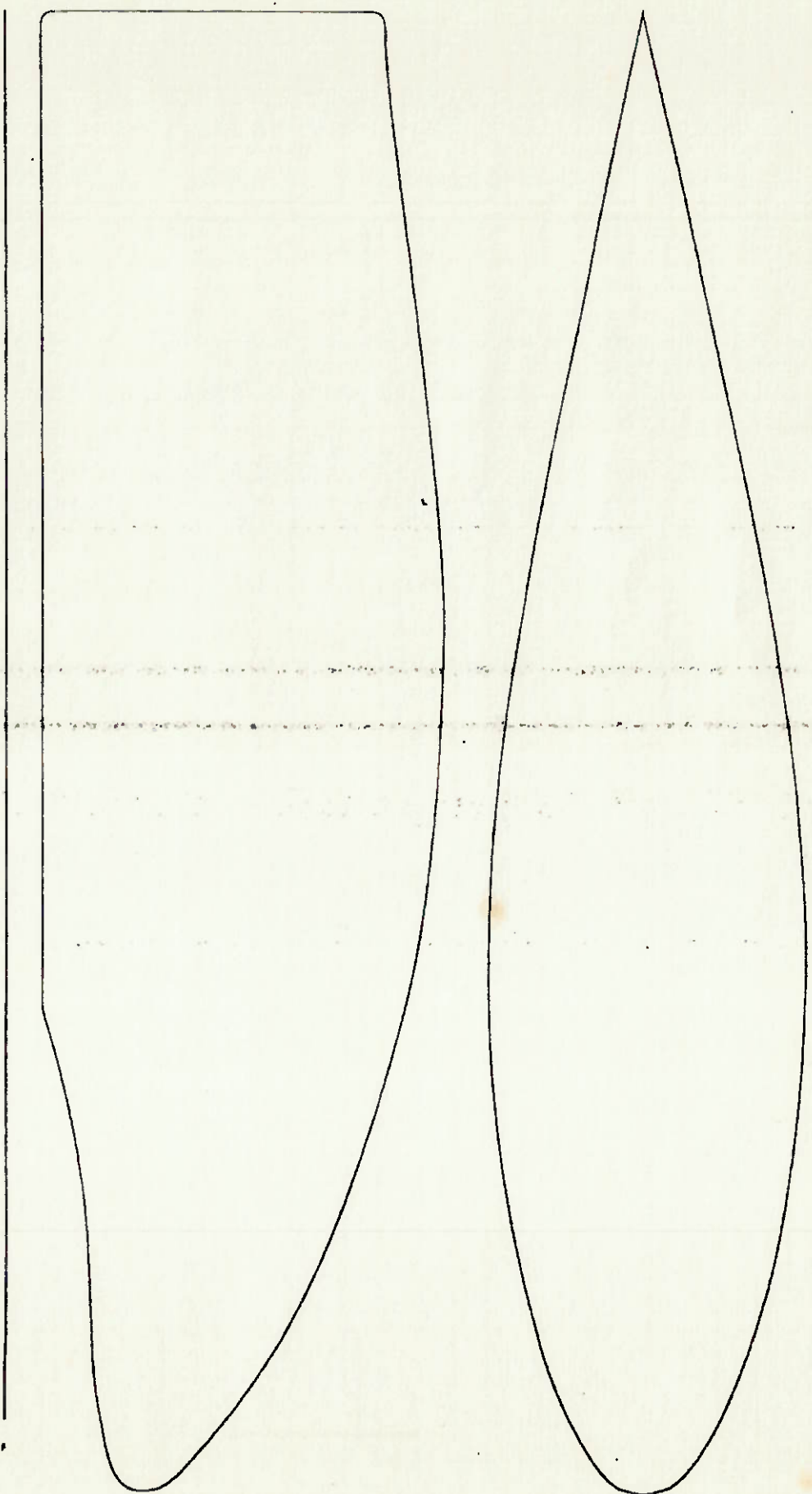
Solução nº 2



Solução nº 3



Solução nº 4



Avaliação da área frontal das soluções

Solução 1



$$A_f = 0,642 \text{ m}^2$$

$$569 \text{ mm}^2$$

Solução 4

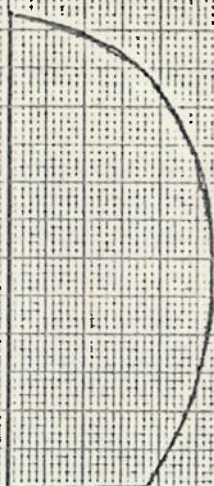


$$A_f = 0,495 \text{ m}^2$$

$$1200 \text{ mm}^2$$

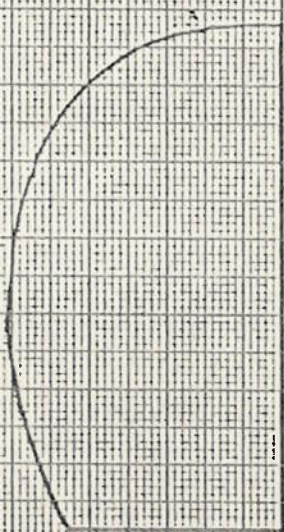
Solução 3

$$A_s = 0,557 \text{ m}^2$$



$$1,363 \text{ m}^2$$

Solução 2



$$A_s = 0,848 \text{ m}^2$$

$$2,074 \text{ m}^2$$

$$1,363 \text{ m}^2$$

5. Exequibilidade Física.

As soluções propostas não apresentam problemas quanto à exequibilidade física, já que a maioria das peças podem ser encontradas no mercado, como rodas, pneus, pedais, freio, etc.

Como as soluções 2, 3 e 4 diferem das bicicletas convencionais, analizaremos alguns pontos fundamentais:

5.1. Estrutura.

Executada em tubos de alumínio, visando diminuir a massa total do veículo.

5.2. Transmissão.

Utiliza-se pinhões, sistema de mudança de marcha e correntes convencionais de bicicleta. Apenas a catraca dianteira deve ser maior que as encontradas no mercado, de modo a propiciar uma relação de transmissão maior. Tal roda dentada é executada em chapa de aço, fabricada por meio de uma fresa universal de comando numérico, para se obter a precisão desejada.

5.3. Assoalho.

Executado em fibra de vidro e fixado à estrutura. Possui o perfil de gota máximo (indicado na figura). Deve ser capaz de sustentar a carenagem.

5.4. Carenagem.

Executada em fibra de vidro, com a parte superior de material transparente a ser estudado, de modo a permitir ao condutor a visão ideal da pista.

5.5. Freios.

Freios de sapatas utilizados nas bicicletas convencionais.

- solução 2: freio na roda dianteira;
- solução 3: freio nas três rodas;
- solução 4: freio na roda traseira.

5.6. Sistema de direção.

Consiste em uma alavanca de acionamento lateral que move um quadrilátero articulado, onde estão fixadas as rodas.

Construído com tubos e pinos para articulações, com buchas e fixação por meio de porcas. dependendo do esforço na articulação, será necessário a utilização de mancias de rolamento.

6. Escolha da Melhor Solução.

Para que pudessemos escolher a melhor solução¹ dentre todas propostas, foram atribuídas notas a diversas propriedades de cada solução. A cada propriedade foi atribuído um peso, que representa a importância da propriedade em todo o conjunto. Os pesos podem assumir valores de 1 a 5, e as notas valores de 0 a 10.

Vale ressaltar que:

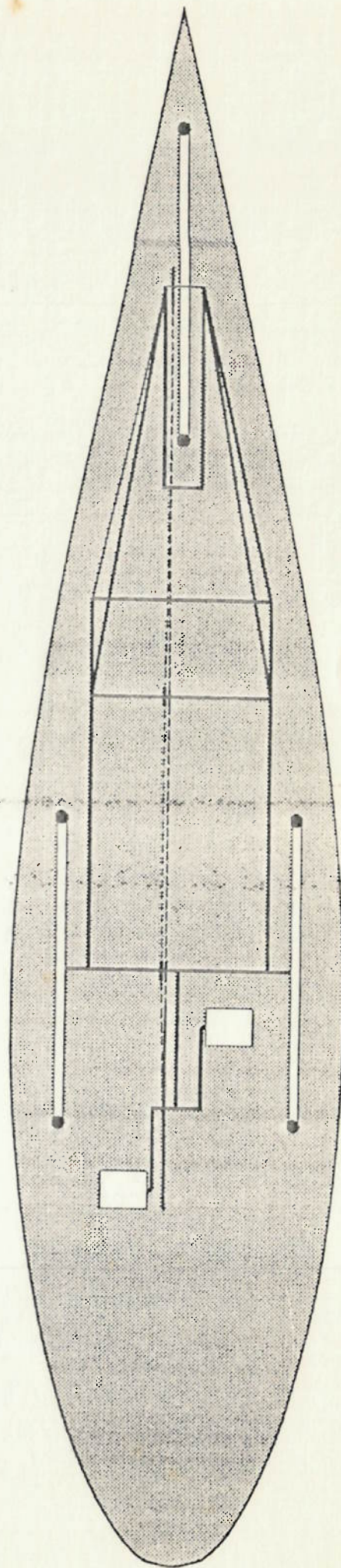
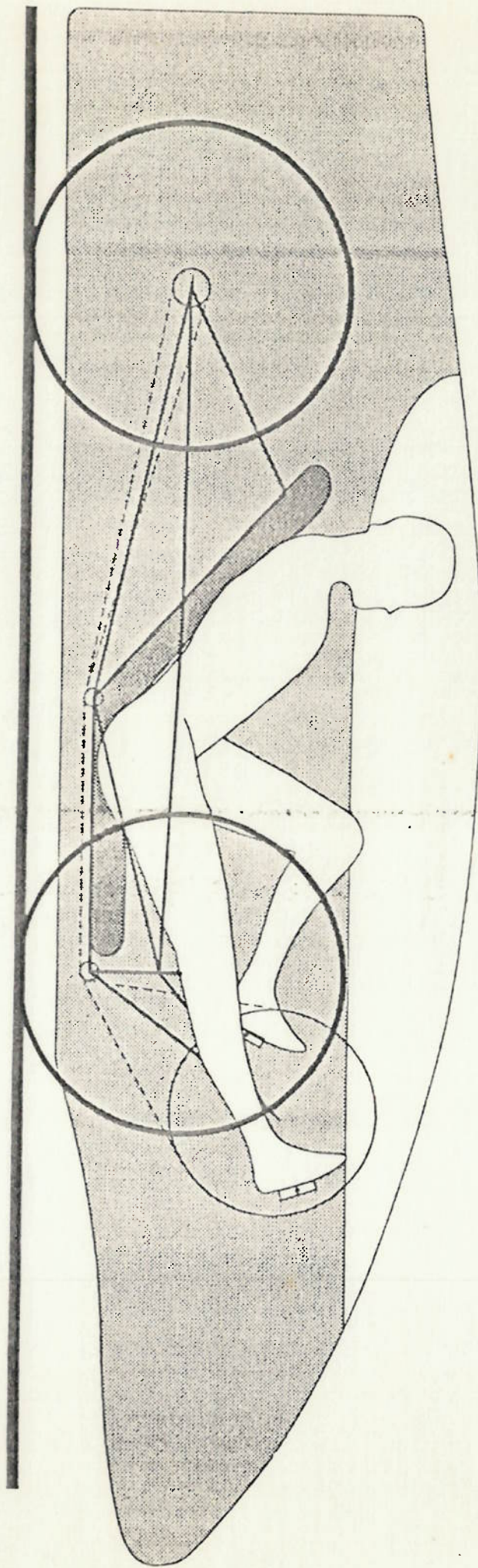
- às propriedades rendimento da transmissão, área frontal e perfil aerodinâmico foram atribuídos os pesos máximos por serem considerados os parâmetros mais influentes na obtenção da velocidade máxima;
- a propriedade segurança tem um peso baixo pelo fato de que o veículo não será pilotado em trânsito normal, e sim numa pista de teste por um piloto altamente qualificado.
- o conforto, que aparentemente não parece ser importante num veículo de corrida, tem um peso significativo por influenciar o rendimento muscular do condutor.

Tabela de Notas e Pesos das Propriedades

Propriedade	Peso	Soluções			
		1	2	3	4
Massa da estrutura	2	10	8	8	8
Massa da carenagem	2	7	8	8	8
Rendimento da transmissão	5	10	10	8	8
Área frontal	5	8	6	9	10
Perfil aerodinâmico	5	6	8	9	10
Estabilidade	3	6	7	7	8
Segurança	2	6	7	7	8
Dirigibilidade	4	8	4	7	8
Conforto	3	5	6	6	8
Campo de visão	1	9	4	4	4
Σ (notas e pesos)	32	240	225	247	272
Média ponderada		7,50	7,03	7,72	8,50

Pelos resultados da tabela, a Solução 4 apresenta as melhores condições para satisfazer as especificações do projeto.

7. Construção de Modelos.



Escolhida a melhor solução, é necessário fazer a construção de modelos que expressem as características e o comportamento do projeto.

Modelos icônicos.

- Estrutura, carenagem e condutor para verificação espacial de interferências entre os três.
- Mapeamento para construção do modelo a ser ensaiado no túnel de vento.
- Desenhos.

Modelos analógicos.

- Determinação da velocidade angular ideal do pedal.
- Teste do modelo aerodinâmico em túnel de vento.

Modelos matemáticos.

- Análise da resistência.
- Análise das forças.
- Determinação da massa do veículo.
- Análise do sistema de direção.

7.1. Estrutura, condutor e carenagem.

Foi construído um modelo da carenagem em madeira balsa, em escala 1:10, baseado nos desenhos das vistas superior e lateral. A partir deste foi feito um novo modelo em cartolina com o objetivo de se obter apenas a casca do perfil, de modo a possibilitar a verificação da interação desta com a estrutura e o condutor.

Construiu-se também a estrutura (na mesma escala) com tubos de cobre, arame e massa epoxi. Pelo fato de que o condutor em determinados pontos foi o fator limitante das dimensões da carenagem, fez-se necessária a construção de um modelo do condutor, baseando-se nas medidas de um homem de 1,90 m.

As interferências analisadas foram:

a) Estrutura - condutor:

- mecanismo de direção - pernas;
- rodas - pernas;
- estrutura - braços e estrutura - pernas.

b) Carenagem - condutor:

- limite superior - pés;
- limite superior - cabeça (com capacete);
- limite lateral - ombros;
- limite lateral - cotovelos.

c) Carenagem - estrutura:

- limite lateral - rodas;
- limite superior - coroa.

7.2. Mapeamento para construção do modelo a ser ensaiado em túnel de vento.

Utilizando-se o perfil aerodinâmico executado em balsa do item anterior, será feito o mapeamento em curvas de nível da 50 mm em 50 mm (na escala real) da carenagem.

7.3. Determinação da velocidade angular do pedal.

Em uma bicicleta convencional (10 marchas), foram realizados testes, onde participaram os três elementos do grupo como condutores, em um trajeto horizontal. Cada condutor pedalou a bicicleta o mais confortavelmente possível nas 10 marchas.

Da análise dos resultados, constatou-se que a velocidade angular média ideal no pedal é de 60 rpm.

7.4. Teste em túnel de vento do modelo aerodinâmico.

Com o modelo icônico da carenagem, será construído um novo modelo em escala a ser determinada (em função da seção de testes e da velocidade do túnel de vento a ser utilizado). Do ensaio deste modelo serão feitas as correções do perfil, eliminando o maior número de vórtices possíveis. Com o perfil final ainda no túnel de vento, determina-se o coeficiente de arrasto da carenagem. A partir desta maquete pode-se avaliar com precisão a área frontal do veículo.

7.5. Análise da resistência.

7.5.1. Estrutura.

Segundo Damon, quando uma pessoa está com as costas apoiadas a força que pode exercer com uma perna é superior ao dobro de seu peso.

Considerando, então, a condição de esforço máximo, podemos construir os seguintes diagramas de forças sobre a estrutura:

- devido ao peso do condutor (P) e ao esforço ($2P$);
- devido ao peso do conjunto ($P_{\text{pedal}} + P_{\text{estrutura}} + P_{\text{carenagem}}$).

Observação: na Figura 2, ρ é a densidade linear dos tubos da estrutura, e o peso da carenagem é igual ao produto da densidade pela área e pela espessura média ($P_{\text{carenagem}} = \rho_{\text{carenagem}} \cdot A \cdot \delta$).

A estrutura exige um cálculo complexo e a especificação exata do seu material e a sua geometria. É um trabalho do Projeto Executivo.

7.5.2. Sistema de direção.

Considerando-se o peso total (veículo + condutor) de 120 kgf, e o C.G. localizado a uma distância horizontal de $\frac{2}{3}$ da distância entre eixos, em relação ao eixo traseiro.

A força de reação em cada roda dianteira será de 40 kgf. Portanto, a força F será:

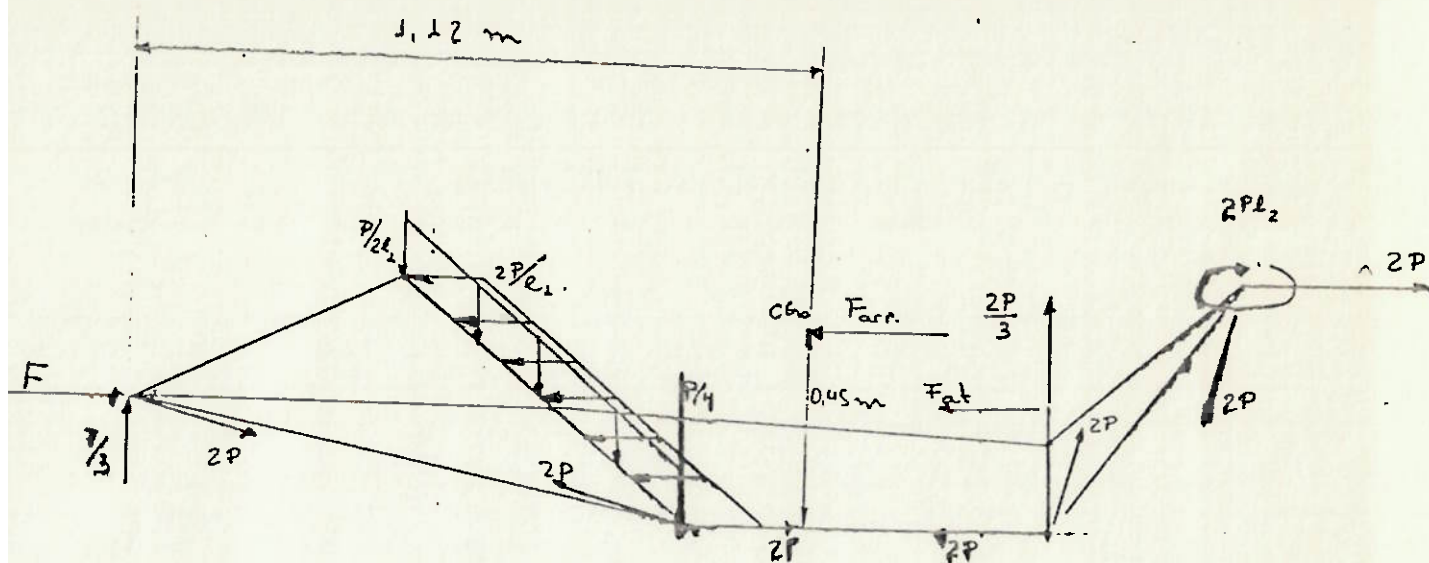


figura 1 - Diagrama das esforças devido ao peso do condutor e da força aplicada ao pedal.

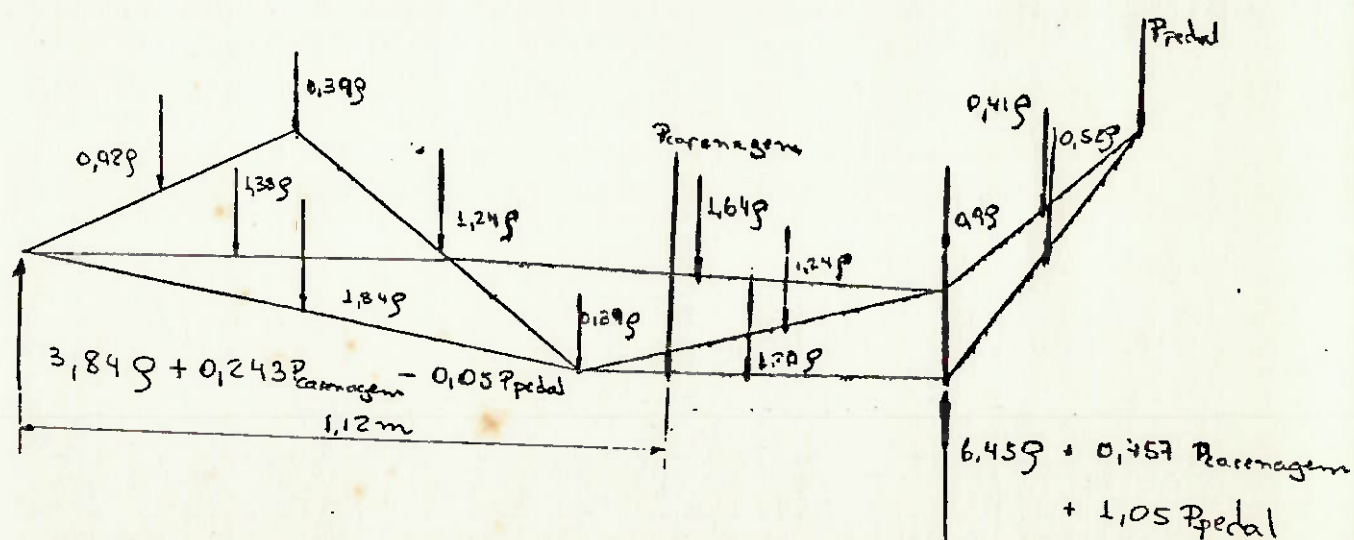
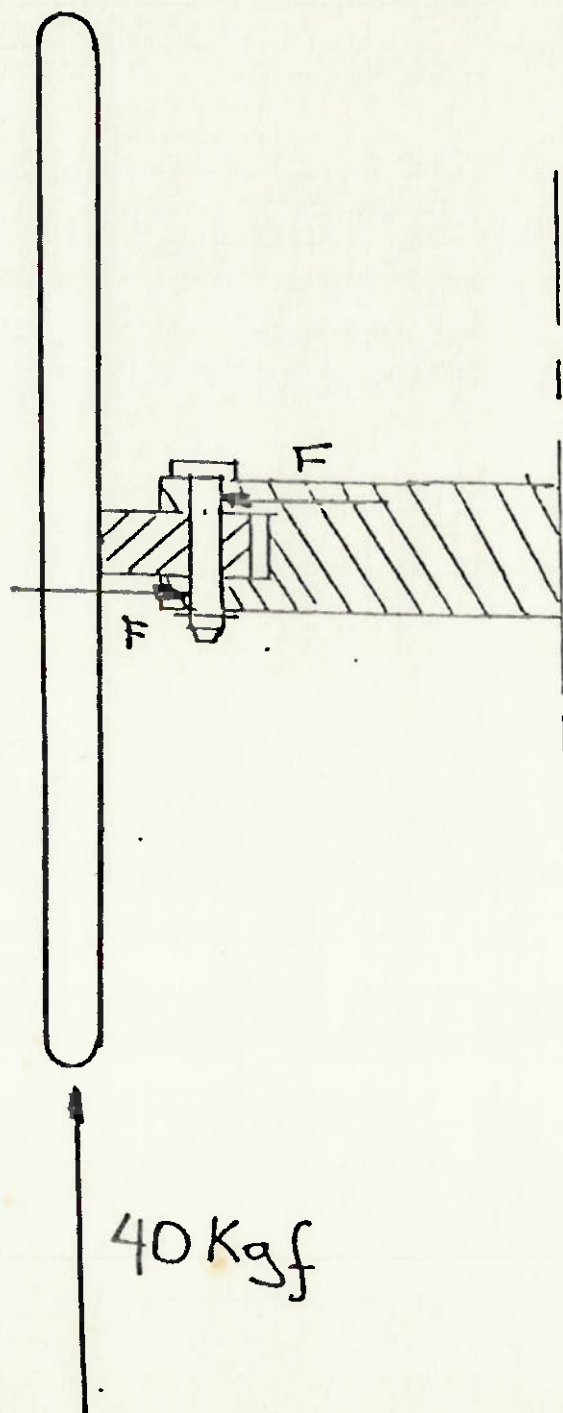


figura 2 - Diagrama dos esforços devido ao peso próprio da estrutura, canalização e pedal

Forças atuantes no momento da extração.



$$F = \frac{40 \times 7}{4} = 70 \text{ kgf}$$

Desta análise verifica-se que a roda tende a desalinhar-se, resultando no aumento do atrito entre as peças, diminuindo assim a dirigibilidade e a vida do conjunto. Esta força será amenizada pelo uso de mancais de rolamento de carga axial.

7.6. Análise das forças.

7.6.1. Velocidade constante.

Para que o veículo se mantenha a uma velocidade constante, é necessário que as forças de resistência ao movimento sejam equilibradas pelo esforço do condutor

As forças resistivas são:

- força de resistência ao rolamento (F_R);
- força de resistência ao ar (F_{AR});
- perdas devido ao rendimento da transmissão (η).

Assim, a força de resistência ao rolamento será:

$$F_R = f \cdot P_{total}$$

onde f é o coeficiente de resistência ao rolamento e P_{total} é o peso total (veículo + condutor). O valor de f pode ser considerado constante e igual a 0,0055.

$$\therefore F_R = 0,66 \text{ kgf}$$

A força de resistência ao ar será:

$$F_{AR} = 0,0049 \cdot C_a \cdot A \cdot \rho_{ar} \cdot v^2$$

onde:

- o fator 0,0049 é devido ao tipo de escoamento, considerado laminar ($Re < 10^5$);
- C_a é o coeficiente de arrasto, a ser obtido da simulação de um modelo em escala em tunel de vento;
- A é a área frontal ($0,491 \text{ m}^2$);
- ρ_{ar} é a densidade do ar;
- v é a velocidade do veículo.

A relação de transmissão real (velocidade do pedal pela velocidade da roda) é:

$$i_r = \frac{r_r \cdot i}{r_p}$$

onde r_r é o raio da roda, r_p é o raio do pedal e i é a relação de transmissão da coroa para o pedal.

Assim, o esforço dispendido pelo condutor será:

$$\bar{F}_p = \frac{1}{\eta \cdot i_r} (F_R + F_{AR}).$$

7.6.2. Movimento de aceleração.

No movimento de aceleração, o esforço do condutor deverá vencer as forças de resistência ao movimento, de modo a acelerar o veículo. Neste movimento, além das forças anteriormente calculadas, aparecerá uma nova força resistente: a força devido à inércia (F_I):

$$F_I = \frac{P_{total}}{g} \cdot \gamma \cdot a$$

onde γ é um coeficiente que leva em conta as massas rotativas, a é a aceleração e g é a aceleração da gravidade. A força média aplicada pelo operador no pedal $\bar{F}_p$ será dada por:

$$\therefore P_{total} \cdot \bar{\omega} = \bar{F}_p \cdot \eta \cdot i_r - F_I - F_{AR} - F_R$$

7.7. Determinação da massa do veículo.

A massa do veículo será estimada pela soma das massas de seus componentes, sendo:

$m_p \equiv$ massa das peças

$m_e \equiv$ massa da estrutura

$m_c \equiv$ massa da carenagem

As massas serão então:

$$m_p = m_{banco} + m_{eng.+calraca} + m_{pedal} + m_{rodas} = 7 \text{ kg}$$

$$m_e = C_T \cdot \rho$$

onde C_T é o comprimento total dos tubos, e

$$m_c = \rho_c \cdot A \cdot \delta$$

onde A é a área total da carenagem e δ é a espessura média da carenagem.

A massa total do veículo será:

$$m_v = m_p + m_e + m_c$$

8. Análise da Sensibilidade.

Esta análise tem por objetivo avaliar os efeitos dos parâmetros de projeto sobre o desempenho do veículo em termos da força máxima aplicada e da eficiência de frenagem.

8.1. Força aplicada no pedal.

Como foi visto anteriormente, esta força $\bar{F}_p$ é dada por:

$$P_{total} \cdot a = \bar{F}_p \cdot \eta \cdot i_r - F_l - F_{AR} - F_R$$

Para o caso em que o o veículo atinge a velocidade máxima, a aceleração é nula. Então:

$$\bar{F}_p \cdot \eta \cdot i_r = F_l + F_{AR} + F_R \quad (*)$$

A força média no pedal $\bar{F}_p$ é função da força máxima aplicada no pedal $F_{p_{max}}$, da direção desta força e do ângulo de extensão do joelho.

Como o pedivela tem 170 mm, o ângulo máxima de extensão do joelho é 180° e a perna do condutor possui aproximadamente 1 m, temos que a variação do ângulo de extensão do joelho no movimento de tração está entre 83° e 180°.

Da figura abaixo temos que a força média do condutor é:

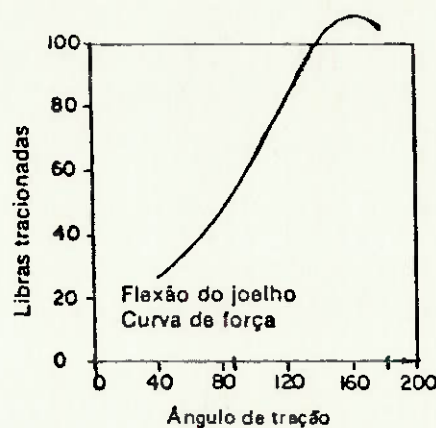


Figura 3. Esforço $\times$ ângulo de tração do joelho.

$$\bar{F}_c \equiv 0,8 F_{c_{max}} \quad (F_{c_{max}} \text{ ocorre para um ângulo de } 160^\circ)$$

O esforço real sobre o pedal é dado por:

$$\bar{F}_c = \frac{\pi}{2} \bar{F}_p \Rightarrow \bar{F}_p = \frac{1,6}{\pi} F_{c_{max}}$$

Desenvolvendo-se a Equação (*):

$$\eta \cdot i_r \cdot \frac{1,6}{\pi} F_{c_{nda}} = f \cdot P_{total} + 0,0049 \cdot C_a \cdot A \cdot \rho_{ar} \cdot v^2 + \gamma \cdot m_{total} \cdot a$$

$$F_{c_{nda}} = \frac{\pi}{1,6 \cdot \eta \cdot i_r} (f \cdot P_{total} + 0,0049 \cdot C_a \cdot A \cdot \rho_{ar} \cdot v^2 + \gamma \cdot m_{total} \cdot a)$$

Os parâmetros de projeto são:

$$i_r; \gamma; m_{total}; C_a; A; f; \eta$$

Variando estes parâmetros, determinaremos os que mais influência exercem em $F_{c_{nda}}$ a partir das variáveis de entrada (ρ_{ar} , g , v , a).

Os valores fixados para as variáveis de entrada e os parâmetros de projeto são:

Variáveis:

$$\rho_{ar} \cong 1 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$v = 90 \text{ km/h}$$

$$a = 0$$

Parâmetros:

$$\left. \begin{array}{l} C_a = 0,20 \\ A = 0,491 \text{ m}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow C_a \times A = 0,0982 \text{ m}^2$$

$$f = 0,0055$$

$$\eta = 0,88$$

$$\left. \begin{array}{l} i = 6 \text{ (estimado)} \\ r_r = 0,35 \text{ m} \\ r_p = 0,17 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow i_r = \frac{r_r \cdot i}{r_p} = 12,35$$

$$m_{total} = 120 \text{ kg}$$

Variando-se o valor de $C_a \times A$, obtemos os seguintes valores de $F_{c_{nda}}$:

$C_a \times A \text{ (m}^2\text{)}$	0,0655	0,0764	0,0873	0,0982	0,1090	0,1199	0,1308
$F_{c_{nda}} \text{ (kgf)}$	89,82	101,74	113,66	125,58	137,40	149,32	161,24

$$\therefore \Delta F_{c_{nda}} = 79,5\%$$

Variando-se o valor de i_r , obtemos os seguintes valores de $F_{c_{nda}}$:

i_r	8,233	9,605	10,98	12,35	13,72	15,09	16,47
$F_{c_{nda}} \text{ (kgf)}$	83,72	97,67	111,65	125,58	139,51	153,44	167,48

$$\therefore \Delta F_{c_{ndr}} = 79,5\%$$

Variando-se o valor de $C_a \times A$, obtemos os seguintes valores de $F_{c_{ndr}}$:

$C_a \times A \text{ (m}^2\text{)}$	0,0655	0,0764	0,0873	0,0982	0,1090	0,1199	0,1308
$F_{c_{ndr}} \text{ (kgf)}$	89,82	101,74	113,66	125,58	137,40	149,32	161,24

$$\therefore \Delta F_{c_{ndr}} = 100,05\%$$

Variando-se o valor de η , obtemos os seguintes valores de $F_{c_{ndr}}$:

η	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
$F_{c_{ndr}} \text{ (kgf)}$	221,02	184,19	157,88	138,14	122,79	110,51

$$\therefore \Delta F_{c_{ndr}} = 100\%$$

Variando-se o valor de m_{total} , obtemos os seguintes valores de $F_{c_{ndr}}$:

m_{total}	80	93,33	106,67	120	133,33	146,67	160
$F_{c_{ndr}} \text{ (kgf)}$	119,52	121,54	123,56	125,58	127,60	129,63	131,65

$$\therefore \Delta F_{c_{ndr}} = 10,15\%$$

Variando-se o valor de f , obtemos os seguintes valores de $F_{c_{ndr}}$:

f	0,0035	0,0040	0,0050	0,0055	0,0060	0,0065	0,0070
$F_{c_{ndr}} \text{ (kgf)}$	118,97	120,62	123,93	125,58	127,24	128,89	130,54

$$\therefore \Delta F_{c_{ndr}} = 9,73\%$$

Como podemos observar, pela análise de sensibilidade, os parâmetros que mais influenciam a força máxima aplicada pelo condutor no pedal são:

$$C_a \times A \Rightarrow \Delta F_{c_{ndr}} = 89,82\%$$

$$\eta \Rightarrow \Delta F_{c_{ndr}} = 100\%$$

$$i_r \Rightarrow \Delta F_{c_{ndr}} = 100,05\%$$

Desta forma, estes três parâmetros receberão maior atenção na otimização do projeto.

9. Análise da Compatibilidade.

Nesta parte será analisada o espaço ocupado pelos componentes do veículo, na montagem e durante o movimento. Para facilitar este estudo, dividiu-se o veículo em suas características mais importantes.

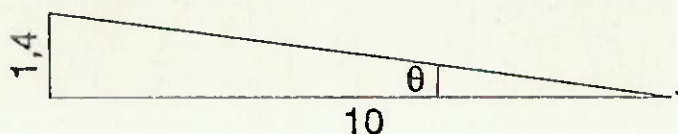
9.1. Giro do pedal.

A largura livre entre as pedivelas é limitada pelo espaço interno da estrutura, pela abertura das pernas do condutor e pelo espaço interno a carenagem. O mancal do pedal não deve interferir nem no movimento dos pedais, nem no movimento das pernas do condutor.

A espessura da coroa será compatível com as correntes de uma bicicleta comum.

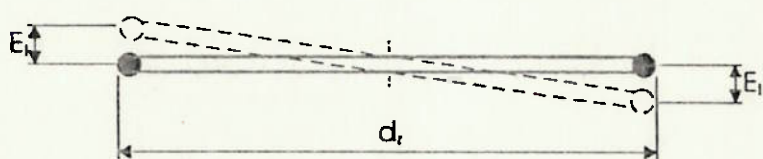
9.2. Ângulo de direção.

Para que o veículo realize uma curva de 10 m de raio, para uma distância entre eixos de 1,40 m, temos:



$$\operatorname{tg} \theta = \frac{1,4}{10} \Rightarrow \theta \cong 8^\circ$$

Portanto, as rodas devem girar de 8° . Sendo d_r o diâmetro da roda ($d_r = 700$ mm), deve-se ter uma distância entre as rodas e a estrutura, e entre as rodas e a carenagem, de E_l .



$$E_l = \frac{d_r}{2} \operatorname{tg} 8^\circ = 49,2 \text{ mm}$$

Por segurança, adotaremos uma distância de 70 mm.

9.3. Movimento da alavanca de direção.

O curso da alavanca de direção é limitado pelo espaço entre as pernas do condutor.

9.4. Análise estática.

A análise do espaço ocupado pelos componentes no veículo parado será mais facilmente verificado pelos modelos icônicos e analógicos.

10. Bibliografia.

ABBOTT, I. *Theory of wing sections.*

AMBROSINI, G. *Prendi la bicicletta e vai.*

GROSS, A. C. et alli. The aerodynamics of human-powered land vehicles. *Scientific American*, 249.(6):126-134, Dec. 1983.

DAMON, A et alli. *The human body in equipment design.* Cambridge, Harvard University Press, 1966. p. 45-53, 292-311.

FOX, E. L. *Bases fisiológicas da educação física e dos desportos - 2ª ed.* Rio de Janeiro, Ed. Interamericana, 1983.

SECCO, L. R. M. *Projeto de otimização de veículo de propulsão humana.* São Paulo, EPUSP, 1984. (Trabalho de Formatura)

ASMUSSEM, E. *The neuromuscular system and exercise.*

BURGESS, J. H. *Designing for humans: the human factor in engineering.*



VEÍCULO DE PROPULSÃO HUMANA COM CARENAGEM

**MARCOS WOLYNEC
ROGÉRIO DE PETRINI DA SILVA COELHO
SÉRGIO RICARDO AFONSO**

PROJETO EXECUTIVO

ORIENTADOR: OSMAR PAVANI

COORDENADOR DA ÁREA: OMAR MOORE DE MADUREIRA

PMC 581 - PROJETO MECÂNICO II

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DEZEMBRO DE 1992

Índice.

1. Dimensionamento da Estrutura	1
1.1. Análises estruturais	1
1.2. Resultados obtidos pelo programa SAP90.	1
1.2.1. Análise estática.....	3
1.2.2. Análise de torção.....	10
1.2.3. Análise de impacto	17
1.3. Cálculo das tensões atuantes nas barras e escolha do melhor tubo.	24
1.4. Determinação do peso da estrutura	34
1.5. Deformações e deslocamentos finais.	35
2. Estudo Aerodinâmico da Carenagem.....	36
2.1. A construção do modelo.....	36
2.2. Determinação do coeficiente de arrasto.....	36
2.3. Visualização da trajetória do escoamento do ar.....	37
3. Projeto dos Mecanismos.	40
3.1. Sistema de regulação do ângulo de caster e de câmber	40
3.2. Sistema de direção	40
Bibliografia.	43
Apêndice.	44

1. Dimensionamento da Estrutura.

1.1. Análises estruturais.

O dimensionamento da estrutura foi feito utilizando-se o programa SAP90, com orientação do professor Paulo Kaminski. Para a análise, o veículo foi submetido a três situações diferentes. São elas:

- análise estática;
- análise de torção;
- análise de impacto.

Na análise estática foram consideradas as seguintes forças :

- força devido ao peso do ocupante (100 kgf);
- força devido a ação de pedalar (200 kgf);
- força atuante no encosto do banco devido a ação e reação da força sobre o pedal (200 kgf);
- força devido ao arrasto aerodinâmico à 100 km/h (25 kgf);
- momento fletor no pedal (70000 kgf·mm);

Na análise de torção, o veículo foi submetido, além das forças citadas acima, às seguintes forças:

- binário de 60 kgf aplicado nas rodas dianteiras;
- momento torçor de 3000 kgf·mm no apoio da roda traseira.

Na análise de impacto, além das forças estáticas, o veículo foi sujeito a uma força de 212 kgf aplicada em uma das rodas dianteiras, na direção radial.

As solicitações da estrutura dependem apenas do comprimento de cada barra. Assim, a análise estrutural foi feita de modo que a área das barras fosse grande, resultando num peso total que influenciasse o carregamento, e com um momento de inércia pequeno, de modo que ficasse evidente quais barras teriam as maiores deformações. Utilizou-se para todas as barras um tubo de alumínio fictício com as seguintes características:

- área: 347,8 mm²;
- momento de inércia: 8513 mm⁴.

1.2. Resultados obtidos pelo programa SAP90.

As páginas a seguir apresentam os resultados obtidos. As unidades adotadas na análise foram:

- dimensões e deslocamentos lineares: mm
- rotações: radianos
- área: mm²
- momentos de inércia: mm⁴
- forças (normal e cortante): kgf
- momentos (fletor e torçor): kgf·mm

A Figura 1 apresenta a numeração das barras adotada nas análises.

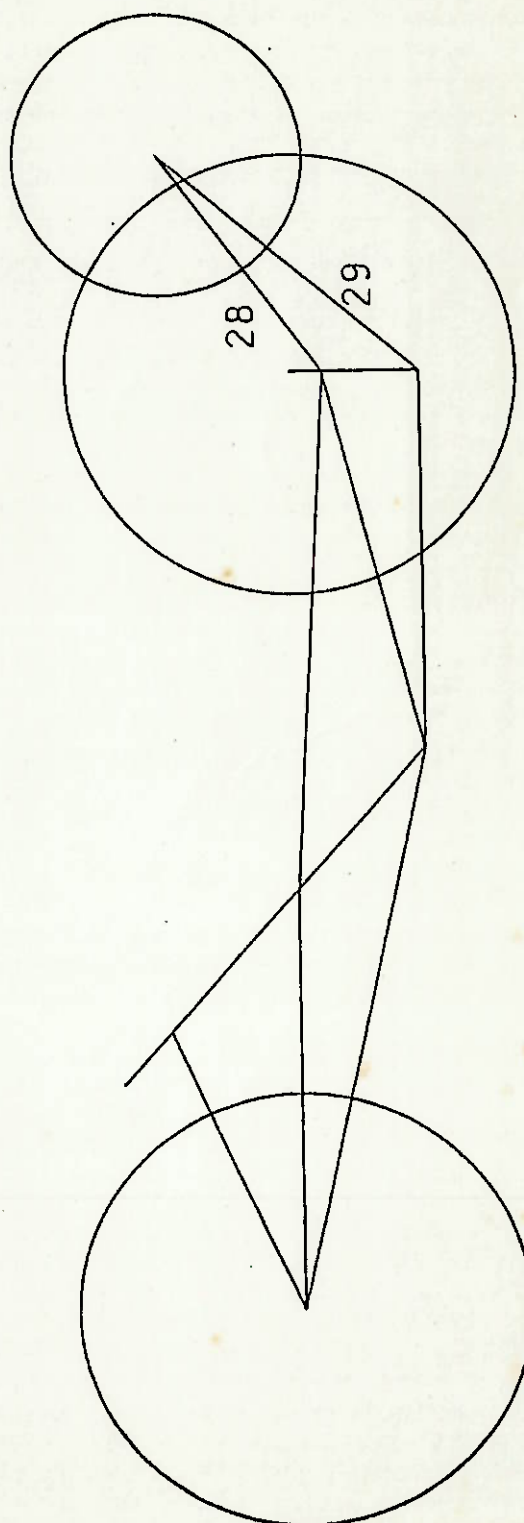


Figura 1. Numeração das barras adotada na análise do SAP90.

1.2.1. ANÁLISE ESTÁTICA

SYSTEM DATA

EXECUTION CODE	- - - - -	0
NUMBER OF LOAD CONDITIONS	- - - - -	1
STEADY STATE LOAD FREQUENCY	- - - - -	.0000E+00
NUMBER OF EIGENVALUES	- - - - -	0
EIGEN CONVERGENCE TOLERANCE	- - - - -	.1000E-03
EIGEN CUTOFF TIME PERIOD	- - - - -	.0000E+00

GENERATED JOINT COORDINATES

JOINT	X	Y	Z
1	.000	50.000	350.000
2	.000	-50.000	350.000
3	670.000	240.000	350.000
4	670.000	-240.000	350.000
5	450.000	50.000	550.000
6	450.000	-50.000	550.000
7	900.000	240.000	150.000
8	900.000	-240.000	150.000
9	1500.000	240.000	300.000
10	1500.000	-240.000	300.000
11	1500.000	240.000	150.000
12	1500.000	-240.000	150.000
13	1500.000	.000	300.000
14	1850.000	.000	550.000
15	1500.000	.000	150.000
16	1500.000	-240.000	350.000
17	1500.000	240.000	350.000
18	.000	.000	350.000

RESTRAINT DATA

JOINT	RX	RY	RZ	RXX	RYY	RZZ
16	1	1	1	0	1	0
17	1	1	1	0	1	0
18	1	1	1	0	1	0

FRAME CONTROL DATA

NUMBER OF MEMBER SECTION PROPERTIES	3
NUMBER OF SPAN LOADING PATTERNS	2

LOAD	GRAVITATIONAL MULTIPLIERS			PRESTRESS
COND	X	Y	Z	MULTIPLIERS
1	.000	.000	-1.000	.000

SECTION PROPERTY DATA

PROP ID	AREA	TORSIONAL INERTIA	MOMENTS OF INERTIA		SHEAR AREAS	
			I33	I22	A2	A3
1	347.800	.17026E+05	.85130E+04	.85130E+04	.000	.000
2	347.800	.17026E+05	.85130E+04	.85130E+04	.000	.000
3	2000.000	.61358E+06	.30679E+06	.30679E+06	.000	.000

MATERIAL PROPERTY DATA

PROP ID	MODULUS OF ELASTICITY	SHEAR MODULUS	WEIGHT PER UNIT LEN	MASS PER UNIT LEN	THERMAL EXPANSION
1	.7000E+04	.2500E+04	.9440E-03	.0000E+00	.0000E+00
2	.7000E+04	.2500E+04	.9440E-03	.0000E+00	.0000E+00
3	.2100E+05	.8400E+04	.7840E-02	.0000E+00	.0000E+00

SPAN LOADING DATA

UNIFORM LOAD DATA

PATTERN ID	1-DIR	2-DIR	3-DIR	X-DIR	Y-DIR	Z-DIR
1	.0000	.0000	.0000	-.2500	.0000	-.3500
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	-.5500

THERMAL LOAD DATA

PATTERN ID	TEMP INCREASE	TEMP GRADIENT-2	TEMP GRADIENT-3
1	.000	.000	.000
2	.000	.000	.000

F R A M E E L E M E N T D A T A

ELT ID	JOINT END-I	JOINT END-J	LOCAL-AXIS N1 N2		PROPERTY-ID END-I END-J VAR			REL CODES	MASTER-JOINTS END-I END-J		ELEMENT LENGTH
16	8	12	2	0	2	2	0	000000	0	0	600.00
17	11	7	2	0	2	2	0	000000	0	0	600.00
26	10	16	3	0	2	2	0	000000	0	0	50.00
27	17	9	3	0	2	2	0	000000	0	0	50.00
30	12	10	3	0	2	2	0	000000	0	0	150.00
31	9	11	3	0	2	2	0	000000	0	0	150.00
32	13	15	3	0	2	2	0	000000	0	0	150.00
1	1	18	1	0	2	2	0	000000	0	0	50.00
2	18	2	1	0	2	2	0	000000	0	0	50.00
8	5	6	1	0	2	2	0	000000	0	0	100.00
12	3	4	1	0	2	2	0	000000	0	0	480.00
15	7	8	1	0	2	2	0	000000	0	0	480.00
22	10	13	1	0	2	2	0	000000	0	0	240.00
23	13	9	1	0	2	2	0	000000	0	0	240.00
24	15	12	1	0	2	2	0	000000	0	0	240.00
25	11	15	1	0	2	2	0	000000	0	0	240.00
3	2	4	0	7	2	2	0	000000	0	0	696.42
4	1	3	0	7	2	2	0	000000	0	0	696.42
5	2	8	0	3	2	2	0	000000	0	0	941.33
6	1	7	0	3	2	2	0	000000	0	0	941.33
7	1	5	0	3	2	2	0	000000	0	0	492.44
9	6	2	0	3	2	2	0	000000	0	0	492.44
10	5	3	0	1	2	2	0	000000	0	0	352.85
11	6	4	0	1	2	2	0	000000	0	0	352.85
13	3	7	0	1	2	2	0	000000	0	0	304.80
14	4	8	0	1	2	2	0	000000	0	0	304.80
18	8	10	0	3	2	2	0	000000	0	0	618.47
19	9	7	0	3	2	2	0	000000	0	0	618.47
20	4	10	0	7	2	2	0	000000	0	0	831.50
21	9	3	0	7	2	2	0	000000	0	0	831.50
28	13	14	0	7	2	2	0	000000	0	0	430.12
29	14	15	0	7	2	2	0	000000	0	0	531.51

B E A M S P A N L O A D I N G P A T T E R N S

ELT ID	LOAD
	1
10	1
11	1
13	1
14	1
18	2
19	2

T O T A L W E I G H T S A N D M A S S E S

PROP	WEIGHT	MASS
1	.0000	.0000
2	12.5620	.0000
3	.0000	.0000
TOTAL	12.5620	.0000

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
2	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.3212E-11	.0000E+00	.0000E+00
3	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.1648E-11	.0000E+00
4	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.1819E-11
5	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.5116E-11	.1364E-11	.0000E+00
6	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.6935E-11	.1819E-11	.3411E-11
7	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.1592E-11	-.1819E-11	.0000E+00
8	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.3638E-11	.0000E+00
9	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.3848E-11	-.5457E-11
10	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.7045E-11	-.5457E-11
11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.3638E-11	-.7276E-11
12	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.7276E-11	.0000E+00
13	-.3524E-11	.0000E+00	.1478E-11	.0000E+00	-.6366E-11	-.8671E-11
14	.2000E+03	.0000E+00	.1251E-10	.0000E+00	.4500E+05	.0000E+00
15	-.3979E-11	.0000E+00	-.2046E-11	.0000E+00	-.5821E-10	.1838E-11
16	203.9950	-15.4141	372.8134	.0000	-2971.8541	.0000
17	203.9950	15.4141	372.8134	.0000	-2971.8541	.0000
18	-370.0589	.0000	291.4174	.0000	-308.6455	.0000
TOTAL	.2379E+03	.2487E-13	.1037E+04	.5290E-11	.3875E+05	-.2378E-10

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	1-2 PLANE MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	1-3 PLANE MOMENT	AXIAL TORQ
16	1	-215.55	.0	14.78	-4622.29	13.93	-3054.07	205.27
			600.0	15.35	4416.08	13.93	5301.03	
17	1	-215.55	.0	15.35	-4416.08	13.93	-5301.03	-205.27
			600.0	14.78	4622.29	13.93	3054.07	
26	1	372.79	.0	-15.41	770.71	-204.00	7227.90	.00
			50.0	-15.41	.00	-204.00	-2971.85	
27	1	372.79	.0	15.41	.00	204.00	-2971.85	.00
			50.0	15.41	770.71	204.00	7227.90	
30	1	17.66	.0	-6.99	443.55	59.35	-7197.82	-10302.14
			150.0	-6.99	-604.90	59.35	1705.11	
31	1	17.66	.0	6.99	-604.90	-59.35	1705.11	10302.14
			150.0	6.99	443.55	-59.35	-7197.82	
32	1	723.75	.0	.00	.00	389.05	-29859.16	.00
			150.0	.00	.00	389.05	28497.69	
1	1	37.81	.0	185.03	-2162.71	-145.66	629.54	154.32
			50.0	185.03	7088.76	-145.71	-6654.71	

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	1-2 PLANE MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	1-3 PLANE MOMENT	AXIAL TORQ
2	1	37.81	.0	-185.03	7088.76	145.71	-6654.71	-154.32
			50.0	-185.03	-2162.71	145.66	629.54	
8	1	-23.24	.0	.00	-675.31	.05	-975.19	.00
			50.0	.00	-675.31	.00	-974.01	
			100.0	.00	-675.31	-.05	-975.19	
12	1	88.35	.0	.00	778.96	.23	531.42	.00
			240.0	.00	778.96	.00	558.61	
			480.0	.00	778.96	-.23	531.42	
15	1	-119.13	.0	.00	331.72	.23	722.29	.00
			240.0	.00	331.72	.00	749.48	
			480.0	.00	331.72	-.23	722.29	
22	1	38.55	.0	256.20	-24869.64	-1.27	233.44	12536.05
			240.0	256.20	36617.54	-1.49	-97.71	
23	1	38.55	.0	-256.20	36617.54	1.49	-97.71	-12536.05
			240.0	-256.20	-24869.64	1.27	233.44	
24	1	-6.94	.0	-156.20	21884.01	-2.02	273.17	11613.90
			240.0	-156.20	-15603.17	-2.24	-238.28	
25	1	-6.94	.0	156.20	-15603.17	2.24	-238.28	-11613.90
			240.0	156.20	21884.01	2.02	273.17	
3	1	-293.98	.0	2.41	-863.32	4.65	-1294.58	-253.45
			696.4	2.64	893.79	4.03	1728.95	
4	1	-293.98	.0	-2.16	481.14	-4.77	1479.78	253.45
			696.4	-1.53	-803.19	-4.57	-1772.85	
5	1	559.94	.0	.75	-533.17	-1.59	616.59	-288.39
			941.3	.50	53.54	-2.43	-1275.42	
6	1	559.94	.0	-1.61	627.18	.72	-520.67	288.39
			941.3	-2.44	-1276.23	.45	27.90	
7	1	-70.66	.0	3.82	-243.15	-2.68	425.53	227.50
			492.4	4.17	1724.89	-2.92	-954.85	
9	1	-70.66	.0	-3.49	1192.56	-3.71	1569.96	-227.50
			492.4	-3.20	-456.03	-3.40	-179.55	

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	1-2 PLANE MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	1-3 PLANE MOMENT	AXIAL TORQ
10	1	-47.85						
		.0		-60.41	2304.92	16.10	-408.39	-15.45
		152.1		-10.23	-3065.61	.00	815.79	
		183.1		.00	-3224.18	-3.28	764.90	
		352.8		56.03	1532.65	-21.26	-1318.94	
11	1	-47.85						
		.0		-62.33	2340.76	-4.86	-17.20	15.45
		110.0		-24.53	-2435.10	.00	-284.32	
		181.3		.00	-3310.01	3.15	-171.88	
		352.8		58.96	1746.79	10.73	1018.51	
13	1	-134.21						
		.0		-21.35	133.40	-8.52	347.41	-84.05
		75.6		.00	-673.26	.70	51.95	
		304.8		64.73	6745.48	28.68	3419.32	
14	1	-134.21						
		.0		-19.53	70.80	12.11	-365.34	84.05
		76.1		.00	-672.03	-.77	65.84	
		304.8		58.74	6046.27	-39.52	-4542.66	
18	1	713.58						
		.0		53.27	-2974.19	144.50	-13548.02	-237.55
		222.5		.00	2953.43	42.14	7218.39	
		314.1		-21.93	1949.01	.00	9148.23	
		618.5		-94.79	-15811.14	-139.99	-12153.55	
19	1	713.58						
		.0		167.94	-18080.27	-19.45	8414.56	237.55
		323.9		.00	9113.62	-19.45	2114.67	
		618.5		-152.77	-13390.93	-19.45	-3616.31	
20	1	-171.20						
		.0		-10.14	2383.31	-3.39	852.10	180.67
		831.5		-9.85	-5926.92	-4.12	-2271.32	
21	1	-171.20						
		.0		-.29	-21.43	10.68	-6347.19	-180.67
		304.5		.00	-65.12	10.68	-3096.09	
		831.5		.50	65.72	10.68	2530.20	
28	1	1156.10						
		.0		-46.33	3287.03	-49.06	3480.14	.00
		430.1		-46.56	-16690.75	-49.30	-17671.29	
29	1	-1009.37						
		.0		43.28	-18271.91	-23.00	9711.65	.00
		531.5		42.99	4653.44	-22.85	-2473.34	

1.2.2. ANÁLISE DE TORÇÃO

SYSTEM DATA

EXECUTION CODE - - - - - 0
 NUMBER OF LOAD CONDITIONS - - - - - 1
 STEADY STATE LOAD FREQUENCY - - - - - .0000E+00
 NUMBER OF EIGENVALUES - - - - - 0
 EIGEN CONVERGENCE TOLERANCE - - - - - .1000E-03
 EIGEN CUTOFF TIME PERIOD - - - - - .0000E+00

GENERATED JOINT COORDINATES

JOINT	X	Y	Z
1	.000	50.000	350.000
2	.000	-50.000	350.000
3	670.000	240.000	350.000
4	670.000	-240.000	350.000
5	450.000	50.000	550.000
6	450.000	-50.000	550.000
7	900.000	240.000	150.000
8	900.000	-240.000	150.000
9	1500.000	240.000	300.000
10	1500.000	-240.000	300.000
11	1500.000	240.000	150.000
12	1500.000	-240.000	150.000
13	1500.000	.000	300.000
14	1850.000	.000	550.000
15	1500.000	.000	150.000
16	1500.000	-240.000	350.000
17	1500.000	240.000	350.000
18	.000	.000	350.000

RESTRAINT DATA

JOINT	RX	RY	RZ	RXX	RYY	RZZ
16	1	1	1	0	1	0
17	1	1	1	0	1	0
18	1	1	1	0	1	0

FRAME CONTROL DATA

NUMBER OF MEMBER SECTION PROPERTIES 3
 NUMBER OF SPAN LOADING PATTERNS 2

LOAD COND	GRAVITATIONAL MULTIPLIERS			PRESTRESS MULTIPLIERS
	X	Y	Z	
1	.000	.000	-1.000	.000

SECTION PROPERTY DATA

PROP ID	AREA	TORSIONAL INERTIA	MOMENTS OF INERTIA		SHEAR AREAS	
			I33	I22	A2	A3
1	347.800	.17026E+05	.85130E+04	.85130E+04	.000	.000
2	347.800	.17026E+05	.85130E+04	.85130E+04	.000	.000
3	2000.000	.61358E+06	.30679E+06	.30679E+06	.000	.000

MATERIAL PROPERTY DATA

PROP ID	MODULUS OF ELASTICITY	SHEAR MODULUS	WEIGHT PER UNIT LEN	MASS PER UNIT LEN	THERMAL EXPANSION
1	.7000E+04	.2500E+04	.9440E-03	.0000E+00	.0000E+00
2	.7000E+04	.2500E+04	.9440E-03	.0000E+00	.0000E+00
3	.2100E+05	.8400E+04	.7840E-02	.0000E+00	.0000E+00

SPAN LOADING DATA

UNIFORM LOAD DATA

PATTERN ID	1-DIR	2-DIR	3-DIR	X-DIR	Y-DIR	Z-DIR
1	.0000	.0000	.0000	-.2500	.0000	-.3500
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	-.5500

THERMAL LOAD DATA

PATTERN ID	TEMP INCREASE	TEMP GRADIENT-2	TEMP GRADIENT-3
1	.000	.000	.000
2	.000	.000	.000

FRAME ELEMENT DATA

ELT ID	JOINT END-I	JOINT END-J	LOCAL-AXIS		PROPERTY-ID			REL CODES	MASTER-JOINTS		ELEMENT LENGTH
			N1	N2	END-I	END-J	VAR		END-I	END-J	
16	8	12	2	0	2	2	0	000000	0	0	600.00
17	11	7	2	0	2	2	0	000000	0	0	600.00
26	10	16	3	0	2	2	0	000000	0	0	50.00
27	17	9	3	0	2	2	0	000000	0	0	50.00
30	12	10	3	0	2	2	0	000000	0	0	150.00
31	9	11	3	0	2	2	0	000000	0	0	150.00
32	13	15	3	0	2	2	0	000000	0	0	150.00
1	1	18	1	0	2	2	0	000000	0	0	50.00
2	18	2	1	0	2	2	0	000000	0	0	50.00
8	5	6	1	0	2	2	0	000000	0	0	100.00
12	3	4	1	0	2	2	0	000000	0	0	480.00
15	7	8	1	0	2	2	0	000000	0	0	480.00
22	10	13	1	0	2	2	0	000000	0	0	240.00
23	13	9	1	0	2	2	0	000000	0	0	240.00
24	15	12	1	0	2	2	0	000000	0	0	240.00
25	11	15	1	0	2	2	0	000000	0	0	240.00
3	2	4	0	7	2	2	0	000000	0	0	696.42
4	1	3	0	7	2	2	0	000000	0	0	696.42
5	2	8	0	3	2	2	0	000000	0	0	941.33

F R A M E E L E M E N T D A T A

ELT ID	JOINT END-I	JOINT END-J	LOCAL-AXIS		PROPERTY-ID			REL	MASTER-JOINTS		ELEMENT
			N1	N2	END-I	END-J	VAR	CODES	END-I	END-J	LENGTH
6	1	7	0	3	2	2	0	000000	0	0	941.33
7	1	5	0	3	2	2	0	000000	0	0	492.44
9	6	2	0	3	2	2	0	000000	0	0	492.44
10	5	3	0	1	2	2	0	000000	0	0	352.85
11	6	4	0	1	2	2	0	000000	0	0	352.85
13	3	7	0	1	2	2	0	000000	0	0	304.80
14	4	8	0	1	2	2	0	000000	0	0	304.80
18	8	10	0	3	2	2	0	000000	0	0	618.47
19	9	7	0	3	2	2	0	000000	0	0	618.47
20	4	10	0	7	2	2	0	000000	0	0	831.50
21	9	3	0	7	2	2	0	000000	0	0	831.50
28	13	14	0	7	2	2	0	000000	0	0	430.12
29	14	15	0	7	2	2	0	000000	0	0	531.51

B E A M S P A N L O A D I N G P A T T E R N S

ELT ID	LOAD
	1
10	1
11	1
13	1
14	1
18	2
19	2

T O T A L W E I G H T S A N D M A S S E S

PROP	WEIGHT	MASS
1	.0000	.0000
2	12.5620	.0000
3	.0000	.0000
TOTAL	12.5620	.0000

J O I N T L O A D S

JOINT	LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
14	1	.200E+03	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.450E+05	.000E+00
11	1	.000E+00	.000E+00	.620E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00
8	1	.000E+00	.000E+00	-.620E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00
1	1	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.300E+04	.000E+00	.000E+00

EQUILIBRIUM EQUATION NUMBERS

JOINT	X	Y	Z	XX	YY	ZZ
1	89	90	91	92	93	94
2	83	84	85	86	87	88
3	65	66	67	68	69	70
4	53	54	55	56	57	58
5	77	78	79	80	81	82
6	71	72	73	74	75	76
7	59	60	61	62	63	64
8	47	48	49	50	51	52
9	41	42	43	44	45	46
10	29	30	31	32	33	34
11	35	36	37	38	39	40
12	23	24	25	26	27	28
13	7	8	9	10	11	12
14	1	2	3	4	5	6
15	17	18	19	20	21	22
16	0	0	0	13	0	14
17	0	0	0	15	0	16
18	0	0	0	95	0	96

JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	-.018239	.000736	.758373	.014658	.001288	-.000522
2	.205561	-.000949	-.901848	.018178	-.000593	.004069
3	.064189	-.586266	.431289	.010508	.000489	-.003138
4	-.077204	-.605536	-3.111838	.006147	-.003006	.003063
5	.501809	-2.008831	-.448920	.007750	.006928	-.000544
6	.369064	-2.007840	-1.303192	.009421	.006131	-.001831
7	-.227118	1.352083	.119569	.009763	.008389	-.001321
8	.420490	1.377882	-2.513223	.003776	.004282	.001355
9	-.017236	.050309	-.005989	.001148	-.000667	.023299
10	.022388	.042730	-.008792	.000568	-.002706	-.024017
11	-.276153	.127368	-.003016	.000456	.007201	-.012800
12	.362621	.128732	-.010136	.000273	.002721	.012505
13	7.795264	.047122	-.014854	.000042	.068872	.000570
14	29.592038	.363968	-30.178919	.000397	.139201	.001136
15	-4.495551	.127447	-.059447	.000301	.070528	.001803
16	.000000	.000000	.000000	.000998	.000000	-.024017
17	.000000	.000000	.000000	.000935	.000000	.023299
18	.000000	.000000	.000000	.016694	.000000	.002470

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1	.0000	.0000	.0000	3000.0000	.0000	.0000
2	-.1066E-11	.0000E+00	.0000E+00	-.1967E-10	.0000E+00	-.1847E-11
3	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.1364E-11	.2871E-11	.2274E-11
4	-.4377E-11	.2132E-11	-.1142E-11	.0000E+00	.2444E-11	.0000E+00
5	.0000E+00	-.1219E-10	.0000E+00	-.2274E-11	.0000E+00	.2728E-11
6	.0000E+00	-.9798E-11	.0000E+00	.0000E+00	.1137E-11	.0000E+00
7	.0000E+00	.1961E-11	.0000E+00	.0000E+00	.9095E-11	.0000E+00
8	.0000	.0000	-62.0000	.0000	.0000	.0000
9	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.1091E-10
10	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.4150E-11	.3001E-10
11	.0000	.0000	62.0000	.0000	.0000	.0000
12	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.3638E-11	.3638E-11
13	-.1933E-11	.0000E+00	.4775E-11	.0000E+00	-.1273E-10	-.3070E-11
14	.2000E+03	.0000E+00	.3070E-11	.0000E+00	.4500E+05	.0000E+00
15	-.2615E-11	.0000E+00	.3979E-11	.0000E+00	-.3183E-10	-.3354E-11
16	258.9487	-20.5068	428.1159	.0000	-3248.5022	.0000
17	194.0214	10.1184	291.6159	.0000	-4055.3967	.0000
18	-415.0390	10.3884	317.3125	.0000	-591.0745	.0000
TOTAL	.2379E+03	.3375E-13	.1037E+04	.3000E+04	.3711E+05	.2712E-10

FRAME ELEMENT FORCES

ELT	LOAD	AXIAL	DIST	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL
ID	COND	FORCE	ENDI	SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	TORQ
16 -----								
1		-234.81						-248.55
		.0		14.96	-4699.39	17.90	-4263.05	
		600.0		15.53	4445.86	17.90	6477.73	
17 -----								
1		-198.97						-660.27
		.0		15.36	-4433.57	9.97	-4130.94	
		600.0		14.79	4613.04	9.97	1850.84	
26 -----								
1		428.09						.00
		.0		-20.51	1025.34	-258.95	9698.93	
		50.0		-20.51	.00	-258.95	-3248.50	
27 -----								
1		291.59						.00
		.0		10.12	.00	194.02	-4055.40	
		50.0		10.12	505.92	194.02	5645.67	
30 -----								
1		21.82						-10363.72
		.0		-4.87	482.36	72.32	-7580.07	
		150.0		-4.87	-247.75	72.32	3268.13	
31 -----								
1		-48.24						10243.71
		.0		9.16	-961.75	-48.96	546.57	
		150.0		9.16	412.36	-48.96	-6797.85	
32 -----								
1		723.77						-350.04
		.0		-11.57	970.57	388.97	-29830.94	
		150.0		-11.57	-764.47	388.97	28514.82	
1 -----								
1		35.84						1096.24
		.0		174.32	-792.39	-145.44	1208.98	
		50.0		174.32	7923.75	-145.48	-6064.01	

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT	AXIAL TORQ
2	1	46.23	.0	-240.72	7923.75	171.83	-6064.01	505.17
			50.0	-240.72	-4112.06	171.78	2526.27	
8	1	-24.12	.0	10.03	-1268.45	-2.99	-844.32	339.25
			100.0	10.03	-265.71	-3.09	-1148.35	
12	1	97.74	.0	.80	578.59	-2.71	1227.76	309.89
			480.0	.80	961.10	-3.16	-181.26	
15	1	-130.86	.0	-4.13	1324.36	-3.76	1682.22	364.19
			480.0	-4.13	-659.84	-4.21	-231.86	
22	1	44.55	.0	256.53	-24678.88	4.21	-626.91	12694.64
			240.0	256.53	36888.51	3.98	356.65	
23	1	32.33	.0	-255.96	36359.08	7.04	-561.00	-12333.02
			240.0	-255.96	-25071.71	6.81	1101.08	
24	1	-13.03	.0	-162.49	22155.76	-6.00	736.10	12025.93
			240.0	-162.49	-16841.45	-6.23	-730.91	
25	1	-.81	.0	150.00	-14374.65	-1.67	247.91	-11231.42
			240.0	150.00	21626.33	-1.90	-180.00	
3	1	-374.38	.0	5.27	-2111.99	4.86	-1204.64	-667.23
			696.4	5.50	1636.60	4.25	1967.97	
4	1	-282.63	.0	-4.17	1474.52	-2.83	758.95	-257.35
			696.4	-3.54	-1208.28	-2.64	-1144.74	
5	1	697.14	.0	2.18	-1374.18	-2.21	1166.95	-641.07
			941.3	1.93	559.11	-3.04	-1302.16	
6	1	539.96	.0	-.69	-53.76	-.56	241.19	-139.10
			941.3	-1.52	-1092.86	-.83	-412.47	
7	1	-74.67	.0	1.69	307.94	-4.62	1042.86	-546.39
			492.4	2.04	1225.82	-4.86	-1291.57	
9	1	-67.19	.0	-2.87	1077.27	-5.24	2009.85	-898.87
			492.4	-2.58	-263.63	-4.93	-493.81	
10	1	-39.71	.0	-59.18	2363.88	18.81	-841.41	-33.43
			179.3	.00	-2942.48	-.18	829.43	
			352.8	57.26	2025.37	-18.55	-795.60	

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	1-2 PLANE MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	1-3 PLANE MOMENT	AXIAL TORQ
11	1	-56.47	.0	-63.50	2241.12	-2.24	-372.70	12.67
			50.8	-46.05	-540.12	.00	-429.63	
			184.7	.00	-3624.71	5.92	-33.25	
			352.8	57.79	1232.56	13.34	1585.72	
13	1	-122.04	.0	-17.31	-385.40	-19.15	1799.46	-244.98
			61.3	.00	-915.85	-11.67	855.17	
			156.9	26.99	374.34	.00	297.60	
			304.8	68.77	7456.81	18.05	1632.80	
14	1	-137.68	.0	-25.35	769.60	2.11	1053.26	-93.39
			12.4	-22.15	474.34	.00	1066.35	
			98.7	.00	-481.16	-14.61	436.06	
			304.8	52.93	4973.29	-49.53	-6173.65	
18	1	870.75	.0	54.30	-3256.60	142.24	-13004.12	-637.74
			226.8	.00	2901.86	37.91	7427.02	
			309.2	-19.73	2089.01	.00	8988.79	
			618.5	-93.76	-15458.13	-142.25	-13005.29	
19	1	681.66	.0	167.05	-17727.27	-21.39	9118.08	-164.29
			322.1	.00	9180.44	-21.39	2226.48	
			618.5	-153.66	-13585.90	-21.39	-4112.58	
20	1	-255.26	.0	-10.46	2487.78	-4.60	1285.86	-201.72
			831.5	-10.18	-6091.06	-5.33	-2843.17	
21	1	-160.99	.0	.25	-295.15	9.98	-5999.21	-559.65
			831.5	1.03	238.04	9.98	2297.34	
28	1	1156.17	.0	-46.85	3426.66	-48.64	3370.58	61.20
			430.1	-47.08	-16772.86	-48.88	-17603.43	
29	1	-1009.46	.0	42.94	-18210.54	-23.57	9812.10	-35.15
			531.5	42.65	4533.47	-23.41	-2672.57	

1.2.3. ANÁLISE DE IMPACTO

SYSTEM DATA

EXECUTION CODE - - - - - 0
 NUMBER OF LOAD CONDITIONS - - - - - 1
 STEADY STATE LOAD FREQUENCY - - - - - .0000E+00
 NUMBER OF EIGENVALUES - - - - - 0
 EIGEN CONVERGENCE TOLERANCE - - - - - .1000E-03
 EIGEN CUTOFF TIME PERIOD - - - - - .0000E+00

GENERATED JOINT COORDINATES

JOINT	X	Y	Z
1	.000	50.000	350.000
2	.000	-50.000	350.000
3	670.000	240.000	350.000
4	670.000	-240.000	350.000
5	450.000	50.000	550.000
6	450.000	-50.000	550.000
7	900.000	240.000	150.000
8	900.000	-240.000	150.000
9	1500.000	240.000	300.000
10	1500.000	-240.000	300.000
11	1500.000	240.000	150.000
12	1500.000	-240.000	150.000
13	1500.000	.000	300.000
14	1850.000	.000	550.000
15	1500.000	.000	150.000
16	1500.000	-240.000	350.000
17	1500.000	240.000	350.000
18	.000	.000	350.000

RESTRAINT DATA

JOINT	RX	RY	RZ	RXX	RYY	RZZ
16	1	1	1	0	1	0
17	1	1	1	0	1	0
18	1	1	1	0	1	0

FRAME CONTROL DATA

NUMBER OF MEMBER SECTION PROPERTIES 3
 NUMBER OF SPAN LOADING PATTERNS 2

LOAD COND	GRAVITATIONAL MULTIPLIERS			PRESTRESS MULTIPLIERS
	X	Y	Z	
1	.000	.000	-1.000	.000

SECTION PROPERTY DATA

PROP	AREA	TORSIONAL	MOMENTS OF INERTIA		SHEAR AREAS	
ID		INERTIA	I33	I22	A2	A3
1	347.800	.17026E+05	.85130E+04	.85130E+04	.000	.000
2	347.800	.17026E+05	.85130E+04	.85130E+04	.000	.000
3	2000.000	.61358E+06	.30679E+06	.30679E+06	.000	.000

MATERIAL PROPERTY DATA

PROP	MODULUS OF	SHEAR	WEIGHT PER	MASS PER	THERMAL
ID	ELASTICITY	MODULUS	UNIT LEN	UNIT LEN	EXPANSION
1	.7000E+04	.2500E+04	.9440E-03	.0000E+00	.0000E+00
2	.7000E+04	.2500E+04	.9440E-03	.0000E+00	.0000E+00
3	.2100E+05	.8400E+04	.7840E-02	.0000E+00	.0000E+00

SPAN LOADING DATA

UNIFORM LOAD DATA

PATTERN	1-DIR	2-DIR	3-DIR	X-DIR	Y-DIR	Z-DIR
ID						
1	.0000	.0000	.0000	-.2500	.0000	-.3500
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	-.5500

SPAN LOADING DATA

THERMAL LOAD DATA

PATTERN	TEMP	TEMP	TEMP
ID	INCREASE	GRADIENT-2	GRADIENT-3
1	.000	.000	.000
2	.000	.000	.000

FRAME ELEMENT DATA

ELT ID	JOINT END-I	JOINT END-J	LOCAL-AXIS N1 N2		PROPERTY-ID END-I END-J VAR			REL CODES	MASTER-JOINTS END-I END-J		ELEMENT LENGTH
16	8	12	2	0	2	2	0	000000	0	0	600.00
17	11	7	2	0	2	2	0	000000	0	0	600.00
26	10	16	3	0	2	2	0	000000	0	0	50.00
27	17	9	3	0	2	2	0	000000	0	0	50.00
30	12	10	3	0	2	2	0	000000	0	0	150.00
31	9	11	3	0	2	2	0	000000	0	0	150.00
32	13	15	3	0	2	2	0	000000	0	0	150.00
1	1	18	1	0	2	2	0	000000	0	0	50.00
2	18	2	1	0	2	2	0	000000	0	0	50.00
8	5	6	1	0	2	2	0	000000	0	0	100.00
12	3	4	1	0	2	2	0	000000	0	0	480.00
15	7	8	1	0	2	2	0	000000	0	0	480.00
22	10	13	1	0	2	2	0	000000	0	0	240.00
23	13	9	1	0	2	2	0	000000	0	0	240.00
24	15	12	1	0	2	2	0	000000	0	0	240.00
25	11	15	1	0	2	2	0	000000	0	0	240.00
3	2	4	0	7	2	2	0	000000	0	0	696.42
4	1	3	0	7	2	2	0	000000	0	0	696.42
5	2	8	0	3	2	2	0	000000	0	0	941.33
6	1	7	0	3	2	2	0	000000	0	0	941.33
7	1	5	0	3	2	2	0	000000	0	0	492.44
9	6	2	0	3	2	2	0	000000	0	0	492.44
10	5	3	0	1	2	2	0	000000	0	0	352.85
11	6	4	0	1	2	2	0	000000	0	0	352.85
13	3	7	0	1	2	2	0	000000	0	0	304.80
14	4	8	0	1	2	2	0	000000	0	0	304.80
18	8	10	0	3	2	2	0	000000	0	0	618.47
19	9	7	0	3	2	2	0	000000	0	0	618.47
20	4	10	0	7	2	2	0	000000	0	0	831.50
21	9	3	0	7	2	2	0	000000	0	0	831.50
28	13	14	0	7	2	2	0	000000	0	0	430.12
29	14	15	0	7	2	2	0	000000	0	0	531.51

BEAM SPAN LOADING PATTERNS

ELT ID	LOAD 1
10	1
11	1
13	1
14	1
18	2
19	2

TOTAL WEIGHTS AND MASSES

PROP	WEIGHT	MASS
1	.0000	.0000
2	12.5620	.0000
3	.0000	.0000
TOTAL	12.5620	.0000

JOINT LOADS

JOINT	LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
14	1	.200E+03	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.450E+05	.000E+00
10	1	-.150E+03	.000E+00	.150E+03	-.500E+05	.000E+00	-.500E+05

EQUILIBRIUM EQUATION NUMBERS

JOINT	X	Y	Z	XX	YY	ZZ
1	89	90	91	92	93	94
2	83	84	85	86	87	88
3	65	66	67	68	69	70
4	53	54	55	56	57	58
5	77	78	79	80	81	82
6	71	72	73	74	75	76
7	59	60	61	62	63	64
8	47	48	49	50	51	52
9	41	42	43	44	45	46
10	29	30	31	32	33	34
11	35	36	37	38	39	40
12	23	24	25	26	27	28
13	7	8	9	10	11	12
14	1	2	3	4	5	6
15	17	18	19	20	21	22
16	0	0	0	13	0	14
17	0	0	0	15	0	16
18	0	0	0	95	0	96

JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.166045	.001043	-.326464	-.006982	-.000173	-.002996
2	-.034995	-.000439	.164652	-.002533	-.000638	-.000072
3	-.017375	.350814	-1.529455	.001983	-.001439	-.004190
4	-.034405	.334575	-.908548	.006011	-.000386	.007345
5	.398758	.551204	-.893406	.002460	.006671	.000175
6	.342155	.552111	-.714154	.001266	.007141	-.000926
7	.155281	.137173	-1.304688	.004306	.006027	-.004744
8	-.019178	.165734	-.867694	-.009029	.006721	.005816
9	.020645	-.720197	-.009817	-.009706	-.002033	.029333
10	-.053140	-.780329	-.002458	-.019893	-.000301	-.064205
11	.105453	-1.519700	-.013327	-.000383	.005275	-.007995
12	-.075911	-1.532463	-.003325	.001265	.005562	-.002333
13	10.308206	-.745457	-.249548	.001539	.075377	.007468
14	33.909383	1.331689	-32.941306	-.001520	.146796	.005420
15	-3.071394	-1.519887	-.291758	-.003904	.076989	.002899
16	.000000	.000000	.000000	-.013463	.000000	-.064205
17	.000000	.000000	.000000	-.016753	.000000	.029875
18	.000000	.000000	.000000	-.004988	.000000	-.002248

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
2	.0000	.0000E+00	.0000E+00	.0000	.0000E+00	-.1847E-11
3	.1648E-11	.0000E+00	.0000E+00	-.1137E-11	.1034E-11	.3638E-11
4	.0000	.0000	.0000	.3212E-11	.0000E+00	.7276E-11
5	-.1279E-11	.1319E-11	.0000E+00	-.1194E-11	.0000E+00	.0000E+00
6	.0000E+00	.3008E-11	.0000E+00	.10078-10	.1137E-11	.0000E+00
7	.0000E+00	.0000E-00	.0000E+00	.1176E-11	.9095E-11	.0000E+00
8	.0000	.0000	-.62.0000	.0000	.0000	.0000
9	.0000E+00	-.1705E-11	.0000E+00	.3465E-11	.0000E+00	-.1691E-10
10	-.1500E+03	-.1768E-11	.0000E+00	.0000E+00	-.4150E-11	.5000E+05
11	.0000	.0000	62.0000	.0000	.0000	.0000
12	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.5002E-11	-.3638E-11	.3638E-11
13	-.2046E-11	.0000E+00	.4775E-11	.5969E-11	-.8095E-10	-.1870E-11
14	.2000E+03	.0000E+00	.3070E-11	.0000E+00	.4500E+05	.0000E+00
15	.1023E-11	.0000E+00	.3979E-11	.0000E+00	-.7822E-10	-.1254E-11
16	347.1488	-306.5090	428.1159	119.6785	-8318.5022	.0000
17	172.0244	335.1346	291.6159	478.4567	-1894.3967	.0000
18	-331.7865	-29.4894	317.3125	289.9356	-395.0745	.0000
TOTAL	.2379E+03	.4938E-12	.1037E+04	.5000E+05	.3439E+05	.5000E+05

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	1-2 PLANE MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	1-3 PLANE MOMENT	AXIAL TORQ
16	1	-230.21	.0	14.78	-4605.15	9.08	-3533.76	730.27
17	1	-202.19	.0	15.34	4431.40	9.08	1914.98	-332.64
26	1	119.67	.0	15.22	4696.54	7.17	-2472.90	.00
27	1	478.00	.0	-306.51	15325.45	-347.10	9036.68	.00
30	1	14.07	.0	-306.51	.00	-347.10	-8318.35	.00
31	1	56.98	.0	335.94	.00	172.71	-1894.29	.00
32	1	685.09	.0	335.94	16797.00	172.71	3578.21	.00
1	1	50.80	.0	-136.65	1843.28	78.77	-8236.61	-17557.03
			50.0	-136.65	-18654.30	77.77	3578.21	
				9.07	3023.34	-69.49	2307.85	10746.29
			150.0	9.07	4384.31	-69.49	-8114.96	
				124.18	-11475.78	413.61	-31661.64	1296.64
			150.0	124.18	7151.42	413.61	30380.56	
				199.98	-4108.47	-155.60	1513.51	-542.89
			50.0	199.98	5890.40	-155.60	-6267.82	

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT	AXIAL TORQ
2	1	21.37	.0	-131.90	5890.40	133.67	-6267.82	542.89
			50.0	-131.90	-704.72	133.67	414.26	
8	1	-22.09	.0	13.62	-1337.04	5.11	-965.26	-199.70
			100.0	13.62	25.00	5.10	-459.26	
12	1	82.37	.0	5.01	230.42	2.46	437.65	-93.40
			480.0	5.01	2633.72	2.01	1511.04	
15	1	-144.87	.0	2.79	641.05	4.73	556.48	-61.57
			480.0	2.79	1981.04	4.28	2718.22	
22	1	242.16	.0	183.79	-4258.65	-101.03	17454.67	13421.87
			240.0	183.79	39850.51	-101.26	-6820.82	
23	1	367.82	.0	-300.35	41605.82	-62.98	4774.99	-13729.06
			240.0	-300.35	-30478.59	-63.21	-10368.29	
24	1	127.57	.0	-151.44	16873.80	1.57	-1462.76	12668.01
			240.0	-151.44	-19472.00	1.34	-1113.01	
25	1	1.91	.0	132.70	-13219.19	41.12	-4051.67	-12718.78
			240.0	132.70	18628.84	40.90	5790.88	
3	1	-317.67	.0	2.90	-501.73	5.54	-1475.63	-187.47
			696.4	3.13	1597.14	4.92	2165.87	
4	1	-283.28	.0	-1.04	22.38	-6.74	2131.75	-506.06
			696.4	-.42	-486.74	-6.54	-2491.66	
5	1	519.55	.0	.80	-168.38	-.91	202.15	392.95
			941.3	.55	463.74	-1.74	-1302.16	
6	1	581.99	.0	-2.23	971.70	2.74	-1373.84	561.39
			941.3	-3.06	-1516.19	2.47	1077.56	
7	1	-87.02	.0	3.85	-223.88	-4.44	745.42	468.49
			492.4	4.20	1757.59	-4.69	-1503.26	
9	1	-60.86	.0	-2.34	976.49	-5.97	2125.85	70.05
			492.4	-2.05	-104.13	-5.66	-738.81	
10	1	-47.19	.0	-62.63	2517.76	13.92	99.41	105.78
			189.3	-19.26	-2862.70	.00	1013.43	
			352.8	.00	963.56	-23.18	-1582.18	

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT	LOAD	AXIAL	DIST	1-2 PLANE		1-3 PLANE	AXIAL
ID	COND	FORCE	ENDI	SHEAR	MOMENT	SHEAR	TORQ
11							
	1	-51.48					-433.53
		.0		-65.96	2584.65	-4.19	222.70
		94.9		-33.33	-2126.96	.00	23.63
		191.9		.00	-3743.06	4.28	230.25
		352.8		55.33	710.61	11.39	1492.72
13							
	1	-137.39					295.58
		.0		-18.42	-311.25	-13.05	876.46
		65.2		.00	-911.96	-5.09	284.17
		106.9		.00	-913.96	5.00	284.17
		304.8		67.66	7192.81	24.15	2568.76
14							
	1	696.38					-177.39
		.0		-15.44	-800.60	15.81	-1028.26
		60.1		.00	-1264.34	5.40	-397.35
		92.0		8.18	-1134.16	.00	-311.06
		304.8		62.83	6421.29	-36.05	-4147.65
18							
	1	870.75					-1894.18
		.0		31.46	264.80	154.75	-15023.12
		131.8		.00	2331.06	94.31	1340.02
		336.2		-49.73	-2698.21	.00	11005.79
		618.5		-116.76	-26063.53	-129.74	-7291.29
19							
	1	681.66					-357.29
		.0		167.99	-18111.47	-26.61	11791.08
		323.9		.00	9097.54	-26.61	3172.48
		618.5		-152.76	-13393.70	-26.61	-4663.58
20							
	1	-255.26					-489.72
		.0		-26.69	6231.78	-10.74	2690.76
		831.5		-26.41	-15846.36	-11.47	-6541.17
21							
	1	-160.99					-702.65
		.0		.49	50.85	14.35	-8352.51
		831.5		.30	-27.24	14.35	3579.34
28							
	1	1156.17					-364.20
		.0		-44.85	2876.82	-49.64	3487.68
		430.1		-45.08	-16458.19	-49.89	-17912.45
29							
	1	-1009.46					277.15
		.0		43.44	-18449.21	-21.44	9342.14
		531.5		43.25	4587.39	-21.28	-2009.25

1.3. Cálculo das tensões atuantes nas barras e escolha do melhor tubo.

Com as solicitações obtidas na estrutura, fez-se uma análise das tensões atuantes em cada barra. Montou-se uma tabela para cada barra onde estão relacionadas, para os casos mais críticos, as forças axiais, as forças cortantes, os momentos fletores e os momentos torsores obtidos nas três análises.

Através das equações abaixo, obtemos a tensão total atuante em cada barra.

Tensão normal devido a força axial: $\sigma_n = \frac{F}{A}$

Tensão normal devido ao momento fletor: $\sigma_f = \frac{M_f \cdot r}{I}$

Tensão normal resultante: $\sigma = \sigma_n + \sigma_f$

Cisalhamento devido ao momento torçor: $\tau_t = \frac{M_t \cdot r}{I_p}$

Cisalhamento devido a força cortante: $\tau_c = \frac{Q}{A}$

Cisalhamento resultante: $\tau = |\tau_t| + |\tau_c|$

Tensão total: $s = 0,65\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} + 0,35\sigma$

Critério de dimensionamento: $\sigma_{esc} > F_s \cdot s$, onde $F_s = 1,35$

A tensão mais crítica (indicada por uma seta) foi comparada com os valores de tensão de escoamento para os tubos de alumínio aeronáutico disponíveis no mercado, segundo o critério indicado. Procurou-se selecionar tubos com a menor área transversal possível, para que a estrutura fique o mais leve possível..

As Tabelas 1 e 2 apresentam as propriedades e dimensões dos tubos de alumínio aeronáutico disponíveis no mercado, utilizados no dimensionamento das barras. Dados adicionais sobre estes tubos se encontram no Apêndice.

As unidades adotadas nas tabelas de tensões de cada barra foram:

- área: mm²
- momentos de inércia: mm⁴
- forças (normal e cortante): kgf
- momentos (fletor e torçor): kgf·mm
- tensões(normal e de cisalhamento): kgf/mm²

Material:	Alumínio aeronáutico
Liga:	6061
Têmpera:	T6
Módulo de elasticidade:	70000 MPa
Módulo de rigidez:	26500 MPa
Límite de escoamento:	24 kg/mm ² (mínimo)

Tabela 1 . Propriedades mecânicas dos tubos de alumínio selecionados

Tubo	Diâmetro externo (mm)	Diâmetro interno (mm)	Área (mm ²)	Momento de inércia (mm ⁴)	Momento de inércia polar (mm ⁴)
1	22,22	19,74	81,73	4512,45	9024,90
2	22,22	18,92	106,63	5675,87	11351,73
3	25,40	22,92	94,12	6885,17	13770,35
4	25,40	22,46	110,51	7940,38	15880,75
5	25,40	22,10	123,11	8722,20	17444,39
6	25,40	21,20	153,72	10516,24	21032,48
7	28,57	25,63	125,15	11522,88	23045,76
8	38,10	34,80	188,94	31443,11	62886,21
9	38,10	31,76	347,86	53490,56	106981,12
10	41,27	38,33	183,80	36443,37	72886,73
11	44,45	41,97	168,33	39318,04	78636,08
12	44,45	41,51	198,49	45886,42	91772,84
13	47,62	44,68	213,13	56797,96	113595,92
14	50,80	47,86	227,81	69357,92	138715,84

Tabela 2 . Dimensões dos tubos de alumínio selecionados

As tabelas com as tensões em cada barra encontram-se nas páginas a seguir.

Barras 1 e 2

solicitações					dados do tubo			tensões resultantes					
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisalh. cortante	tensão total
37,81	185,03	-2162,00	-145,66	629,54	154,32	7940	110,51	12,7	0,342	3,602	0,123	3,196	6,400
37,81	185,03	7088,76	-145,71	-6654,71	154,32	7940	110,51	12,7	0,342	15,552	0,123	0,534	15,929
35,84	174,32	-792,39	-145,44	1208,98	1096,24	7940	110,51	12,7	0,324	2,312	0,877	0,392	3,301
35,84	174,32	7923,75	-145,48	-6064,01	1096,24	7940	110,51	12,7	0,324	15,960	0,877	0,391	16,412
46,23	-240,72	7923,75	171,83	-6064,01	505,17	7940	110,51	12,7	0,418	15,960	0,404	-0,935	16,400
46,23	-240,72	-4112,06	171,78	2526,27	505,17	7940	110,51	12,7	0,418	7,719	0,404	-0,936	8,183
50,80	199,98	-4108,47	-155,60	1513,51	-147,20	7940	110,51	12,7	0,460	7,003	-0,118	0,602	7,504
50,80	199,98	5890,40	-155,65	-6267,82	-147,20	7940	110,51	12,7	0,460	13,758	-0,118	0,602	14,239
21,37	-131,90	5890,40	133,67	-6267,82	-542,89	7940	110,51	12,7	0,193	13,758	-0,434	0,024	13,967
21,37	-131,90	-704,72	133,62	414,50	-542,89	7940	110,51	12,7	0,193	1,308	-0,434	0,023	1,638

Tubo selecionado: 4

Barras 3 e 4

força axial	solicitações				dados do tubo			tensões resultantes					
	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisalh. cortante	tensão total
-294,00	-2,16	481,14	-4,77	1478,79	253,45	4512	81,72	11,11	-3,598	3,829	0,312	0,096	0,633
-294,00	-1,53	-803,20	-4,57	-1772,75	253,45	4512	81,72	11,11	-3,598	4,792	0,312	-0,112	1,237
-317,67	2,90	-501,73	5,54	-1457,73	-187,50	4512	81,72	11,11	-3,887	3,796	-0,231	0,155	0,147
-317,67	3,13	1597,00	4,92	2163,00	-187,50	4512	81,72	11,11	-3,887	6,620	-0,231	0,148	2,736
-283,30	-1,00	22,40	-6,70	2131,80	506,00	4512	81,72	11,11	-3,467	5,249	0,623	-0,141	1,941
-283,30	-0,40	-487,00	-6,54	-2491,57	506,00	4512	81,72	11,11	-3,467	6,251	0,623	-0,127	2,896
-374,40	5,27	-2112,00	4,86	-1204,70	-666,30	4512	81,72	11,11	-4,581	5,987	-0,820	0,186	1,723
-374,40	5,50	1636,60	4,25	1968,00	-666,30	4512	81,72	11,11	-4,581	6,303	-0,820	0,179	1,998
-282,70	-4,20	1474,50	-2,80	759,00	-257,40	4512	81,72	11,11	-3,459	4,083	-0,317	-0,128	0,925
-287,70	-3,54	-1208,30	-2,60	-1144,80	-257,40	4512	81,72	11,11	-3,521	4,099	-0,317	-0,113	0,875

Tubo selecionado: 1

Barras 5 e 6

solicitações					dados do tubo			tensões resultantes					
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisalh. cortante	tensão total
560,00	0,75	-533,20	-1,60	616,60	-288,40	4512	81,72	11,11	6,853	2,007	-0,355	0,032	8,875
560,00	0,50	53,54	2,40	-1275,40	-288,40	4512	81,72	11,11	6,853	3,143	-0,355	0,053	10,008
679,14	2,20	-1374,20	-2,20	1166,00	-641,00	4512	81,72	11,11	8,311	4,438	-0,789	0,000	12,811
679,14	1,93	559,00	-3,00	-1302,00	-641,00	4512	81,72	11,11	8,311	3,489	-0,789	-0,020	11,871
540,00	-0,70	-53,70	-0,60	241,20	-139,10	4512	81,72	11,11	6,608	0,608	-0,171	-0,024	7,223
540,00	-1,50	-1092,80	-0,80	-412,50	-139,10	4512	81,72	11,11	6,608	2,876	-0,171	-0,042	9,490
520,00	0,80	-68,40	-0,90	202,10	392,95	4512	81,72	11,11	6,363	0,525	0,484	-0,002	6,932
520,00	0,60	463,30	-1,74	-1042,00	392,95	4512	81,72	11,11	6,363	2,808	0,484	-0,021	9,201
582,00	-2,20	971,70	2,74	-1373,80	561,40	4512	81,72	11,11	7,122	4,143	0,691	0,010	11,322
582,00	-3,06	-1516,20	2,50	1077,60	561,40	4512	81,72	11,11	7,122	4,580	0,691	-0,010	11,753

Tubo selecionado: 1

Barras 7 e 9

solicitações					dados do tubo				tensões resultantes				
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisalh. cortante	tensão total
-70,70	3,80	-243,20	-2,70	245,50	227,50	4512	81,72	11,11	-0,865	0,851	0,280	0,086	0,480
-70,70	4,17	1724,90	-2,90	-954,90	227,50	4512	81,72	11,11	-0,865	4,855	0,280	0,023	4,019
-87,00	3,85	-223,90	-4,40	745,40	468,50	4512	81,72	11,11	-1,065	1,916	0,577	-0,010	1,220
-87,00	4,20	1756,60	-4,70	-1503,00	468,50	4512	81,72	11,11	-1,065	5,693	0,577	-0,009	4,717
-60,90	-2,34	976,50	-6,00	2125,70	70,00	4512	81,72	11,11	-0,745	5,760	0,086	-0,153	5,016
-60,90	-2,00	-104,10	-5,70	-738,20	70,00	4512	81,72	11,11	-0,745	1,836	0,086	-0,141	1,094
-74,70	1,70	308,00	-4,60	1042,80	-546,40	4512	81,72	11,11	-0,914	2,677	-0,673	-0,053	2,102
-74,70	2,00	1225,80	-4,90	-1291,60	-546,40	4512	81,72	11,11	-0,914	4,385	-0,673	-0,053	3,660
-67,20	-2,90	1077,30	-5,24	2009,90	-889,00	4512	81,72	11,11	-0,822	5,615	-1,095	-0,149	5,187
-67,20	-2,60	-263,63	-4,93	-493,80	-889,00	4512	81,72	11,11	-0,822	1,378	-1,095	-0,138	1,837

Tubo selecionado: 1

Barra 8

solicitações					dados do tubo			tensões resultantes					
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisalh. cortante	tensão total
-23,24	0,00	-675,30	0,00	-975,20	0,00	4512	81,72	11,11	-0,284	2,921	0,000	0,000	2,636
-22,10	13,60	-1337,00	5,10	-965,30	-199,70	4512	81,72	11,11	-0,270	4,060	-0,246	0,343	3,793
-22,10	13,60	25,00	5,00	-459,30	-199,70	4512	81,72	11,11	-0,270	1,133	-0,246	0,341	0,876
-24,10	10,00	-1268,50	-3,00	-844,30	339,30	4512	81,72	11,11	-0,295	3,752	0,418	0,128	3,567
-24,10	10,00	-265,70	-3,10	-1148,40	339,30	4512	81,72	11,11	-0,295	2,902	0,418	0,127	2,749

Tubo selecionado: 1

Barras 10 e 11

solicitações													
dados do tubo						tensões resultantes							
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisalh. cortante	tensão total
-47,90	-60,40	2305,00	16,10	-408,40	-15,45	4512	81,72	11,11	-0,586	5,764	-0,019	1,147	5,484
-47,90	56,00	1532,70	-21,30	-1319,00	-15,45	4512	81,72	11,11	-0,586	4,979	-0,019	1,100	4,720
-39,70	-59,20	2364,00	18,80	-241,40	-33,40	4512	81,72	11,11	-0,486	5,851	-0,041	-0,742	5,511
-39,70	0,00	2942,48	-0,20	829,43	-33,40	4512	81,72	11,11	-0,486	7,528	-0,041	-0,004	7,042
-56,50	-63,50	2241,10	-2,20	-372,70	12,70	4512	81,72	11,11	-0,691	5,594	0,016	-1,206	5,259
-56,50	0,00	-3624,70	5,90	-33,25	12,70	4512	81,72	11,11	-0,691	8,926	0,016	0,108	8,237
-56,50	57,80	1232,60	13,30	1585,70	12,70	4512	81,72	11,11	-0,691	4,945	0,016	1,305	4,744
-47,20	-62,63	2517,80	13,90	99,40	105,80	4512	81,72	11,11	-0,578	6,204	0,130	-0,894	5,759
-47,20	53,90	964,00	-23,50	-1582,00	105,80	4512	81,72	11,11	-0,578	4,562	0,130	0,558	4,134
-51,50	-66,00	2584,00	-4,20	222,00	-443,50	4512	81,72	11,11	-0,630	6,386	-0,546	-1,289	6,451
-51,50	55,30	-3743,00	11,40	1492,60	-443,50	4512	81,72	11,11	-0,630	9,922	-0,546	1,224	9,356

Tubo selecionado: 1

Barra 12

solicitações					dados do tubo			tensões resultantes					
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cislh. cortante	tensão total
88,35	0,00	-675,30	0,00	-975,20	0,00	4512	81,72	11,11	1,081	2,921	0,000	0,000	4,002
82,40	5,00	230,40	2,50	437,70	-93,40	4512	81,72	11,11	1,008	1,218	-0,115	0,138	2,227
82,40	5,00	2633,00	2,00	1511,00	-93,40	4512	81,72	11,11	1,008	7,475	-0,115	0,128	8,483
97,70	0,80	578,60	-2,70	1227,80	310,00	4512	81,72	11,11	1,196	3,342	0,382	-0,035	4,572
97,70	0,80	961,10	3,20	-181,30	310,00	4512	81,72	11,11	1,196	2,408	0,382	0,073	3,677

Tubo selecionado: 1

Barras 13 e 14

solicitações					dados do tubo			tensões resultantes					
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisilh. cortante	tensão total
-134,20	-21,30	133,40	-8,50	347,40	-84,00	6885	94,11	12,7	-1,426	0,686	-0,077	0,366	0,868
-134,20	64,70	6746,00	228,70	3419,30	-84,00	6885	94,11	12,7	-1,426	13,951	-0,077	3,788	13,847
-122,00	-17,30	-385,40	-19,20	1780,00	-245,00	6885	94,11	12,7	-1,296	3,359	-0,226	-0,582	2,425
-122,00	27,00	374,30	0,00	297,60	-245,00	6885	94,11	12,7	-1,296	0,882	-0,226	0,430	0,523
-122,00	0,00	-915,85	-11,70	855,20	-245,00	6885	94,11	12,7	-1,296	2,311	-0,226	-0,186	1,205
-137,70	-25,40	770,00	2,10	1053,30	-93,40	6885	94,11	12,7	-1,463	2,407	-0,086	-0,371	1,185
-137,70	52,90	4973,30	-49,50	-6673,70	-93,40	6885	94,11	12,7	-1,463	15,352	-0,086	0,054	13,889
-137,40	18,40	-311,20	-13,00	876,20	295,60	6885	94,11	12,7	-1,460	1,715	0,273	0,086	0,584
-137,40	0,00	-912,00	-5,10	284,88	295,60	6885	94,11	12,7	-1,460	1,762	0,273	-0,081	0,423
-122,40	-15,40	-800,30	15,60	-1028,70	-177,90	6885	94,11	12,7	-1,301	2,404	-0,164	0,003	1,133
-122,40	62,30	6422,00	-36,00	-4147,50	-177,90	6885	94,11	12,7	-1,301	14,102	-0,164	0,419	12,808

Tubo selecionado: 3

Barra 15

solicitações						dados do tubo			tensões resultantes				
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisalh. cortante	tensão total
-119,10	0,00	331,72	0,00	749,50	0,00	4512	81,73	11,11	-1,457	2,018	0,000	0,000	0,561
-144,90	2,80	1981,10	4,30	2718,30	61,60	4512	81,73	11,11	-1,773	8,282	0,076	0,130	6,518
-130,90	-4,10	1324,40	-3,70	1682,20	364,20	4512	81,73	11,11	-1,602	5,272	0,448	-0,143	3,703

Tubo selecionado: 1

Barras 16 e 17

solicitações						dados do tubo			tensões resultantes				
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisilh. cortante	tensão total
-215,60	14,80	-4622,30	13,90	-3054,00	205,30	4512	81,73	11,11	-2,638	13,641	0,253	0,373	11,050
-215,60	15,40	4416,10	13,90	5301,00	205,30	4512	81,73	11,11	-2,638	16,989	0,253	0,538	14,407
-234,80	15,53	4445,90	17,90	6477,30	-248,60	4512	81,73	11,11	-2,873	19,345	-0,306	0,614	16,479
-199,00	15,30	-4433,60	10,00	-4130,90	-660,30	4512	81,73	11,11	-2,435	14,921	-0,813	0,464	12,499
-230,00	14,80	-4605,00	9,10	-3572,80	730,30	4512	81,73	11,11	-2,814	14,352	0,899	0,439	11,736
-202,20	15,80	-4603,00	7,20	-2473,00	-332,60	4512	81,73	11,11	-2,474	12,866	-0,409	0,422	10,392

Tubo selecionado: 1

Barras 18 e 19

solicitações						dados do tubo			tensões resultantes				
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisalh. cortante	tensão total
713,60	53,30	-2974,20	144,50	-13548,00	-237,55	45886	198,48	22,22	3,595	6,717	-0,058	1,164	10,465
713,60	-94,80	-15811,00	-140,00	-12153,00	-237,55	45886	198,48	22,22	3,595	9,657	-0,058	-1,774	13,575
870,80	54,30	-3256,60	-142,20	-13004,00	-637,00	45886	198,48	22,22	4,387	6,492	-0,154	-0,664	10,959
870,80	-93,70	-15458,00	-142,25	-13005,00	-637,00	45886	198,48	22,22	4,387	9,782	-0,154	-1,783	14,508
681,66	167,00	-17727,00	-21,40	9118,00	-164,30	45886	198,48	22,22	3,434	9,653	-0,040	1,100	13,199
681,66	-153,66	-13558,10	-21,40	-4112,60	-164,30	45886	198,48	22,22	3,434	6,861	-0,040	-1,323	10,526
696,40	-49,10	-2698,00	0,00	11005,00	-1894,00	45886	198,48	22,22	3,509	5,487	-0,459	-0,371	9,094
696,40	-116,00	-26063,00	-129,70	-7291,00	-1894,00	45886	198,48	22,22	3,509	13,105	-0,459	-1,857	17,026
722,00	168,00	-18111,00	-26,60	11791,00	-354,70	45886	198,48	22,22	3,638	10,465	-0,086	1,069	14,191

Tubo selecionado: 12

Barras 20 e 21

solicitações						dados do tubo				tensões resultantes			
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisalh. cortante	tensão total
-171,20	9,85	-5927,00	-4,20	-2271,00	180,70	31443	188,94	19,05	-0,906	3,845	0,055	0,085	2,948
-255,30	-10,46	-6091,00	-5,30	-2843,20	-201,70	31443	188,94	19,05	-1,351	4,073	-0,061	-0,125	2,738
-161,00	1,10	238,00	10,00	5999,00	-559,00	31443	188,94	19,05	-0,852	3,637	-0,169	0,088	2,788
-241,30	-26,70	-15846,00	-11,50	-6541,00	-489,10	31443	188,94	19,05	-1,277	10,386	-0,148	-0,303	9,138
-156,40	-0,50	50,70	14,40	-8352,90	702,10	31443	188,94	19,05	-0,828	5,061	0,213	0,110	4,265

Tubo selecionado: 8

Barras 22, 23, 24 e 25

solicitações					dados do tubo				tensões resultantes				
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisalh. cortante	tensão total
38,55	256,20	-24869,00	1,27	233,44	12536,00	53490	347,96	19,05	0,111	8,857	2,232	1,104	10,405
32,33	255,96	-25071,00	6,80	1101,00	12333,00	53490	347,96	19,05	0,093	8,937	2,196	1,133	10,453
13,03	-162,50	22165,00	6,00	736,10	12026,00	53490	347,96	19,05	0,037	7,898	2,141	-0,675	8,277
44,55	256,60	24578,90	4,21	626,90	12694,00	53490	347,96	19,05	0,128	8,792	2,260	1,124	10,401
242,16	183,80	39850,00	101,26	-6820,00	13421,00	53490	347,96	19,05	0,696	14,399	2,390	1,229	16,164

Tubo selecionado: 9

Barras 26, 27, 30, 31 e 32

solicitações					dados do tubo			tensões resultantes					
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisalh. cortante	tensão total
372,80	15,40	0,00	204,00	2971,00	0,00	53490	347,96	19,05	1,071	1,058	0,000	0,882	2,543
723,75	0,00	0,00	389,00	-29859,00	0,00	53490	347,96	19,05	2,080	10,634	0,000	1,677	12,997
478,00	335,90	16797,00	172,70	6741,22	0,00	53490	347,96	19,05	1,374	6,446	0,000	2,192	8,564
14,00	-136,70	-18654,00	78,77	3578,00	-17556,00	53490	347,96	19,05	0,040	6,765	-3,126	-0,250	8,613
685,00	124,20	-11475,00	413,60	-31661,00	1296,00	53490	347,96	19,05	1,969	11,994	0,231	2,318	14,548
428,00	-20,50	1025,34	-259,00	9699,00	0,00	53490	347,96	19,05	1,230	3,473	0,000	-1,205	5,081
21,80	-4,87	482,40	72,30	7580,00	-10583,00	53490	347,96	19,05	0,063	2,705	-1,885	0,291	3,713
291,60	10,10	506,00	194,00	5645,00	0,00	53490	347,96	19,05	0,838	2,018	0,000	0,880	3,181

Tubo selecionado: 9

Barras 28 e 29

solicitações					dados do tubo			tensões resultantes					
força axial	cortante plano 1-2	momento plano 1-2	cortante plano 1-3	momento plano 1-3	momento torsor	momento de inércia	área	raio	tensão normal	tensão de flexão	cisalh. torção	cisalh. cortante	tensão total
1156,00	-46,30	-16690,00	-49,30	-17671,00	0,00	53490	347,96	19,05	3,322	8,657	0,000	0,292	11,988
1151,00	44,80	-16459,00	-49,87	-17912,00	-364,00	53490	347,96	19,05	3,308	8,663	-0,065	-0,022	11,972
-1004,40	43,50	-18449,00	-21,40	9443,00	277,00	53490	347,96	19,05	-2,887	7,381	0,049	0,095	4,501
1156,20	-46,90	-16772,00	-48,88	7603,00	61,20	53490	347,96	19,05	3,323	6,558	0,011	-0,413	9,902
-1009,00	43,00	-18210,00	-23,60	9812,00	-35,00	53490	347,96	19,05	-2,900	7,367	-0,006	0,084	4,469

Tubo selecionado: 9

1.4. Determinação do peso da estrutura

A Tabela 3 mostra um resumo dos tubos escolhidos para cada barra e apresenta uma estimativa do peso total da estrutura, levando em conta apenas o peso das barras.

Barra (nº)	Tubo (nº)	Peso linear (g/mm)	Comprimento (mm)	Peso da barra (g)
1	4	0,300	50,00	15,00
2	4	0,300	50,00	15,00
3	1	0,222	696,42	154,61
4	1	0,222	696,42	154,61
5	1	0,222	941,33	208,98
6	1	0,222	941,33	208,98
7	1	0,222	492,44	109,32
8	1	0,222	100,00	22,20
9	1	0,222	492,44	109,32
10	1	0,222	352,85	78,33
11	1	0,222	352,85	78,33
12	1	0,222	480,00	106,56
13	3	0,256	304,80	78,03
14	3	0,256	304,80	78,03
15	1	0,222	480,00	106,56
16	1	0,222	600,00	133,20
17	1	0,222	600,00	133,20
18	12	0,539	618,47	333,36
19	12	0,539	618,47	333,36
20	8	0,512	831,50	425,73
21	8	0,512	831,50	425,73
22	9	0,944	240,00	226,56
23	9	0,944	240,00	226,56
24	9	0,944	240,00	226,56
25	9	0,944	240,00	226,56
26	9	0,944	50,00	47,20
27	9	0,944	50,00	47,20
28	9	0,944	430,12	406,03
29	9	0,944	531,51	501,75
30	9	0,944	150,00	141,60
31	9	0,944	150,00	141,60
32	9	0,944	150,00	141,60

Peso total: 5641,63

Tabela 3. Cálculo do peso total da estrutura

1.5. Deformações e deslocamentos finais.

Com o uso do programa SAP90, foi possível ainda a impressão das estrutura em três vistas diferentes (isométrica, superior e lateral). Para estas três vistas, foi impressa a estrutura com os diagramas de solicitação, bem como a estrutura final deformada. Estas deformações são exageradas pelo próprio programa para melhor visualização. Os valores reais destas deformações encontram-se nos resultados obtidos pelo programa (item 1.2). As impressões encontram-se no Apêndice.

Convém lembrar que estas deformações não são as deformações finais, pois as análises foram feitas utilizando-se um tubo fictício, conforme descrito anteriormente.

Da análise dos relatórios de deslocamento obtidos, observou-se os pontos com deslocamento representativo. Determinados os tubos definitivos, chegou-se ao deslocamento real destes pontos críticos para os três casos de análise.

Ponto	Análise	δx (mm)	δy (mm)	δz (mm)
13	Estática	1,20	0	$-2,54 \times 10^{-3}$
	Torção	1,24	$7,5 \times 10^{-3}$	$-2,35 \times 10^{-3}$
	Impacto	1,63	-0,12	$-3,99 \times 10^{-2}$
14	Estática	4,63	0	-4,72
	Torção	4,71	$5,7 \times 10^{-2}$	-4,75
	Impacto	5,20	-0,18	-5,02
15	Estática	-0,71	0	$9,6 \times 10^{-3}$
	Torção	-0,71	2×10^{-2}	$9,9 \times 10^{-3}$
	Impacto	0,47	-0,23	$-4,1 \times 10^{-2}$

Tabela 4. Deslocamentos mais representativos na estrutura.

2. Estudo Aerodinâmico da Carenagem.

2.1. A construção do modelo.

Para se determinar o melhor perfil aerodinâmico, foi feito um modelo em escala 1:10 para ser ensaiado em tunel de vento. Os ensaios foram orientados pelo professor Antônio Luis de Campos Mariani.

O modelo foi concebido em madeira balsa, por ser um material fácil de modelar e que permite um bom acabamento superficial. A partir do desenho proposto para a carenagem, foram levantadas curvas de nível para várias seções horizontais. Estas curvas foram recortadas em chapas de madeira balsa de 1 mm de espessura, com uma camada de sobrematerial. As chapas foram coladas uma sobre as outras com cola branca, e o formato desejado foi sendo aproximado com lixa grossa. O acabamento final foi feito com 3 camadas de verniz e lixa grossa.

2.2. Determinação do coeficiente de arrasto

O primeiro estudo foi a determinação do coeficiente de arrasto. A força de arrasto é dada por:

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho A v^2$$

onde C_D é o coeficiente de arrasto, ρ é a massa específica do ar, A é a área frontal projetada do corpo de provas e v é a velocidade do ar.

A força de arrasto foi determinada no túnel de vento conforme mostra o arranjo experimental da Figura 2. Quando o túnel de vento é ligado, a força de arrasto aplicada no modelo faz com que ele se desloque para trás e registre seu valor no dinamômetro. O modelo fica suspenso por três fios de nylon bem finos ($\varnothing$ 0,20 mm), de modo que estes não interfiram no escoamento. Pelo mesmo motivo, o dinamômetro é posicionado a 150 mm do bico do modelo e ligado a este por um fio de nylon.

O efeito do solo sobre o escoamento foi levado em conta, e a distância do modelo ao solo seguiu a escala adotada de 1:10.

Um tubo de pitot posicionado no meio da seção de testes permitiu a determinação da velocidade do ar. Sendo Δh a altura manométrica obtida no manômetro diferencial, temos:

$$\Delta p \cong \Delta h (\gamma_{man} - \gamma_{ar})$$

onde Δp é a diferença de pressão entre as duas tomadas, γ_{man} é o peso específico do fluido manométrico e γ_{ar} é o peso específico do ar.

A velocidade do escoamento é determinada por:

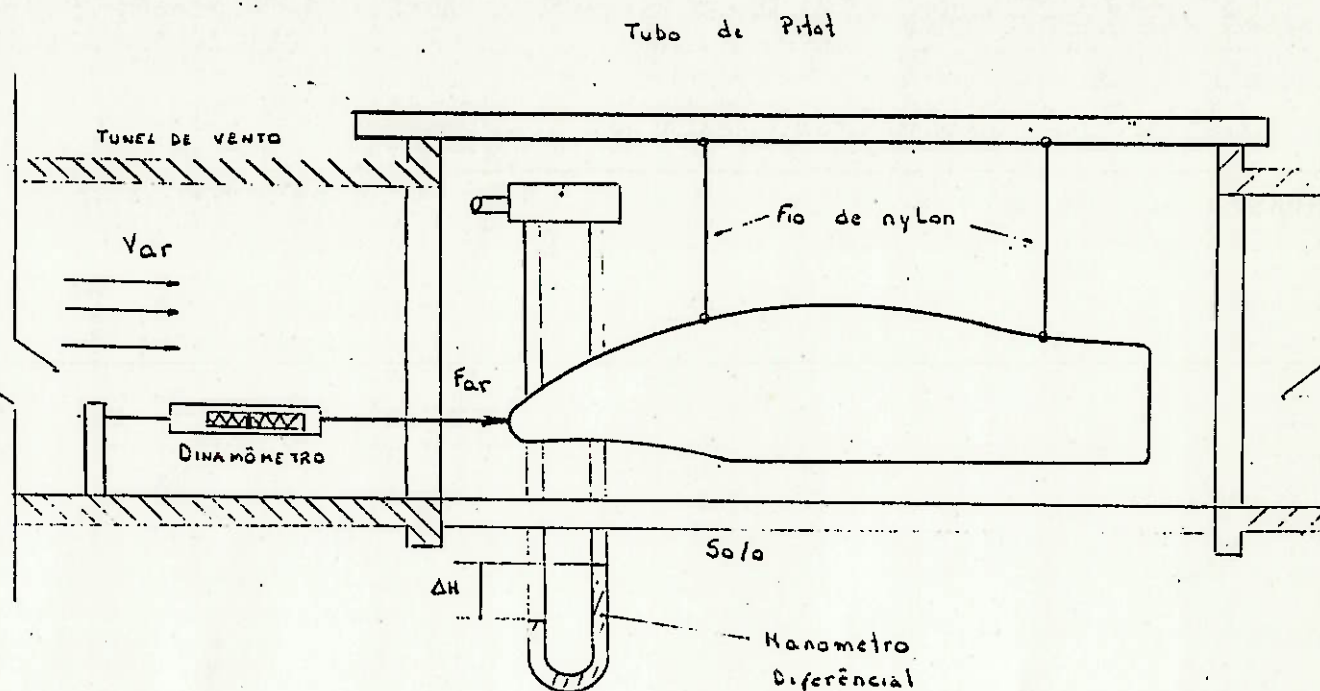


Figura 2. Arranjo experimental para determinação do coeficiente de arrasto.

$$v = \sqrt{\frac{2g\Delta p}{\gamma_{ar}}} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{ar}}}$$

No teste realizado obtivemos $\Delta h = 0,0275$ m. Dados $\rho_{ar} = 1,1774$ kg/m³, $\gamma_{man} = 8500$ N/m³, temos:

$$\Delta p = 0,0275 \times (8500 - 1,1774 \times 9,8) = 233,43 \text{ Pa}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 233,43}{1,1774}} \Rightarrow v = 19,9 \text{ m/s} = 71,7 \text{ km/h}$$

O dinamômetro forneceu $F = 0,01$ kgf. A partir da equação para a força de arrasto:

$$C_D = \frac{F}{\frac{1}{2} \rho_{ar} A v^2} = \frac{0,01 \times 9,8}{\frac{1}{2} \times 1,1774 \times 0,00491 \times (19,9)^2} \Rightarrow C_D \approx 0,086$$

2.3. Visualização da trajetória do escoamento do ar.

O segundo estudo foi a visualização da trajetória do escoamento do ar sobre o modelo. Foram fixados pequenos pedaços de fio de lã (~ 30 mm) por meio de alfinetes, junto à superfície do modelo.

Ao impor a condição de escoamento, o ar a alta velocidade faz com que os fios de lã se orientem no sentido do fluxo.

Podem ser observados alguns fenômenos através desta técnica, como o descolamento da camada limite, a ocorrência de vórtices e zonas de turbulência. Se ocorre descolamento da camada limite em alguma região, os fios de lã ficarão oblíquos em relação a superfície do perfil. A ocorrência de vórtices serão apresentadas por reversões no sentido de fluxo do escoamento: os fios ficarão encurvados ou orientados em sentidos completamente diferentes do escoamento. A formação de zonas de turbulência representam um movimento caótico do ar, e teríamos então fios de lã agitados, mudando de posição rapidamente ao longo do tempo.

A observação do escoamento foi feita tanto na vista lateral como na vista de topo. Em ambos os casos, utilizou-se um fio de nylon como fixação para alguns fios de lã colocados à frente do modelo, para se representar a trajetória do ar pelo bico da carenagem.

As Figuras 3 e 4, elaboradas a partir de fotos feitas durante o ensaio, mostram a trajetória do ar sobre o modelo. Podemos observar que há uma zona de turbulência formada atrás do modelo. Isto é perfeitamente aceitável, já que este fato também ocorre no bordo de fuga de asas de avião.

Também podemos observar que parte do ar que estava embaixo do modelo na maior seção transversal (aproximadamente no meio do modelo), ao caminhar para o fim do perfil encontra uma redução na sua largura. Como a pressão próxima ao solo é maior do que na lateral do perfil, surge uma componente de velocidade v_y , que faz com que a trajetória seja oblíqua ao solo. No entanto, não ocorre descolamento da camada limite, pois os fios de lã se encontravam bem juntos a superfície do modelo. Em geral, ao longo do modelo a trajetória apresenta apenas a componente de velocidade v_x .

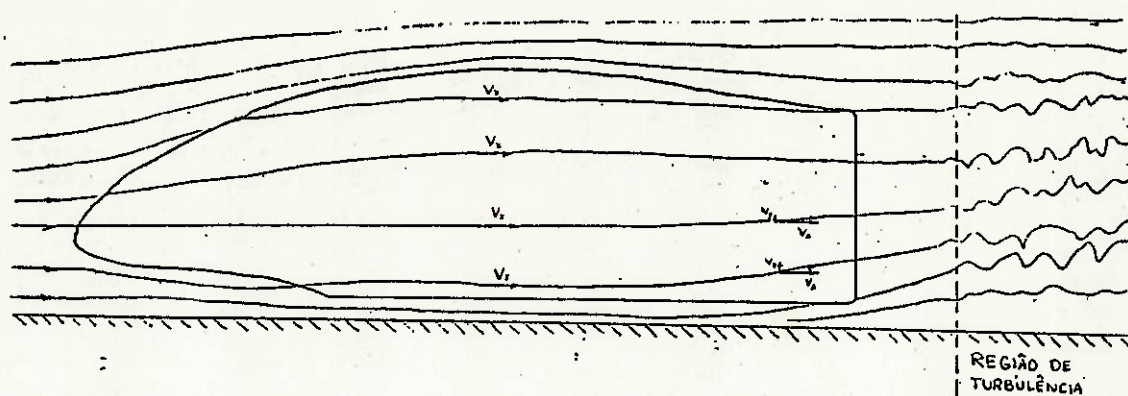


Figura 3. Trajetória do ar ao longo do perfil - vista lateral.

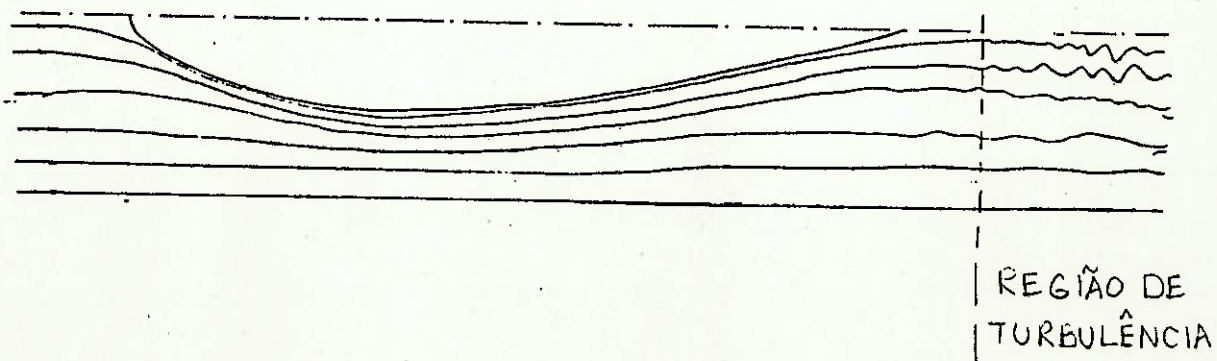


Figura 4 Trajetória do ar ao longo do perfil - vista de topo.

3. Projeto dos Mecanismos.

3.1. Sistema de regulagem do ângulo de caster e de câmber (Desenho 2-2100-0)

O sistema de regulagem do ângulo de caster e de câmber permite adequar a alta velocidade atingida pelo veículo com uma boa dirigibilidade do mesmo.

A regulagem consiste em adicionar ou subtrair arruelas (posição R) aumentando ou diminuindo a distância entre a posição 8 e a estrutura, e entre as posições 1 e 3, que definem respectivamente os ângulos de caster e de câmber.

As arruelas têm espessura de 0,3 mm e os ângulos médios são de 6°, tendo o sistema a possibilidade de variá-los em $\pm 2^\circ$.

Para se obter uma boa regulagem, determinou-se que cada arruela deve variar o ângulo em aproximadamente $0,1^\circ$. Assim, para o ângulo de caster, temos:

$$x[\sin(6,1^\circ) - \sin(6,0^\circ)] = 0,3$$

$$x = 173 \text{ mm}$$

onde x é a distância entre centros dos furos das duas peças na posição 6 e na posição 8. Então, o número de arruelas necessárias para variar o ângulo de 4° a 8° , n , será:

$$n = \frac{173 \times [\sin(8^\circ) - \sin(4^\circ)]}{0,3}$$

$$\boxed{n = 40}$$

Este dimensionamento é válido tanto para o ângulo de caster como o ângulo de câmber.

Caso seja necessária uma regulagem com ângulos maiores que 8° ou menores que 4° , deve-se trocar as posições 4 e 8 para câmber e caster respectivamente.

3.2. Sistema de direção (desenho 2-2200-0)

O sistema de direção tem a função de apenas corrigir a trajetória retilínea do veículo. Definiu-se então um ângulo de pivotamento das rodas de $\pm 5^\circ$. Devido a limitações de espaço na estrutura, o braço de alavanca da roda (posições 7 e 8) foi definido tendo 40 mm entre os centros das articulações.

Aplicando um deslocamento y na barra de direção (posição 3), e sendo x a diferença entre o comprimento da barra de direção e a distância entre os centros de pivotamento das rodas, no quadrilátero articulado, temos:

$$\alpha = \left| \arcsen\left(\frac{x+y}{40}\right) - \arcsen\left(\frac{x}{40}\right) \right|$$

$$\beta = \left| \arcsen\left(\frac{y-x}{40}\right) - \arcsen\left(\frac{x}{40}\right) \right|$$

$$\gamma = \beta - \alpha = \left| \arcsen\left(\frac{y-x}{40}\right) - \arcsen\left(\frac{x+y}{40}\right) \right|$$

onde α é o ângulo de pivotamento da roda externa à curva, β o ângulo de pivotamento da roda interna à curva e γ a diferença entre eles.

Para um ângulo de pivotamento médio de 5° para a esquerda, conforme mostra a Figura 5, temos:

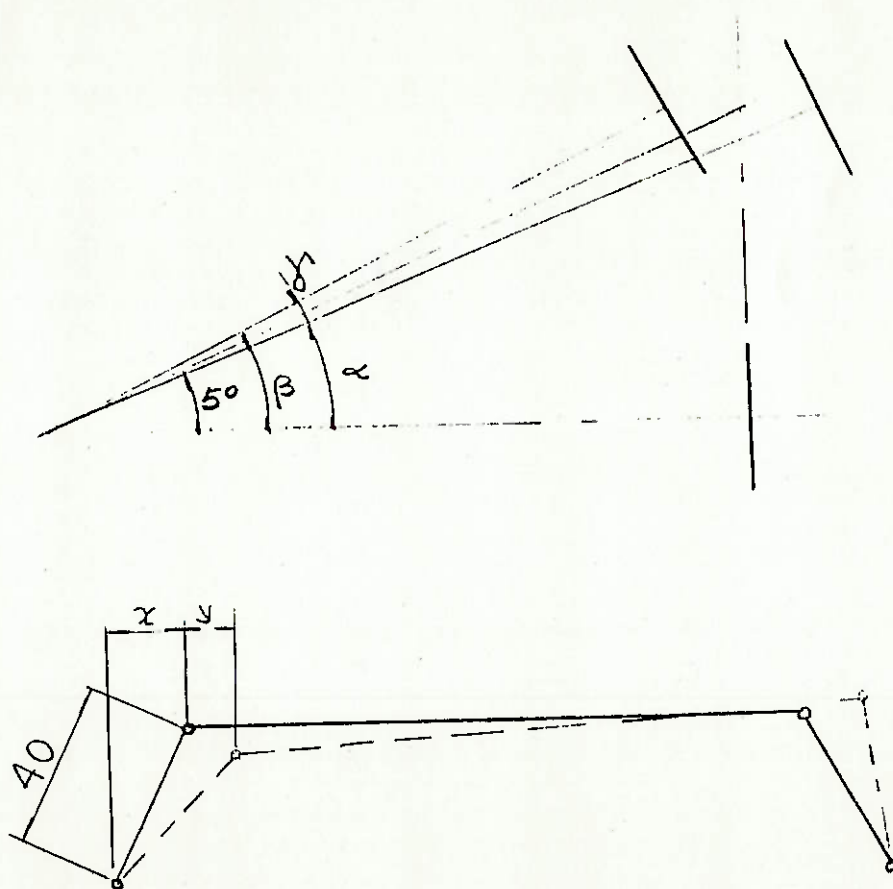


Figura 5. Ângulos de cada roda e deslocamento da barra de direção ao se fazer uma curva de 5° com o veículo.

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 4,925701^\circ \\ \beta = 5,076592^\circ \end{array} \right\} \Rightarrow \gamma = 0,150891^\circ$$

$$\left| \arcsen\left(\frac{y-x}{40}\right) \right| - \left| \arcsen\left(\frac{x+y}{40}\right) \right| = 0,150891^\circ$$

$$\text{Para } x = 0 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} y_1 = 3,4346 \text{ mm} \\ y_2 = 3,5394 \text{ mm} \end{array} \right\} \Rightarrow \bar{y} = \frac{y_1 + y_2}{2} = 3,484 \text{ mm}$$

Por um processo iterativo, podemos chegar a um valor de x quando $y = \bar{y}$:

$$\text{Para } y = \bar{y} \text{ e } x = 0,1 \Rightarrow \gamma = 0,2875^\circ$$

$$\text{Para } y = \bar{y} \text{ e } x = 0,05 \Rightarrow \gamma = 0,143787^\circ \Rightarrow \boxed{x \approx 0,05 \text{ mm}}$$

Como x é muito pequeno, adotamos $x = 0$ e $y = \bar{y} = 3,48 \text{ mm}$.

A alavanca de direção possui 680 mm de comprimento. Então, conforme a Figura 6, temos:

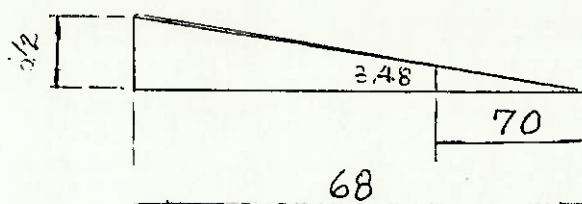


Figura 6. Curso lateral da alavanca de direção.

$$\frac{d/2}{680} = \frac{3,48}{70} \Rightarrow d = \frac{3,48 \times 2 \times 680}{70} \Rightarrow \boxed{d = 68 \text{ mm}}$$

onde d é o curso lateral da alavanca de direção, na manopla.

Bibliografia.

- BEER, F. P. e JOHNSTON Jr., R. *Resistência dos Materiais*. 2ª Ed. Mc Graw-Hill, São Paulo, 1989.
- VIEIRA, R. C. de C.. *Atlas de Mecânica dos Fluidos*. Edgard Blücher, São Paulo, 1971.
- PROVENZA, F. *Desenhista de Máquinas*. Escola Pro-Tec, São Paulo, 1986.
- PROVENZA, F. *Projetista de Máquinas*. Escola Pro-Tec, São Paulo, 1986.
- *Catálogo de Perfis para Construção Civil*. Alcan, São Paulo, 1992.
- *Catálogo de Produtos*. Alcoa, São Paulo, 1992.

Apêndice.

Este apêndice apresenta os seguintes itens:

- Tabelas de propriedades físicas típicas e dimensões dos tubos de alumínio utilizados para a construção do modelo.
- Impressão da estrutura em três vistas diferentes (isométrica, superior e lateral), incluindo os diagramas de solicitação, bem como a estrutura final deformada.
- Os desenhos que constituem projeto VEMAX>.



Ligas de Extrusão

Extrusão

Propriedades Mecânicas

Liga	Tempera	Limite da Resistência a Tração (MPa)	Limite Convencional de Escoamento (MPa)	% de Alongamento em 50mm	Dureza Brinell 2,5 / 62,5
1050	0 H14 H18	95 85 110	— (80) (100) (130)	— (30) (80) (100)	25 — — —
1350	0	—	—	—	—
2011	T3 T6	310 —	— (363) (340)	— (30) (328) (230)	— 10 10
2014	T4 T6	345 415	— (430) (500)	240 (250) (440)	12 — (105) (135)
2017	T4	380	—	220 (290)	12 (104)
2024	0 T4	240 395	— (510)	130 260 (380)	10 — (126)
3003	0 H12 H14 H16 H18	130 115 140 165 185	— (120) (140) (151) — —	— — — — —	25 — — — —
5052	0 H32 H34 H36 H38	220 215 233 255 270	— (209) (227) (260) (280) —	— 160 180 200 — (183) (235) (250)	25 — — — — — —
6060	0	130	—	—	—
6063	T4A	110	—	—	—
6063	T5	150	—	—	—
6063	T6C	180	—	—	—
6063	T6	205	—	—	—
6061	0	150	—	—	—
6061	T4	180	—	—	—
6061	T6	260	—	—	—
6061	T6*	290	—	—	—
6061	T8	—	—	—	—
6061	T89	370	—	—	—
261	T4A	157	—	—	—
261	T4	181	—	—	—
261	T6C	229	—	—	—
261	T6	260	—	—	—
351	T4	220	—	—	—
351	T6	290	—	—	—
101	0	—	—	—	—
101	T6	200	—	—	—
262	T6	260	—	—	—
262	T9	360	—	—	—
705	0	275	—	—	—
705	T6	560	—	—	—
704	T4A	204	—	—	—

As tensões expressas na unidade MEGAPASCAL (MPa), equivalentes a 1 N/mm².
A unidade Kgf/mm² é obtida dividindo-se o valor indicado por 9,807.

A conversão de MPa em KSI divide-se por 6,894.

Os valores entre parênteses são os mínimos esperados.

Os valores entre parênteses são os típicos esperados.

As ligas podem ser fornecidas na tempera F, sem garantia de propriedades mecânicas.

Os valores mínimos e típicos mostrados referem-se aos produtos mais utilizados nas ligas/temperas indicadas. Diferentes espessuras de parede e/ou podem levar a alterações nos mínimos especificados e típicos esperados. Para maiores informações consultar área comercial da Divisão de Extrudados.

A T6 para material trefilado com passe de calibragem.



Tubo redondo aeronáutico (Norma WW-T-700/6)

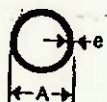
N. ALCOA	POLEGADAS		MILÍMETROS		PESO (kg/m)
	A	e	A	e	
TR-400	7/8	0.049	22,22	1,24	0,222
TR-401	7/8	0,065	22,22	1,65	0,289
TR-402	1	0,049	25,40	1,24	0,256
TR-403	1	0,058	25,40	1,47	0,300
TR-404	1	0,065	25,40	1,65	0,334
TR-405	1	0,083	25,40	2,10	0,418
TR-406	1.1/8	0,058	28,57	1,47	0,340
TR-407	1.1/2	0,065	38,10	1,65	0,512
TR-408	1.1/2	0,125	38,10	3,17	0,944
TR-409	1.5/8	0,058	41,27	1,47	0,499
TR-410	1.3/4	0,049	44,45	1,24	0,457
TR-411	1.3/4	0,058	44,45	1,47	0,539
TR-412	1.7/8	0,058	47,62	1,47	0,578
TR-413	2	0,058	50,80	1,47	0,618

Fabricados somente na liga/têmpera 6061T6.
Outras bitolas, sob consulta.



Tubo laminado soldado

N. ALCOA	MILÍMETROS		PESO (kg/m)
	A	e	
TL-001	12,70	0,60	0,065
TL-002	12,70	0,80	0,085
TL-003	12,70	1,00	0,110
TL-004	22,22	0,80	0,155
TL-005	22,22	1,00	0,180
TL-006	25,40	0,80	0,175
TL-007	25,40	1,00	0,215
TL-008	25,40	1,20	0,260



Tubo para irrigação laminado e soldado

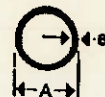
N. ALCOA	DIÂMETRO	MILÍMETROS		PESO (kg/m)
	POLEGADAS	A	e	
TL-100	4	101,60	0,90	0,770
TL-101	4	101,60	1,10	0,940
TL-102	5	127,00	1,00	1,070
TL-103	5	127,00	1,20	1,285

Tubo laminado para irrigação

Liga/ Têmpera	LRT ⁽¹⁾ (kg/mm ²)		LE ⁽²⁾ (kg/mm ²)		A ⁽³⁾ (%)		Expansão máxima recomend. (%)
	Mínimo ASTM	Típico Alcoa	Mínimo ASTM	Típico Alcoa	Mínimo ASTM	Típico Alcoa	
3004 O°	15,5	19,5	6,0	12,0	10,0	18,0	14,5
3004 H34	22,5	26,5	17,0	23,5	3,0	8,0	6,5

(1) L.R.T. = Limite de Resistência à Tração
(2) L.E. = Limite de Escoamento
(3) A = Alongamento

Tubos com características diferentes dos padrões Alcoa, sob consulta



Tubos extrudados para irrigação

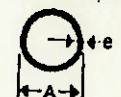
Linha leve

N. ALCOA	DIÂMETRO	MILÍMETROS		PESO (kg/m)
	POLEGADAS	A	e	
TI-001	2	50,80	1,10	0,466
TI-002	3	76,20	1,10	0,702
TI-003	3	76,20	1,15	0,734
TI-004	4	101,60	1,10	0,940
TI-005	4	101,60	1,15	0,984
TI-006	5	127,00	1,20	1,284
TI-007	6	152,40	1,25	1,621
TI-008	6	152,40	1,30	1,671



Linha convencional

N. ALCOA	DIÂMETRO	MILÍMETROS		PESO (kg/m)
	POLEGADAS	A	e	
TI-100	2	50,80	1,27	0,533
TI-101	3	76,20	1,27	0,826
TI-102	4	101,60	1,27	1,104
TI-103	5	127,00	1,32	1,407
TI-104	6	152,40	1,50	1,945



Linha pesada

N. ALCOA	DIÂMETRO	MILÍMETROS		PESO (kg/m)
	POLEGADAS	A	e	
TI-200	6	152,40	1,70	2,170
TI-201	7	177,80	1,80	2,723



Conexões

N. ALCOA	MILÍMETROS		PESO (kg/m)
	A	e	
TI-300	73,70	2,00	1,254
TI-301	80,00	2,50	1,650
TI-302	99,10	2,00	1,687
TI-303	106,60	2,50	2,268
TI-304	132,60	2,80	3,159
TI-305	152,40	4,20	5,298
TI-306	158,00	4,00	5,244
TI-307	158,20	2,90	3,904

Tubo extrudado para irrigação

Liga/ Têmpera	LRT ⁽¹⁾ (kg/mm ²)		LE ⁽²⁾ (kg/mm ²)		A ⁽³⁾ (%)		Expansão máxima recomend. (%)
	Mínimo ASTM	Típico Alcoa	Mínimo ASTM	Típico Alcoa	Mínimo ASTM	Típico Alcoa	
6063 T6A	20,0	19,5	17,0	14,0	8,0	18,0	14,5
6063 T6B	20,0	24,5	17,0	22,0	8,0	10,5	8,3

(1) L.R.T. = Limite de Resistência à Tração
(2) L.E. = Limite de Escoamento
(3) A = Alongamento

Tubos com características diferentes dos padrões Alcoa, sob consulta

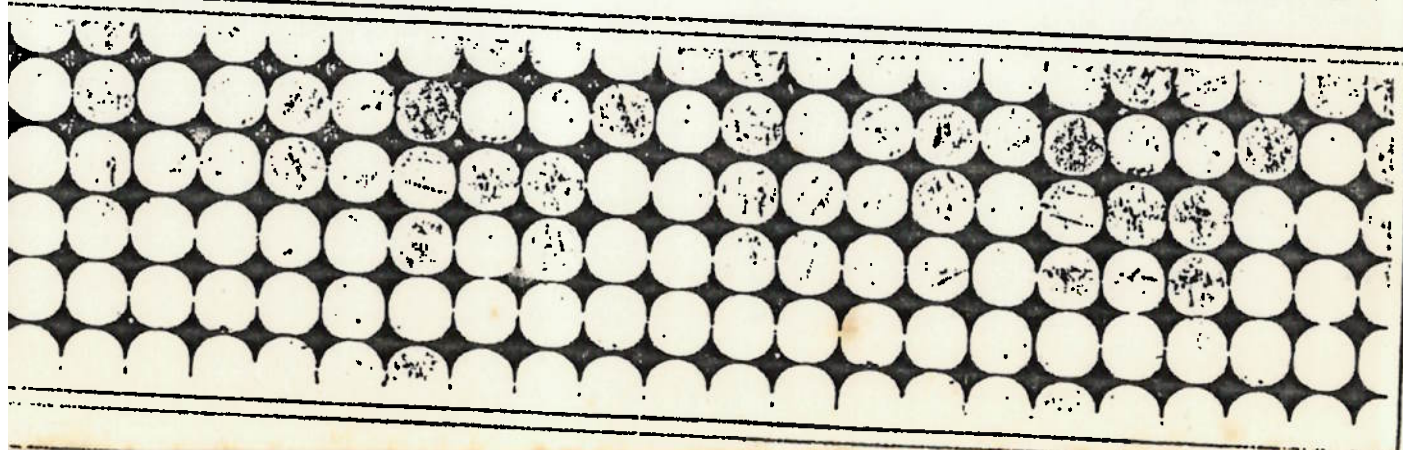
a ou kg/mm²

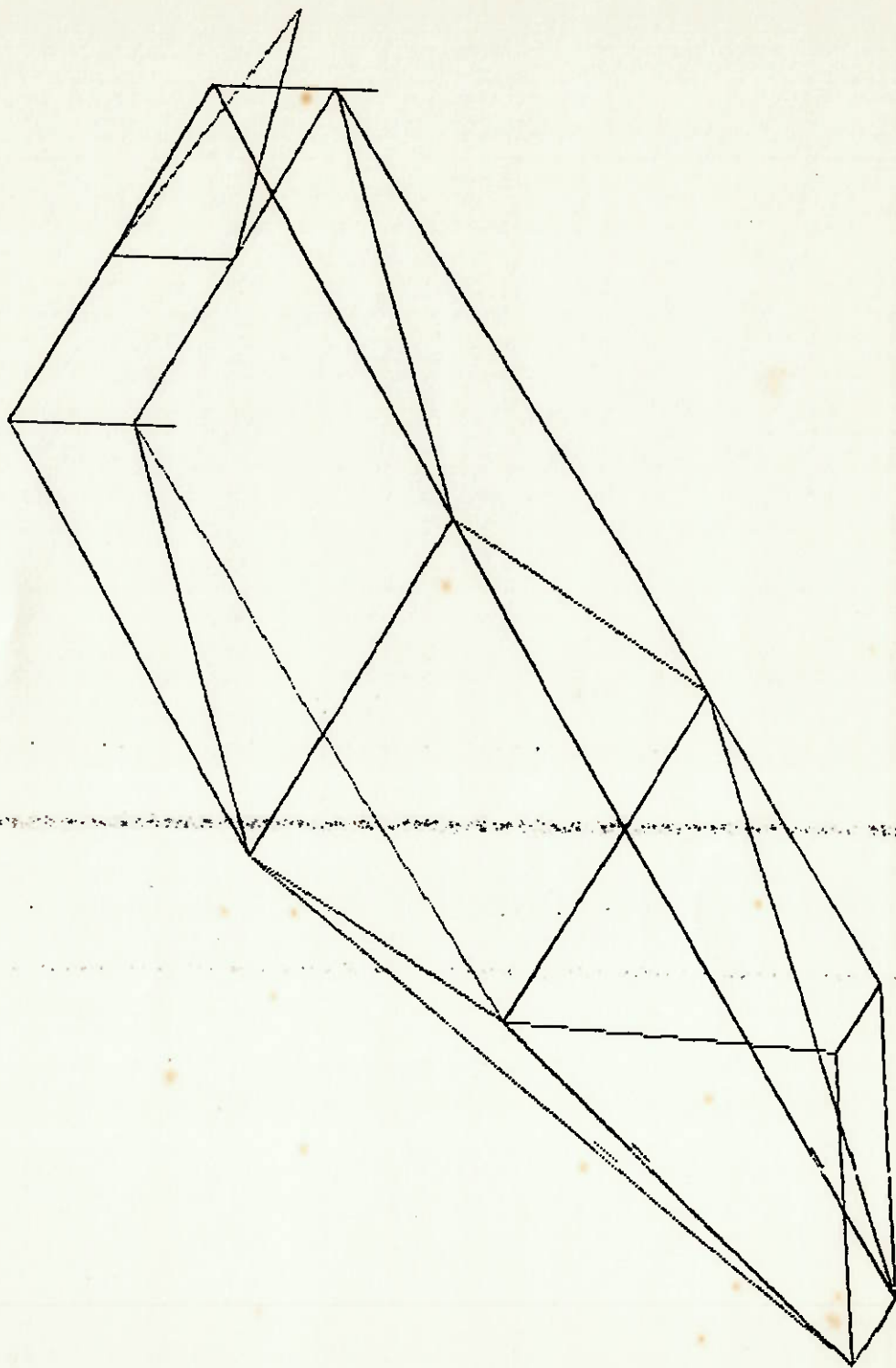
Propriedades Físicas Típicas

Aligam	Peso Específico (g/cm ³)	Módulo de Elasticidade MPa	Módulo de Rigidez MPa	Temperatura de Fusão (°C)	Calor Específico (0-100°C) (Cal./g°C)	Coefficiente de Expansão Linear (L/°C)	Condutibilidade Térmica (25°C) (Cal./cm °C)	Condutibilidade Elétrica (IACS)%
50	2,70	70000	26500	650-660	0,22	24x10 ⁻⁶	0,50	60,0
50	2,70	70000	26500	650-660	0,22	23x10 ⁻⁶	0,54	61,8
11	2,82	72500	27500	535-645	0,23	23x10 ⁻⁶	0,37	40,0
14	2,80	75000	28500	510-640	0,21	23x10 ⁻⁶	0,37	38,0
17	2,80	73500	28000	510-640	0,22	24x10 ⁻⁶	0,29	34,0
24	2,77	74500	28500	500-640	0,22	23x10 ⁻⁶	0,29	30,0
33	2,73	70000	26500	640-655	0,22	23x10 ⁻⁶	0,38	43,0
32	2,68	72000	27500	595-650	0,23	23x10 ⁻⁶	0,33	34,0
36	2,63	72500	27500	570-640	0,23	24x10 ⁻⁶	0,27	26,0
40 e 53	2,71	70000	26500	600-650	0,21	23x10 ⁻⁶	0,48	52,0
1	2,71	70000	26500	580-650	0,22	24x10 ⁻⁶	0,37	40,0
1	2,71	70000	26500	605-655	0,22	23x10 ⁻⁶	0,49	55,0
1	2,71	70000	26000	570-655	0,22	23x10 ⁻⁶	0,44	47,0
2	2,71	70000	26700	582-652	0,21	23x10 ⁻⁶	0,37	44,0
1	2,71	70000	26500	555-650	0,21	24x10 ⁻⁶	0,44	45,5
5	2,80	73000	27500	475-630	0,23	24x10 ⁻⁶	0,29	30,0

Comparativo com Outros Materiais

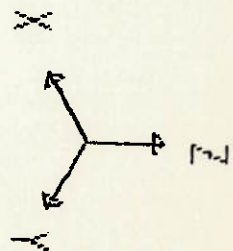
Propriedades Físicas	Alumínio	Aço	Cobre
Peso específico (g/cm ³)	2,71	7,86	8,96
Temperatura de fusão (°C)	655	1500	1083
Módulo de elasticidade (MPa)	69000	205940	110325
Coefficiente de expansão linear (L/°C)	23x10 ⁻⁶	11,7 x 10 ⁻⁶	16,5x10 ⁻⁶
Condutibilidade térmica 25°C (Cal./cm °C)	0,56	0,12	0,91
Condutibilidade elétrica (IACS)%	62	14,5	100

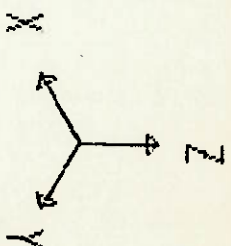
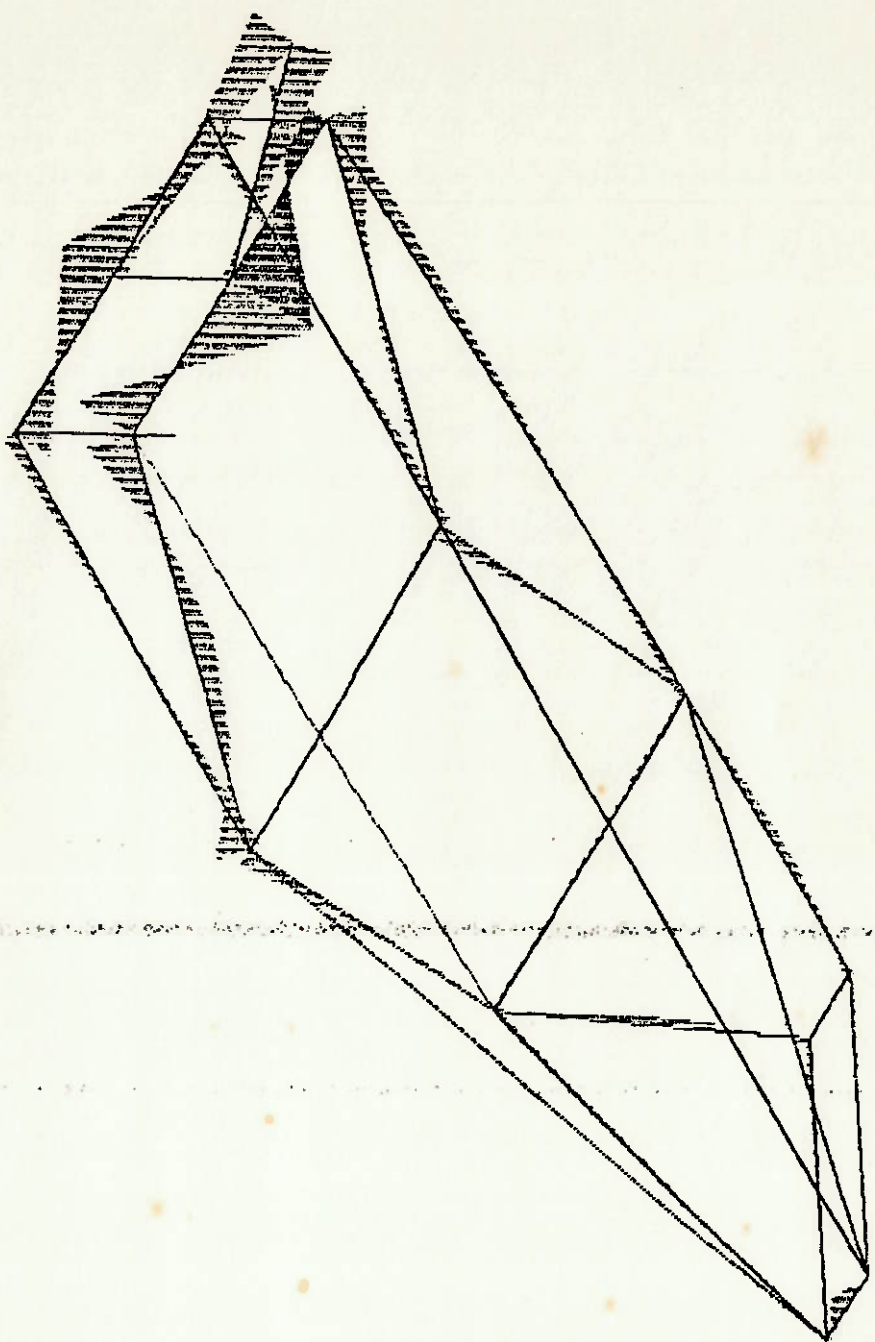




SAP90

FILE : vemax_3
UNDEFORMED SHAPE





ENVELOPES

MIN < 22>

-.2487E+05

AT .00

MAX < 22>

.3662E+05

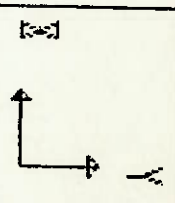
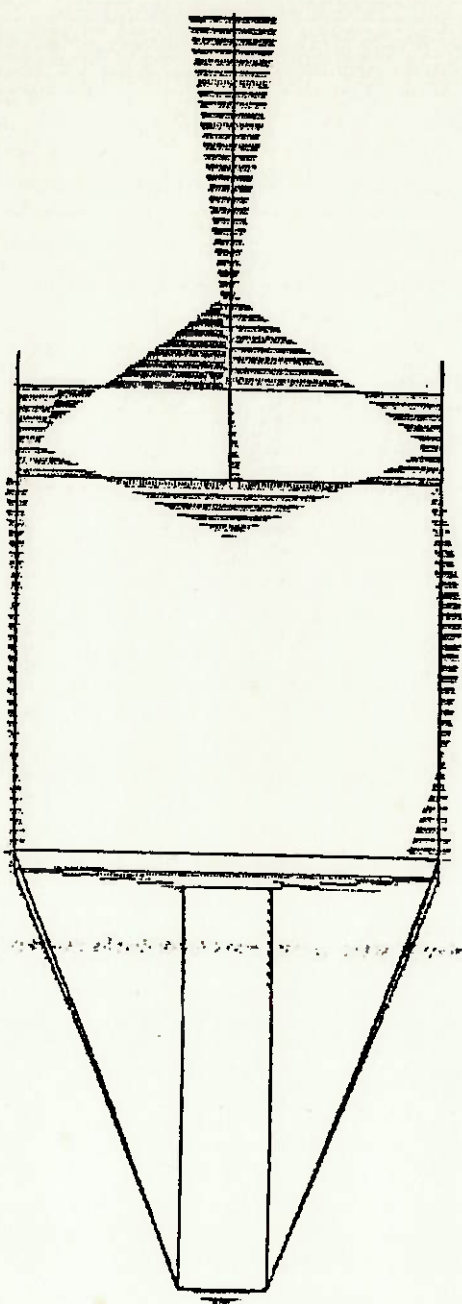
AT 240.00

FILE : vemax_3

OUTPUT : FRAME M33

LOAD : 1

SAP90



ENVELOPES

MIN < 22>

- .2487E+05

AT .00

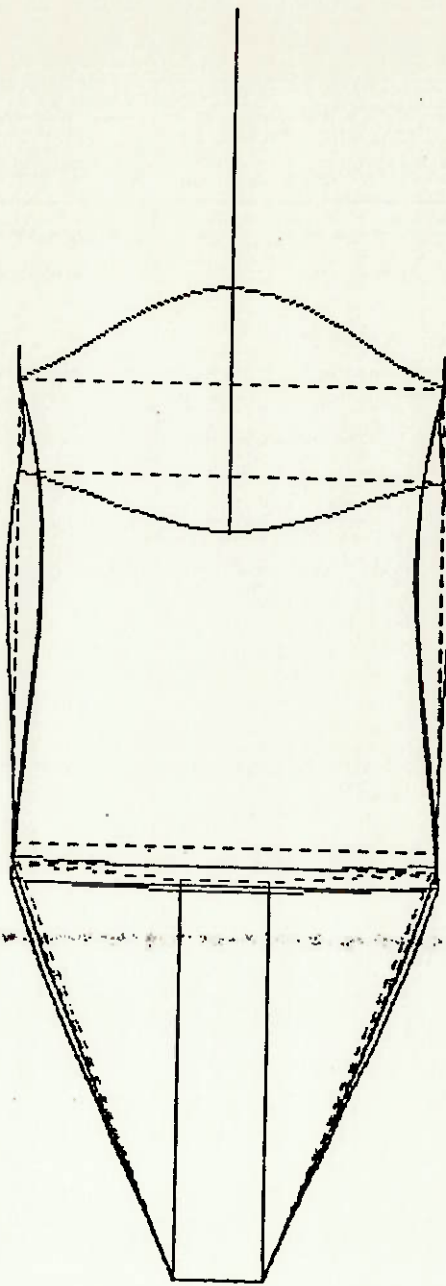
MAX < 22>

.3662E+05

AT 240.00

FILE : vemax_3
 OUTPUT : FRAME M33
 LOAD : 1

SAP90

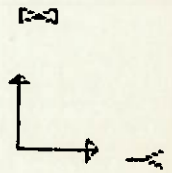


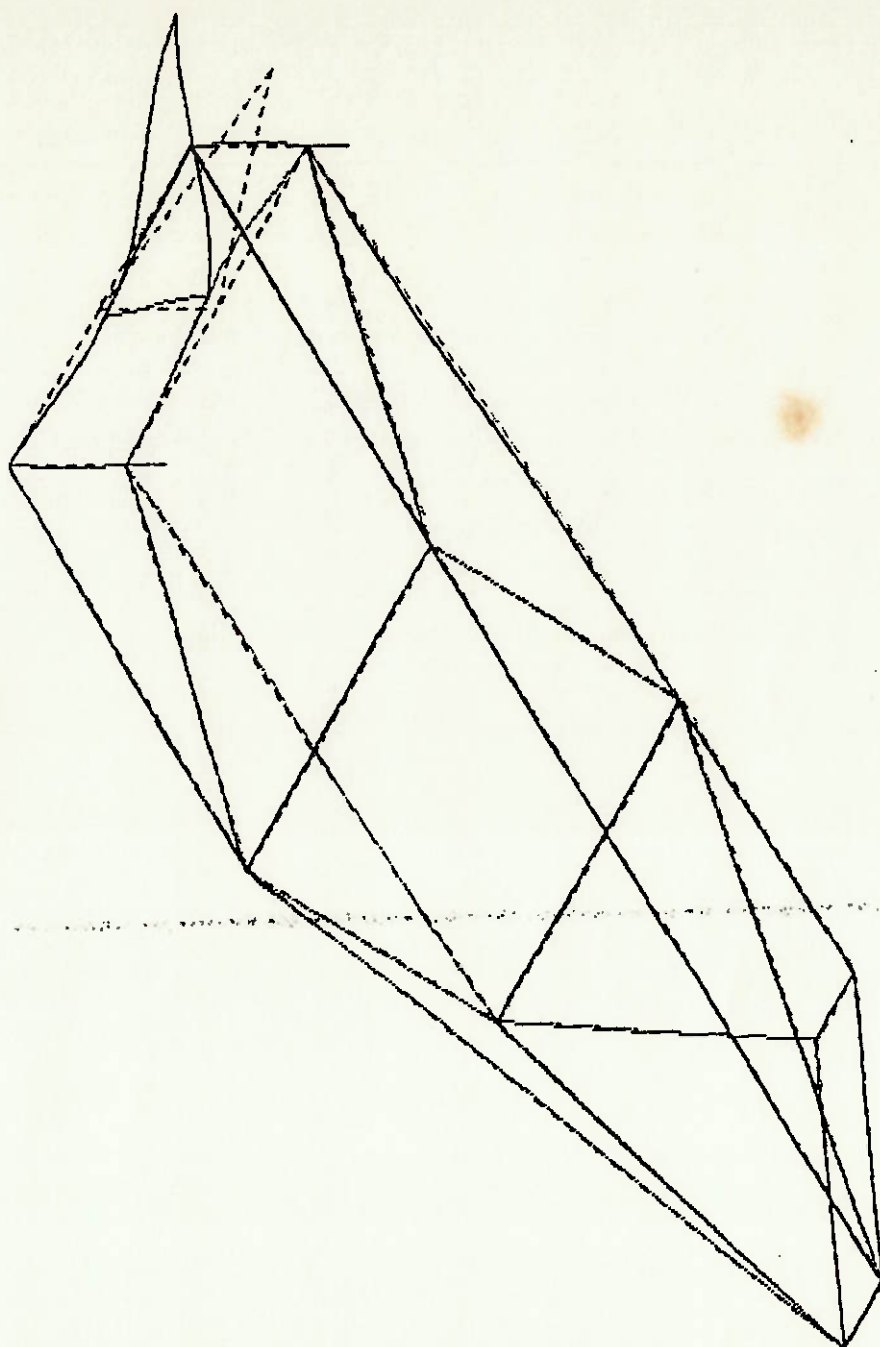
SAP90

FILE : vemax_3

DEFORMED SHAPE

LOAD : 1



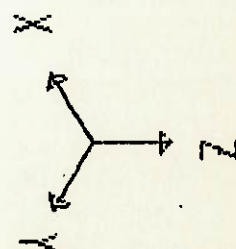


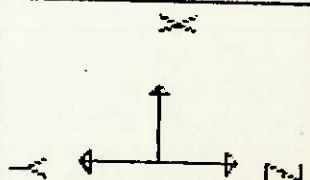
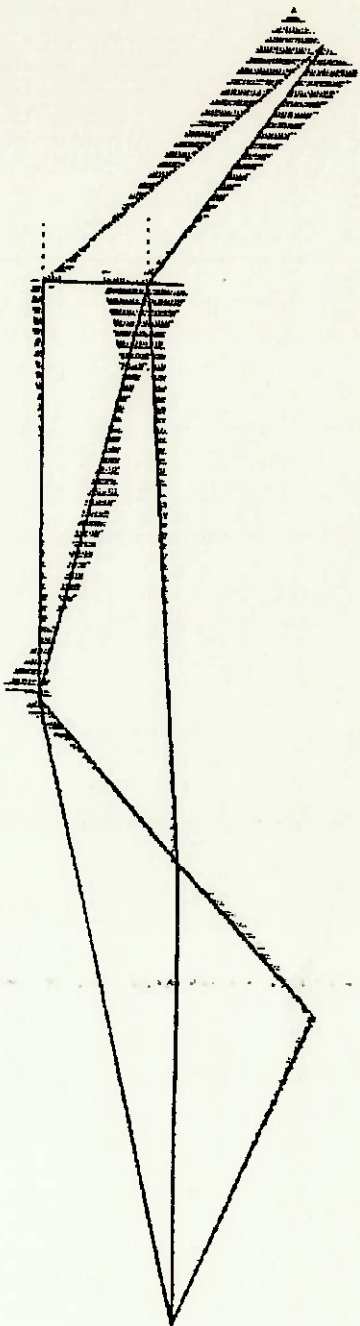
SAP90

FILE : vemax_3

DEFORMED SHAPE

LOAD : 1





ENVELOPES

MIN < 22>

-.2487E+05

AT .00

MAX < 22>

.3662E+05

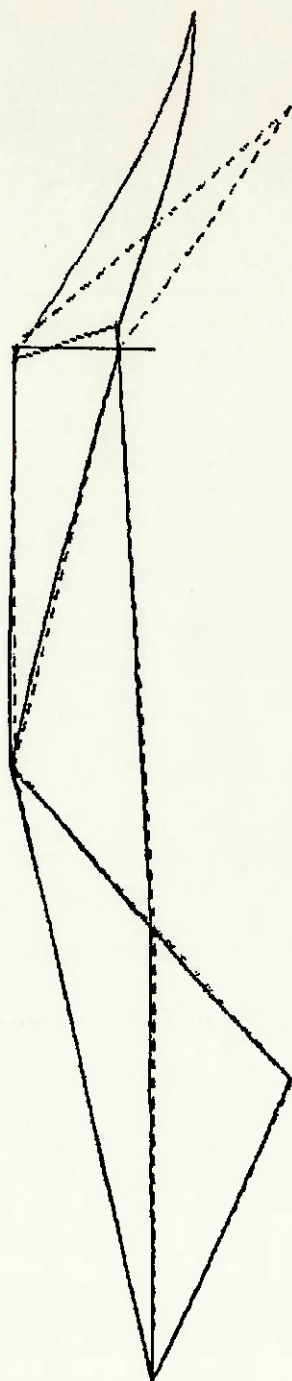
AT 240.00

FILE : vemax_3

OUTPUT : FRAME M33

LOAD : 1

SAP90

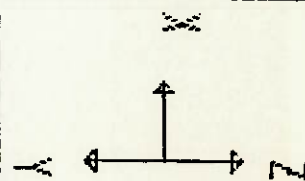


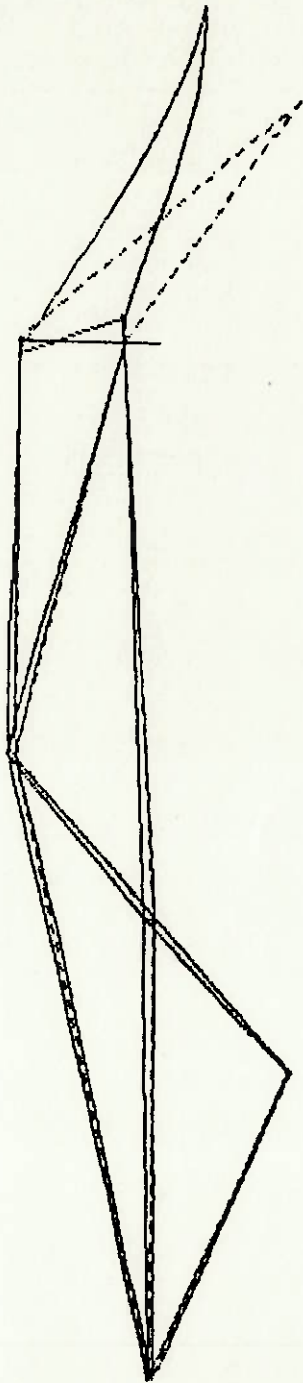
SAP90

FILE : vemax_3

DEFORMED SHAPE

LOAD : 1



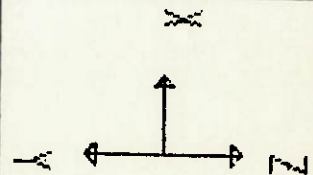


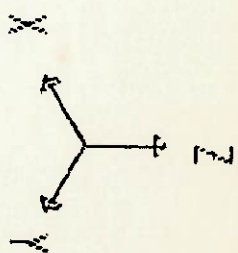
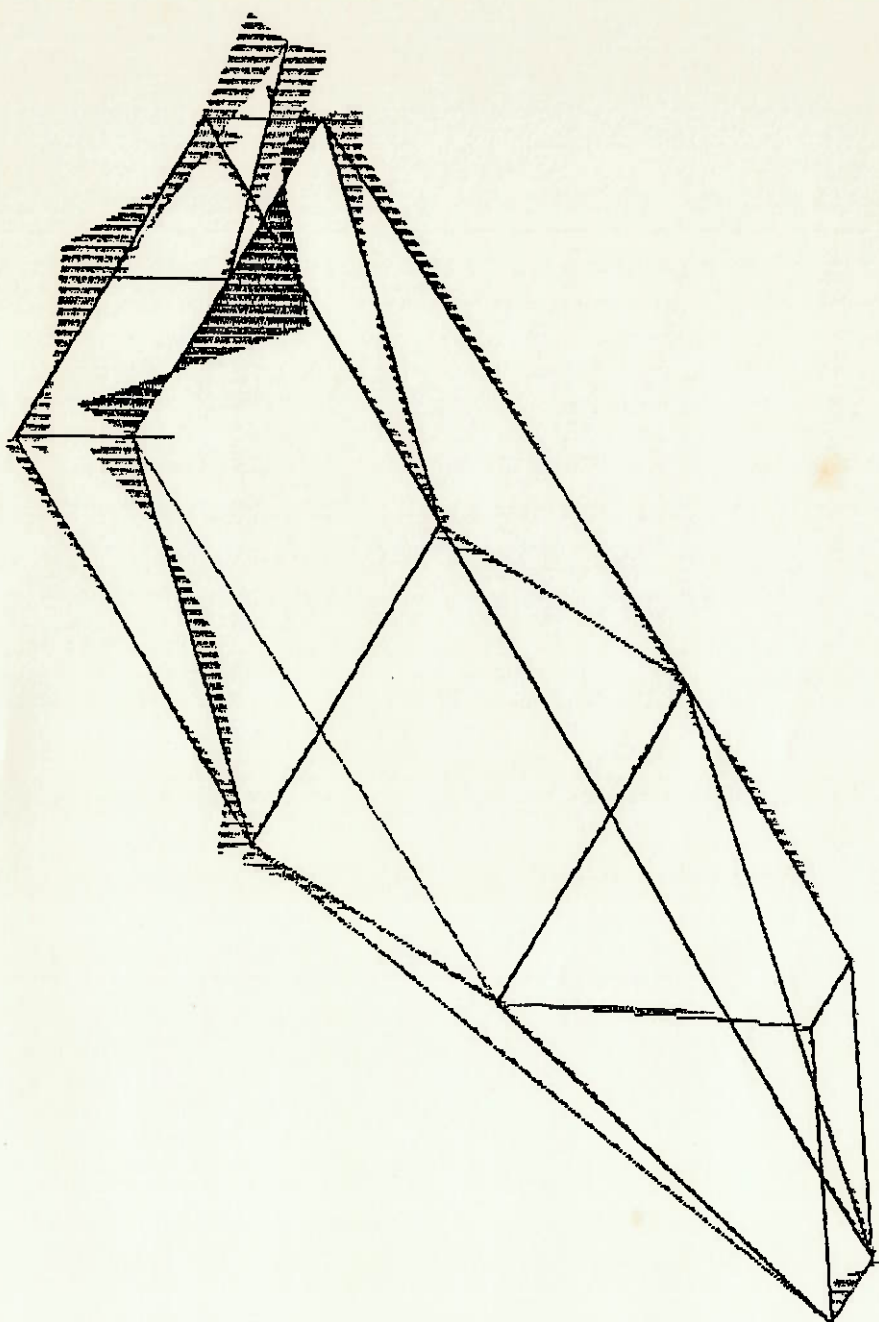
SAP90

FILE : vemax_4

DEFORMED SHAPE

LOAD : 1





ENVELOPES

MIN < 23>

-.2507E+05

AT 240.00

MAX < 22>

.3689E+05

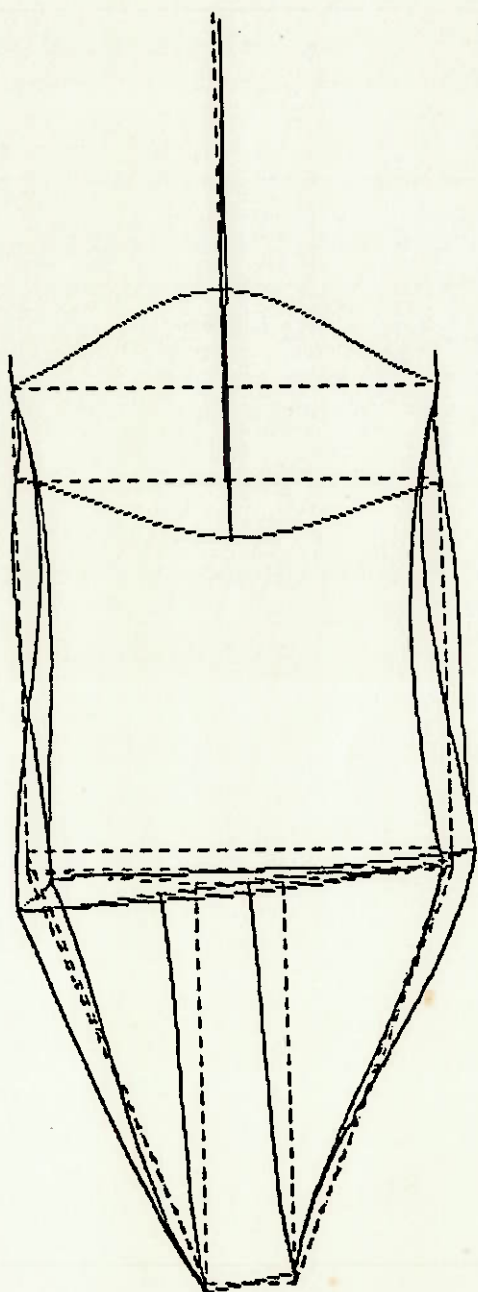
AT 240.00

FILE : vemax_4

OUTPUT : FRAME M33

LOAD : 1

SAP90

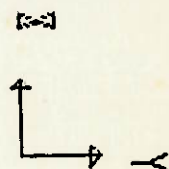


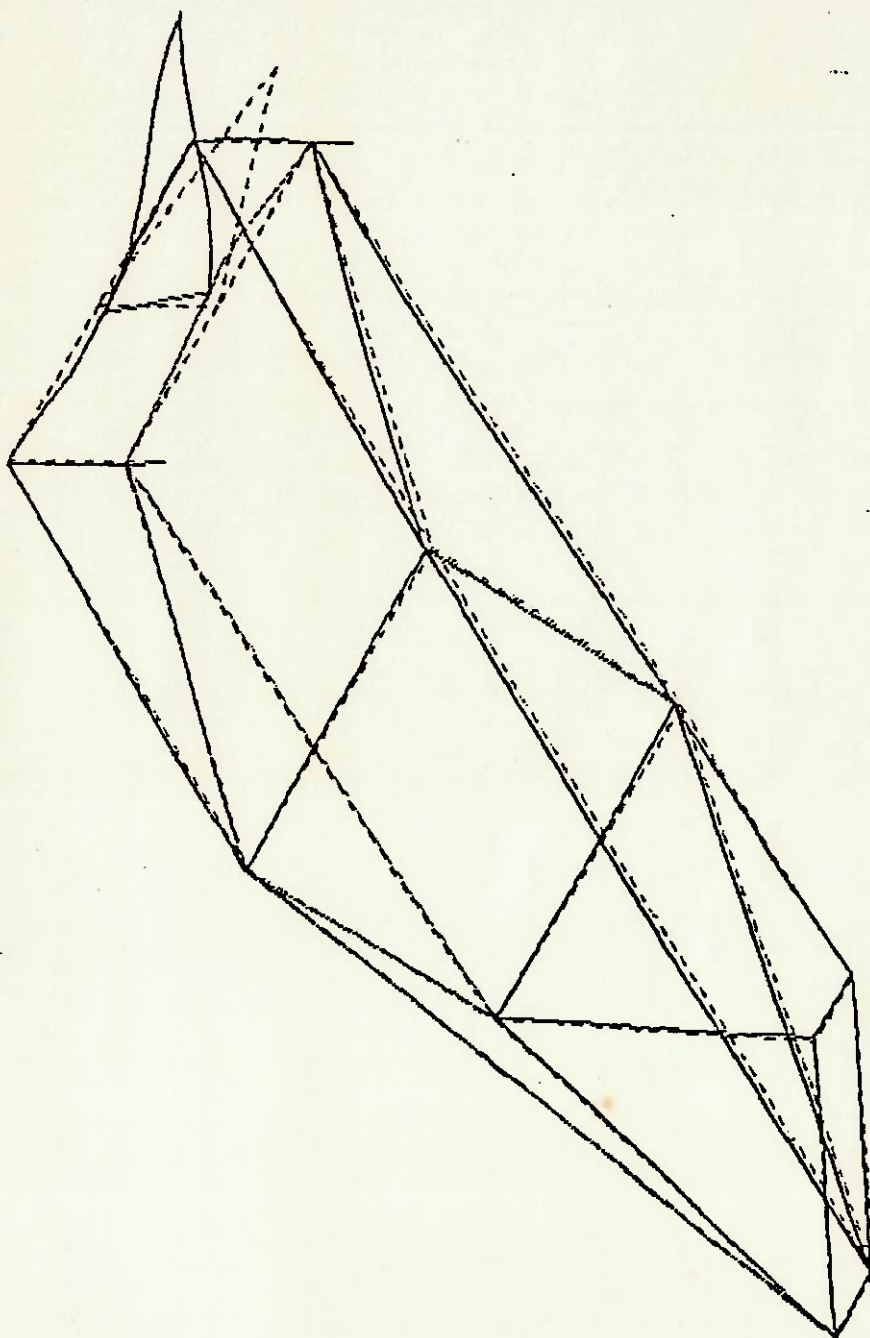
SAP90

FILE : vemax_4

DEFORMED SHAPE

LOAD : 1



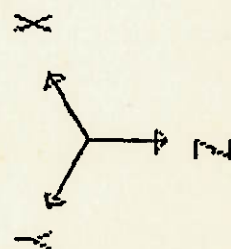


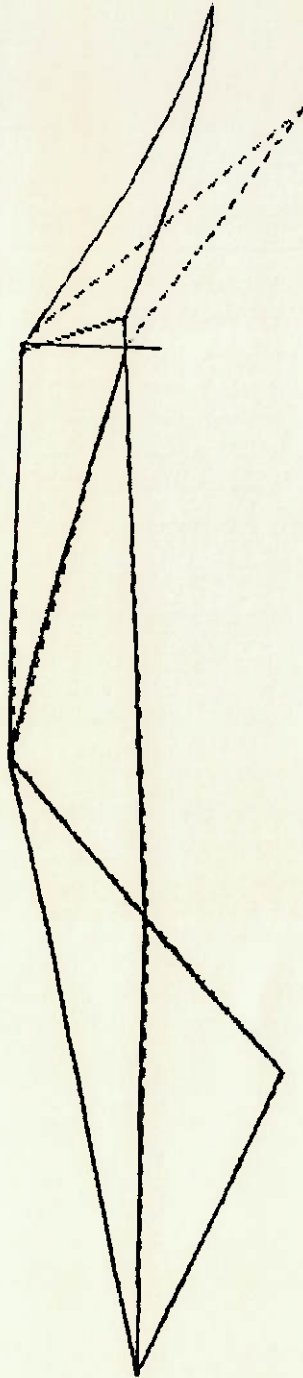
SAP90

FILE : vemax_4

DEFORMED SHAPE

LOAD : 1



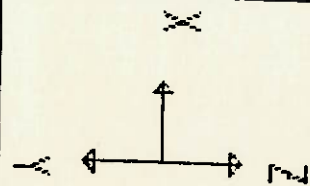


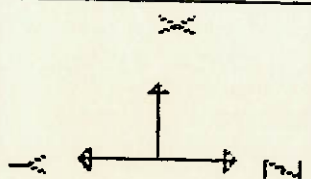
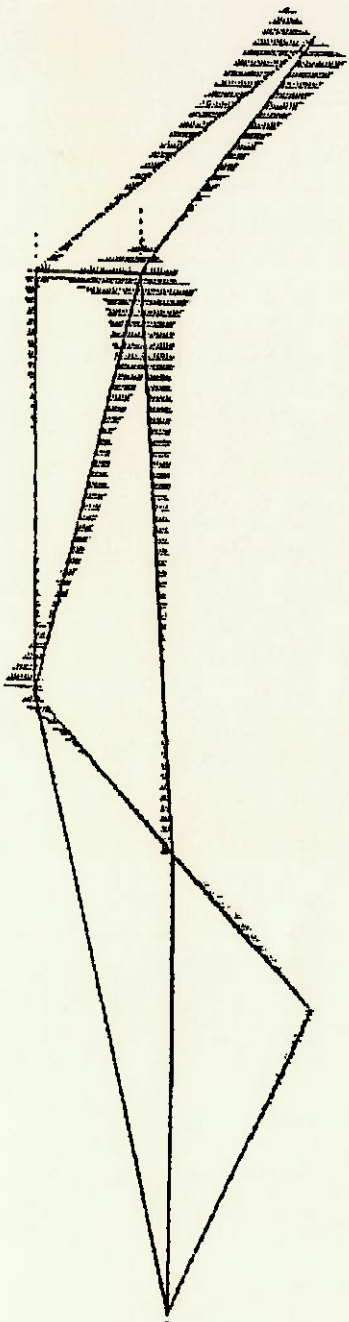
SAP90

FILE : vemax_5

DEFORMED SHAPE

LOAD : 1



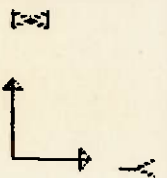
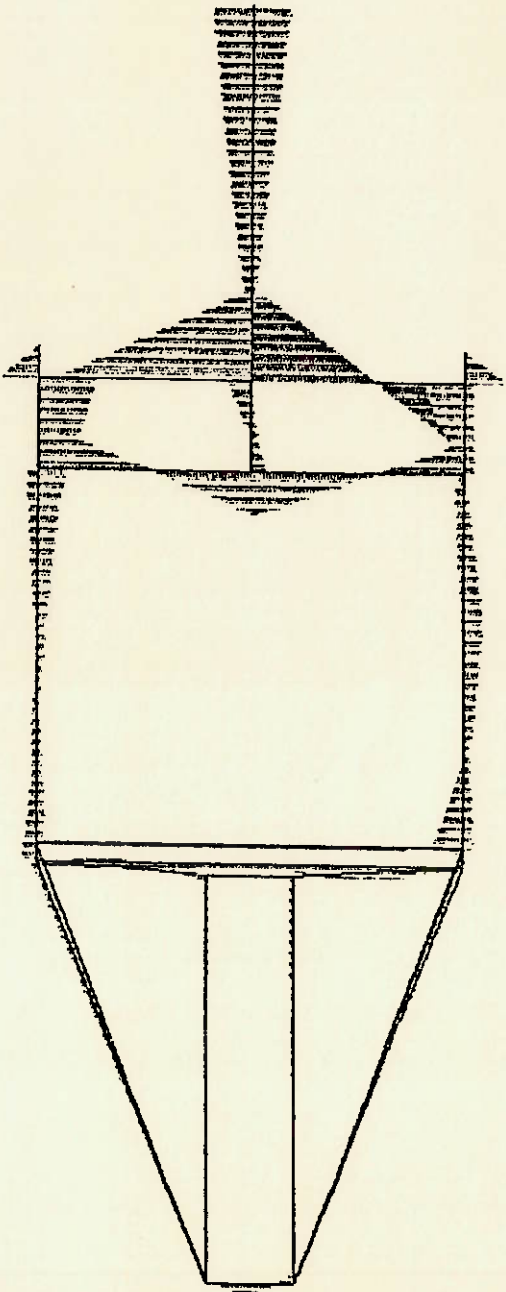


ENVELOPES

MIN < 23>
 AT -.3048E+05
 MAX < 23>
 AT .4161E+05
 AT .00

FILE : vemax_5
 OUTPUT : FRAME M33
 LOAD : 1

SAP90



ENVELOPES

MIN < 23>

-.3048E+05

AT 240.00

MAX < 23>

.4161E+05

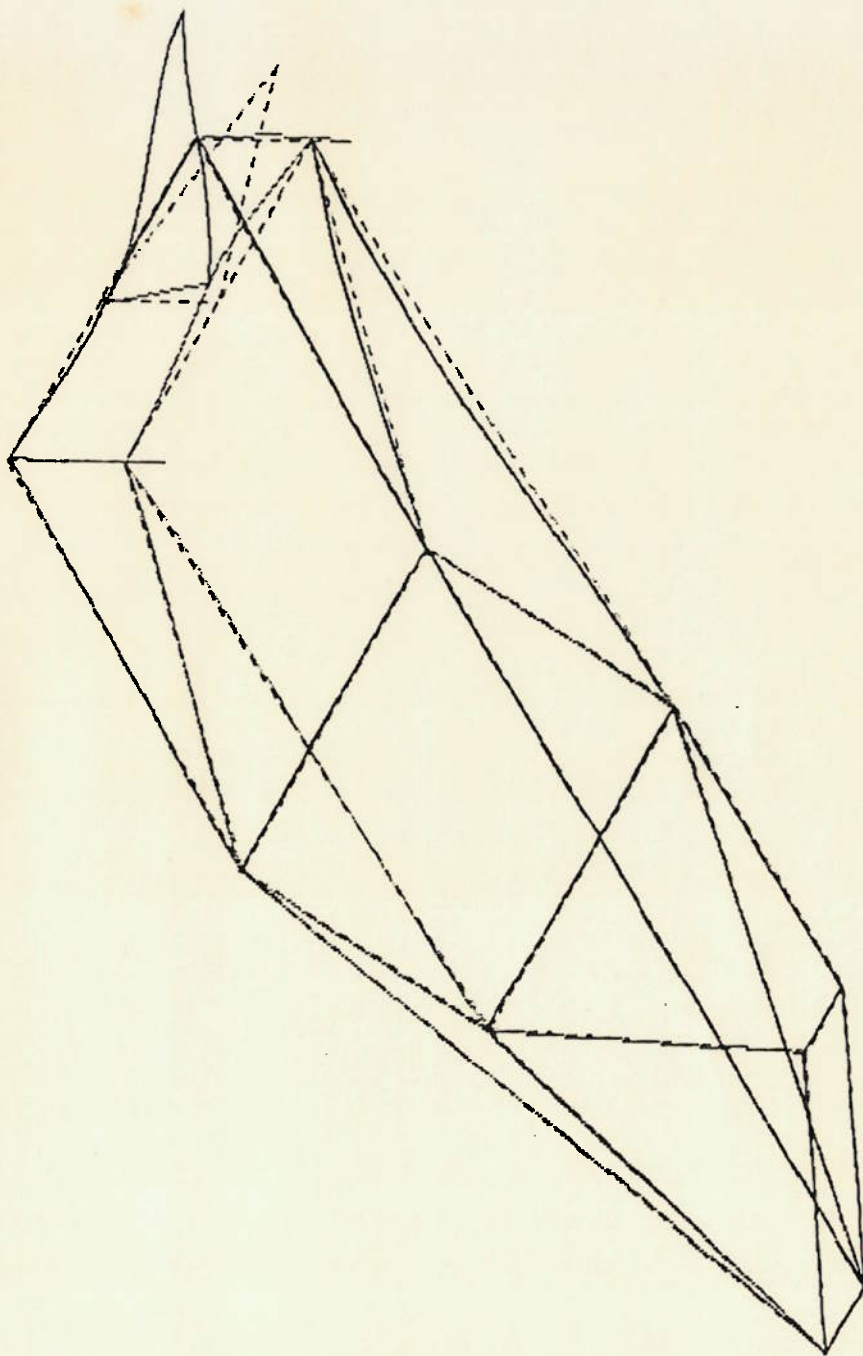
AT .00

FILE : vemax_5

OUTPUT : FRAME M33

LOAD : 1

SAP90

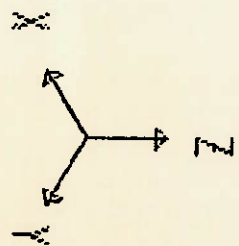


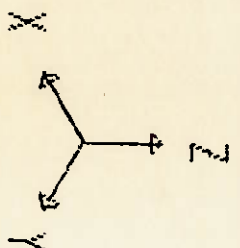
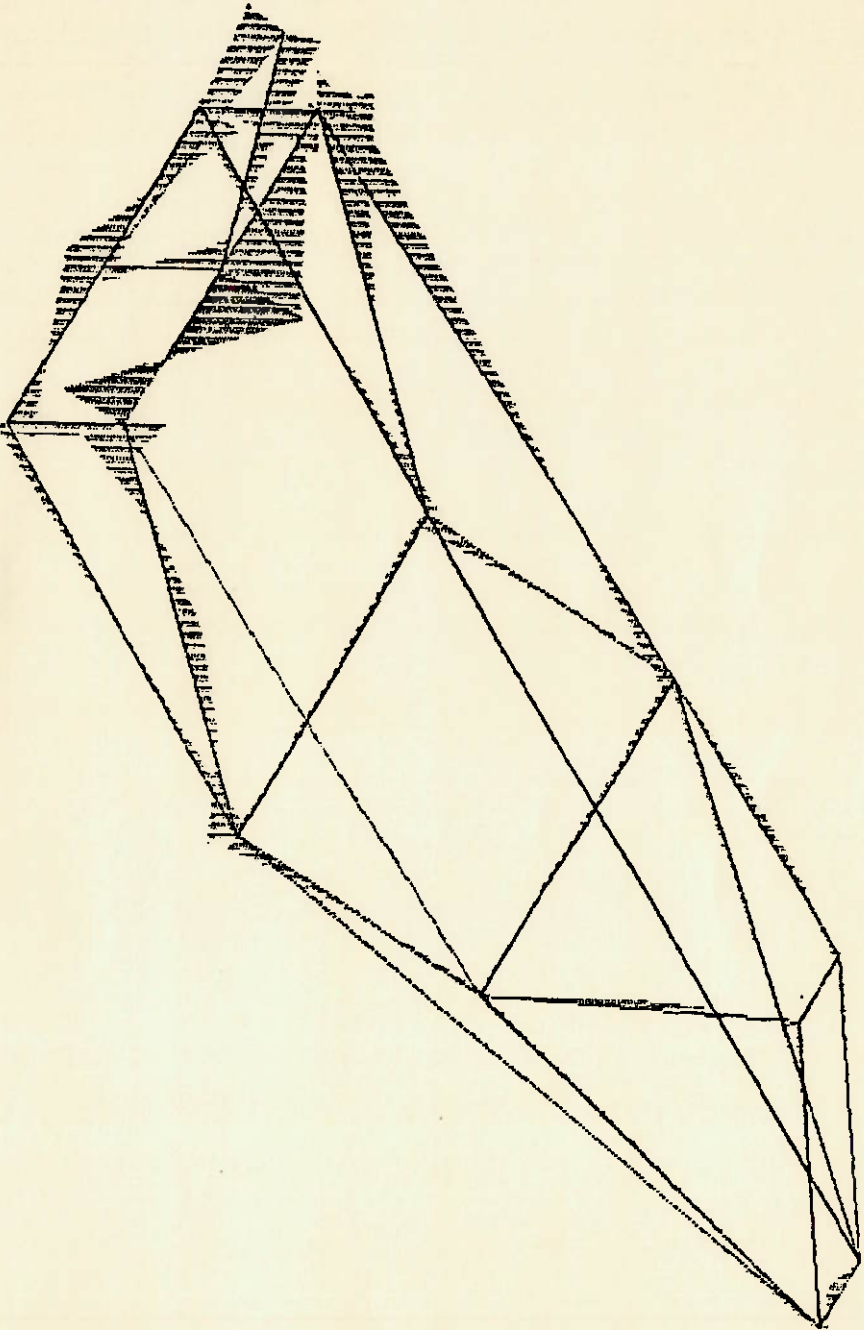
SAP90

FILE : vemax_5

DEFORMED SHAPE

LOAD : 1





ENVELOPES

MIN < 23>

-.3048E+05

AT 240.00

MAX < 23>

.4161E+05

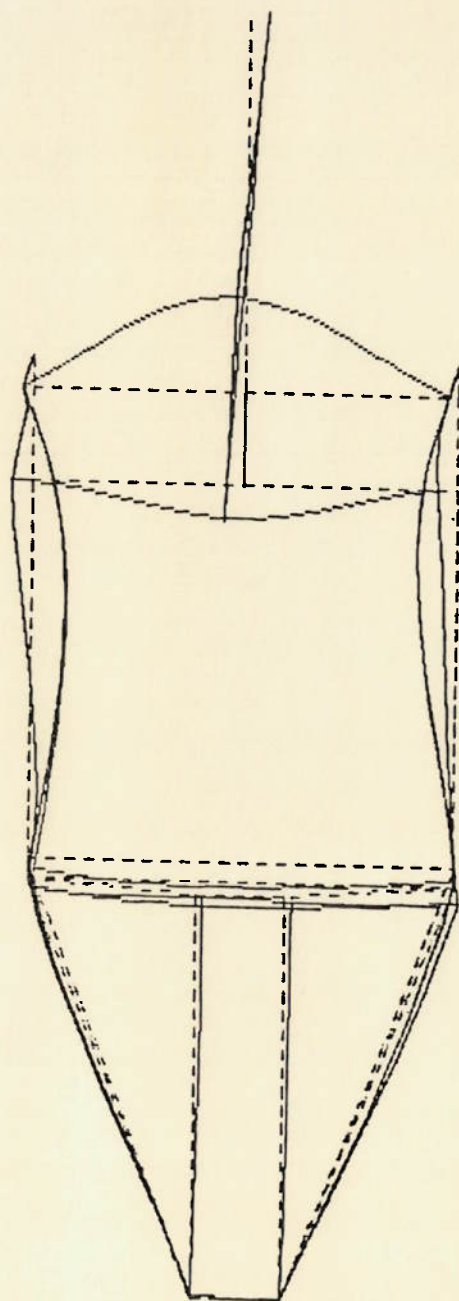
AT .00

FILE : vemax_5

OUTPUT : FRAME M33

LOAD : 1

SAP90

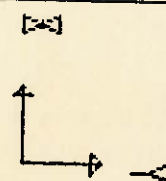


SAP90

FILE : vemax_5

DEFORMED SHAPE

LOAD : 1



LISTA DE PEÇAS

PESO TOTAL
17,27 kg

DENOMINAÇÃO	QUANT.	ESPECIFICAÇÃO	PESO(kg)
CHAPA	1	NB 1020 0,3mm x 0,0358 m ²	0,08
CHAPA	1	NB 1020 3,15mm x 0,0220 m ²	0,60
CHAPA	1	ALUMINIO 4mm x 0,0061 m ²	0,07
CHAPA	1	ALUMINIO 6mm x 0,0031 m ²	0,05
CHAPA	1	ALUMINIO 7mm x 0,0024 m ²	0,05
CHAPA	1	ALUMINIO 10mm x 0,0085 m ²	0,23
BARRA QUADRADA	1	NB 1020 12,7mm x 0,032 m	0,04
BARRA QUADRADA	1	NB 1020 31,75mm x 0,220 m	1,74
BORRACHA	1	Ø 22 mm x 0,020 m	0,01
BARRA REDONDA	1	NB 1020 Ø 8mm x 0,100 m	0,06
TUBO	1	NB 1020 Ø 8mm x 0,504 m	0,21
TUBO	1	ALUMINIO Ø 12,7 x 0,782 m	0,11
TUBO	1	ALUMINIO Ø 15,88mm x 2,32 m	0,46
TUBO	1	ALUM. AERON. Ø 22,22mm x 7,22 m	1,60
TUBO	1	ALUM. AERON. Ø 25,4mm x 0,610 m	0,15
TUBO	1	ALUM. AERON. Ø 38,1 mm x 1,024 m	0,85
TUBO	1	ALUM. AERON. Ø 38,10 mm x 2,47 m	2,33
TUBO	1	ALUM. AERON. Ø 25,4mm x 0,910 m	0,03
TUBO	1	ALUM AERON Ø 44,45mm x 1,24 m	0,67
SIST. DE MARCHAS	1		0,20
BARRA REDONDA	1	NB 1020 Ø 41,98mm x 0,02 m	0,21
BARR ROSCADA	1	NB 1020 M6 x 0,50 m	0,13
FREIO DE SAPATAS	1		0,20
CABO DE AÇO	1	Ø 1,58 mm x 1,7 m	0,13
ALAVANCA FREIO	1		0,08

DENOMINAÇÃO	QUANT.	ESPECIFICAÇÃO	DESD(kg)
ALAVANCA MARCHA	1		0,05
MANOPLA	1		0,09
RODA TRAZEIRA	1		1,00
RODA DIANTEIRA	2		1,60
CORRENTE ROLOS	1	081 12,7 x 4,70m	1,41
RODAS P/ CORRENTE	4	9 DENTES	0,28
PEDAL	1		1,20
RODA DENTADA	1	NB1020 $\phi 450 \times 3 \text{ mm}$	0,84
ASSENTO	1	MADEIRA COMPENS. 6,30mm x 0,11m	0,27
ENCOSTO	1	MADEIRA COMPENS. 3,15mm x 0,13m	0,17
PARAFUSO CAB SEXT	10	M6 x 65	
PARAFUSO CAB SEXT	12	M6 x 55	
PARAFUSO CAB SEXT	4	M6 x 55 ROSCA TOTAL	
PARAFUSO CAB. SEXT.	3	M6 x 30	
PARAFUSO CAB. SEXT.	1	M6 x 16	
PARAFUSO CAB. SEXT	2	M6 x 16	
PORCA. SEXT.	36	M6	
ARRUELA PRESSÃO	32	$\phi 6 \text{ mm}$	