

ROBERTO CAMPANELLI

SISTEMA MECÂNICO DE CARREGAMENTO  
DE FRUTAS CÍTRICAS EM POMARES

Dissertação apresentada à  
Escola Politécnica da USP  
para obtenção do Título  
de Mestre em Engenharia.

São Paulo, 1984

FD-520

À minha mãe e à memória  
de meu pai.

## A G R A D E C I M E N T O S

Ao Prof. Livre-Docente EDMUNDO KOELLE, pela orientação, apoio e confiança durante a elaboração desta dissertação.

Aos Professores Hélio Nanni e Nelson C. Gil de Oliveira pelas sugestões e sucessivas críticas ao desenvolvimento do projeto.

Ao Professor Dr. Célio S. Moreira, pelas críticas, informações e orientação relativas à fase de pesquisa desta dissertação.

Ao amigo Eng. Bart Laton, pela participação determinante na conclusão deste trabalho.

Ao Professor Alfredo Bernardini.

Ao Eng. Antônio Campanelli.

Ao Eng. Flávio P. Viégas.

Ao Dr. Evaldo V. Stum.

À Frutesp S/A. Agro Industrial.

## RESUMO

A determinação em se desenvolver um equipamento adequado à realidade da citricultura brasileira, para a mecanização do carregamento de frutas cítricas nos pomares das fazendas, surgiu em consequência da gradativa escassez de mão de obra para o carregamento manual.

A viabilidade econômica do equipamento e as constatações da pesquisa inicial, foram fatores determinantes nas decisões técnico-construtivas adotadas durante o seu desenvolvimento.

O sistema projetado, constitui-se de uma estrutura metálica horizontal articulada em dois mancais sobre uma estrutura vertical que é presa à carroceria de um caminhão ou carreta.

As caixas com 600 (seiscentos) quilos de fruta posicionadas embaixo do equipamento, são elevadas por um conjunto de cabos de aço e correntes do chão ao nível inferior da estrutura basculante. A seguir este conjunto gira em torno do eixo dos mancais, derrubando as frutas através de uma calha para dentro do veículo de transporte.

Ao término da queda das frutas, a caixa é devolvida ao solo, ficando o sistema disponível para outro ciclo.

## ABSTRACT

The need of developing an equipment in order to mechanize citrus fruits in the country farms, became from the lack of hand labor to make manual loading from crop to crop.

The equipment economical viability and initial research considerations, were determinant factors in the technical and constructive decisions taken during its development.

The system projected and designed is composed by a horizontal metal structure hinged in a vertical structure held on a truck or a tow truck frame and body.

The fruit boxes weighting 600 (six hundred) kilograms are placed underneath the equipment. Thereafter they are lifted by a system of steel cables and chains, from ground to the bottom level of a seesawing structure. The whole piece turns around its axis dropping the fruits in a gutter to inside the transport vehicle. After this operation the box is lowered back to its original position, and the system is ready to recycle.

ÍNDICE

	Pág.
Agradecimentos.....	I
Resumo.....	II
Abstract.....	III
Índice.....	IV
Notação e nomenclatura.....	VII
Lista de figuras.....	X
Lista de tabelas.....	XI
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos do Desenvolvimento do Projeto.....	2
CAPÍTULO 2 - COLHEITA E TRANSPORTE DAS FRUTAS CÍTRICAS...	4
2.1 Frutas Cítricas para Mercado Interno e para Exportação.....	4
2.2 Frutas Cítricas para Industrialização de Su- cos.....	5
2.3 Retirada das Frutas das Árvores.....	6
2.4 Transporte das Frutas das Árvores até os "Carreadores".....	7
2.5 Carregamento Manual dos Caminhões nos Pomares	8
2.6 Sistema de Armazenamento na Fazenda.....	9
2.7 Descarregamento dos Caminhões nas Indústrias.	10
CAPÍTULO 3 - SISTEMAS CONVENCIONAIS DE CARREGAMENTO MECÂNICO FABRICADOS NO BRASIL E NO EXTERIOR.....	11
3.1 Carregamento de Frutas para Transporte em Cai- xas "Paletizadas".....	11
3.1.1 Carregamento com empilhadeiras adaptadas a tratores.....	12

	Pág.
3.1.2 Carregamento com caminhões auto-guinchos...	13
3.1.3 Vantagens e desvantagens dos sistemas de - carregamento descritos nos itens 3.1.1 e - 3.1.2 .....	13
3.2 Carregamento de Frutas para Transporte à Gra- nel.....	16
3.2.1 Carregamento com empilhadeiras adaptadas a tratores .....	17
3.2.2 Carregamento com caminhões auto-guinchos...	18
3.2.3 Vantagens e desvantagens dos sistemas de - carregamento descritos nos itens 3.2.1 e 3.2.2 .....	18
 CAPÍTULO 4 - INTERFERÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DOS POMA- RES CÍTRICOS NOS SISTEMAS MECÂNICOS DE CAR- REGAMENTO .....	 20
4.1 Interferência dos Parâmetros Físicos dos So- los .....	20
4.2 Interferência do Espaçamento do Plantio e da Formação da Copa das Árvores .....	21
 CAPÍTULO 5 - DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA NÃO CONVENCIONAL DE CARREGAMENTO DE FRUTAS CÍTRICAS EM POMA- RES .....	 27
5.1 Projeto da Máquina .....	29
5.2 Casos de Carregamento Típico do Equipamento..	31
5.3 Sistema de Roldanas, Cabos de Aço, Correntes e Engrenagens.....	40
5.3.1 Seleção dos cabos de aço e roldanas.....	40
5.3.2 Seleção das correntes e engrenagens.....	41
5.4 Sistema Óleo-hidráulico .....	43
5.4.1 Dimensionamento e especificação dos pistões	43

	Pág.
5.4.2 Dimensionamento da bomba de engrenagem..	48
5.4.3 Análise das pressões nos casos de "carre- gamento típico".....	49
5.5 Estrutura Basculante.....	55
5.5.1 Dimensionamento da estrutura.....	55
5.5.2 Dimensionamento dos eixos.....	61
5.6 Estrutura Fixa.....	64
5.7 Suportes de Fixação da Máquina na Carroce- ria de Caminhões e Carretas.....	66
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO.....	71
Apêndices e anexos.....	73
Referências Bibliográficas.....	130
Desenho de conjunto do equipamento.....folha	01
Desenho da estrutura basculante.....folha	02
Desenho da estrutura fixa.....folha	03



## NOTAÇÃO E NOMENCLATURA

- $\sigma_{eq}$  - tensão equivalente  
 $\sigma_{m\acute{a}x}$  - tensão máxima  
 $A_1$  - rea axial  
 $A_1^*$  - rea axial do perfil composto  
 $A_2$  - rea que resiste às forças de cisalhamento na direção local 2  
 $A_3$  - rea que resiste às forças de cisalhamento na direção local 3  
 $A_{ce}$  - área da coroa do pistão de elevação  
 $A_{ct}$  - área da coroa do pistão de tombamento  
 $A_{te}$  - área total do pistão de elevação  
 $A_{tt}$  - área total do pistão de tombamento  
C.G. - centro de gravidade  
 $d$  - dimetro  
 $d_c$  - dimetro do cabo  
 $e$  - espessura  
 $f$  - distncia do centro de gravidade de cada elemento ao eixo local 2  
 $F_{ca}$  - força no cabo  
 $F_{co}$  - força na corrente  
 $F_{te}$  - força de traço no pistão de elevação  
 $h$  - altura  
 $I_2$  - momento de inércia em relação ao eixo local 2  
 $I_2^*$  - momento de inércia em relação ao eixo local 2 do perfil composto

- $I_3$  - momento de inércia em relação ao eixo local 3
- $I_3^*$  - momento de inércia em relação ao eixo local 3 do perfil composto
- $J$  - constante de rigidez torcional
- $J^*$  - constante de rigidez torcional do perfil composto
- $\ell$  - largura
- L C - linha de centro
- $M_i$  - momento em relação ao eixo i
- $p_{ce}$  - pressão na câmara menor do pistão de elevação
- $p_{ct}$  - pressão na câmara menor do pistão de tombamento
- $p_{tt}$  - pressão na câmara maior no tombamento
- $P_b$  - peso da estrutura basculante
- $P_c$  - peso da caixa
- $P_f$  - peso da fruta
- $P_{te}$  - pressão na câmara maior do pistão de elevação na elevação da carga
- $Q$  - vazão em volume
- $r$  - raio
- $r_{ca}$  - raio do tambor do cabo de aço
- $r_{co}$  - raio do tambor da corrente
- $r_g$  - raio de giração
- $R_i$  - força (na direção i)
- $s$  - coeficiente de segurança
- $t_d$  - tempo de descida
- $t_e$  - tempo de elevação
- $t_r$  - tempo de reversão do tombamento
- $t_t$  - tempo de tombamento

- $W_2$  - módulo de resistência à flexão em relação ao eixo local 2
- $W_2^*$  - módulo de resistência à flexão em relação ao eixo local 3
- $W_3^*$  - módulo de resistência à flexão em relação ao eixo local 3 do perfil composto
- $X_b$  - nó da estrutura basculante (desenho folha 2)
- $X_f$  - nó da estrutura fixa (desenho folha 3)
- $X_{Gb}$  - braço horizontal do momento do peso da estrutura basculante com relação ao ponto 22
- $X_{Gc}$  - braço horizontal do momento do peso da caixa com relação ao ponto 22
- $X_{Gf}$  - braço horizontal do momento do peso da fruta com relação ao ponto 22

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
1-5 - Esquema da seqüência operacional do carregamento mecanizado.....	28
1-5.2 - Carregamento 1 Elevação vertical da carga...	31
2-5.2 - Caso de Carregamento 2 .....	33
3-5.2 - Caso de Carregamento 3.....	34
4-5.2 - Projeções ortogonais da força de cabo no Caso de Carregamento 3.....	35
5-5.2 - Caso de Carregamento 4.....	36
6-5.2 - Caso de Carregamento 5.....	37
7-5.2 - Caso de Carregamento 6.....	39
8-5.2 - Carga na corrente no carregamento 6.....	42
1-5.4 - Esquema do sistema óleo-hidráulico.....	44
1-5.5 - Solicitação das roldanas externas .....	56
2-5.5 - Solicitação das roldanas internas.....	56
3-5.5 - Cálculo do ângulo $\alpha$ .....	57
4-5.5 - Solicitação dos tambores de enrolamento dos cabos.....	58
5-5.5 - Solicitação das guias do cabo.....	59
6-5.5 - Convenção de forças e momentos nas cargas dos elementos.....	61
7-5.5 - Solicitação dos eixos das roldanas superiores	61
8-5.5 - Solicitação das pontas de eixo dos mancais de tombamento.....	63
1-5.7 - Fixação da máquina ao caminhão.....	66
2-5.7 - Solicitação das vigas transversais.....	68
3-5.7 - Estrutura de reforço interno.....	69

## LISTA DE TABELAS

	Pag.
1-5.5 - Tensões atuantes nos modelos estruturais.....	73
2-5.5 - Tensões atuantes nos modelos estruturais.....	74
3-5.5 - Tensões atuantes nos modelos estruturais.....	75
4-5.5 - Tensões atuantes nos modelos estruturais.....	76
5-5.5 - Tensões atuantes nos modelos estruturais.....	77
6-5.5 - Tensões atuantes nos modelos estruturais.....	78
7-5.5 - Efeito dos perfis no C.G. da estrutura bascu- lante.....	79
8-5.5 - Efeito das roldanas no C.G. da estrutura bas- culante.....	80
9-5.5 - Efeito das chapas no C.G. da estrutura bascu- lante.....	80
10-5.5 - Composição do peso e C.G. da estrutura bascu- lante.....	80
11-5.5 - Efeito dos perfis da caixa no C.G. da estrutu <u>r</u> a basculante.....	81
12-5.5 - Efeito das chapas da caixa no C.G. da estrutu <u>r</u> a basculante.....	81
13-5.5 - Efeito da caixa no sub-conjunto basculante...	82
14-5.5 - Centros de gravidade para inicio e fim de tom <u>b</u> amento.....	82
15-5.5 - Forças atuantes nos nós da estrutura basculan <u>t</u> e.....	83
16-5.5 - Forças atuantes nos nós da estrutura basculan <u>t</u> e.....	84
17-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura basculante.	85
18-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura basculante.	86
19-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura basculante.	87

	Pag.
20-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura basculante.	88
21-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura basculante.	89
22-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura basculante.	90
23-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura basculante.	91
24-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura basculante.	92
25-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura basculante.	93
26-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura basculante.	94
27-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura basculante.	95
28-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura basculante.	96
29/30-5.5- Resultados do dimensionamento do eixo das roldanas.....	62
31-5.5 - Resultados do dimensionamento das pontas de eixo.....	63
32-5.5 - Tensões atuantes nos moldes estruturais.....	97
33-5.5 - Tensões atuantes nos moldes estruturais.....	98
34-5.5 - Tensões atuantes nos moldes estruturais.....	99
35-5.5 - Tensões atuantes nos moldes estruturais.....	100
36-5.5 - Composição de forças e momentos .....	101
37-5.5 - Forças e momentos atuantes nos nós da estrutura fixa.....	102
38-5.5 - Forças e momentos atuantes nos nós da estrutura fixa.....	103
39-5.5 - Forças e momentos atuantes nos nós da estrutura fixa.....	104
40-5.5 - Forças atuantes nos nós da estrutura fixa....	105
41-5.5 - Forças atuantes nos nós da estrutura fixa....	105
42-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura fixa.....	106
43-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura fixa.....	107
44-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura fixa.....	108

	Pag.
45-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura fixa.....	109
46-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura fixa.....	110
47-5.5 - Cargas nos elementos da estrutura fixa.....	111
1-5.7 - Cargas nos pontos inferiores de fixação.....	67

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A colheita de frutas cítricas emprega ainda em todo o mundo grande quantidade de mão de obra braçal. Nos países industrializados a concorrência com outras áreas industriais tem criado um déficit no potencial de mão-de-obra disponível para a colheita. Nestes países, entretanto, busca-se hoje mecanizar inclusive a retirada das frutas das árvores, uma vez que as demais participações do homem na colheita foram há algum tempo substituídas pela máquina.

No Brasil e em outros países em desenvolvimento, a mecanização das colheitas na citricultura continua sendo, em sua grande maioria, economicamente impraticável. Isto porque a disponibilidade de mão de obra nos mesmos, ainda é uma realidade, e seu custo inviabiliza praticamente todo e qualquer equipamento desenvolvido em países industrializados. Contudo, estudos da composição de custos da industrialização de frutas cítricas [1], têm evidenciado que uma parcela significativa do mesmo, é determinada pela colheita da fruta e seu transporte até o parque de processamento. Este fato, associado às reivindicações da mão-de-obra adequada à sua operação, como também o baixo rendimento e motivação da mesma, vem gradativamente despertando maior interesse pela mecanização. A operação de "carregamento dos caminhões de frutas nos pomares" destaca-se neste sentido, visto ser um trabalho altamente consumidor de energia. A viabilidade de "carregadores mecânicos", projetados para condições próprias de países industrialmente desenvolvidos e agora fabricados no Brasil, tem sido permanentemente questionada. Fatores de natureza sócio-econômicos, a metodologia das colheitas, as oscilações climáticas\* e as características físicas dos pomares, têm evidenciado a necessidade de se desenvolver equipamentos especialmente projetados para a realidade da citricultura brasileira.

\* Variação habitual dos tipos de tempo em dado local, no decorrer do ano: temperatura, pluviometria, umidade relativa, ventos e insolação.



### 1.1 - Objetivos do Desenvolvimento do Projeto.

A eficiência da produção de uma indústria de sucos, é em princípio otimizada com a chegada da fruta em seus terminais de descarga de maneira contínua.

A operação de carregamento convencional dos caminhões de frutas cítricas nos pomares, constitui-se porém em uma atividade demorada, que demanda um intenso esforço físico de carregadores com elevada capacidade muscular, pouco comum entre a mão de obra disponível. A ausência dos mesmos para o carregamento dos caminhões, fora do expediente normal de trabalho, além de concentrar a chegada da fruta na indústria, provocando espera no descarregamento de até 24 (vinte e quatro) horas, ocasiona descontinuidades indesejáveis no processo industrial em fins de semana e feriados prolongados\*.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um "sistema mecânico de carregamento de frutas cítricas em pomares", economicamente viável e compatível com as necessidades e objetivos dos citricultores e da indústria. O início do projeto foi precedido de um estudo das características físicas dos pomares\*\* e da metodologia convencional das colheitas, como também de uma pesquisa dos equipamentos de carregamento mecanizado, potencialmente utilizados na citricultura e de suas características operacionais. Com a utilização do sistema, está-se substituindo a mão de obra braçal exatamente no ponto crucial da colheita.

Ao se mecanizar o carregamento dos caminhões com este equipamento, pretende-se:

- aplicar a mão-de-obra privilegiada do carregamento para intensificar a colheita das frutas, cuja mecanização é extremamente difícil;

\* Informação verbal: Frutesp S/A.

\*\* Ver capítulo 4, pg.20

- eliminar o violento esforço físico solicitado dos carregadores;
- reduzir o custo de industrialização do suco, pela racionalização da mão de obra empregada atualmente no carregamento;
- reduzir o tempo de carregamento convencional de um caminhão;
- desvincular o horário de carregamento nos pomares, da jornada convencional de trabalho dos carregadores permitindo que um caminhão efetue maior número de viagens por dia (ver item 2.6);
- reduzir a descontinuidade diária de processamento da indústria\*;
- reduzir o tempo de espera para descarregamento, em decorrência da normalização da chegada e diminuição do congestionamento nos terminais de descarga\*;
- reduzir os riscos de parada da indústria por falta de frutas em feriados prolongados e fins de semana\*.

\* Sugestões de interesse da Frutesp S.A., conforme carta da Vice-Presidência DVP/011/82 de 11 de maio de 1982.

## CAPÍTULO 2 - COLHEITA E TRANSPORTE DAS FRUTAS CÍTRICAS

É grande o número de variedades cítricas comercialmente cultivadas nos diferentes países produtores. Destacam-se variedades de laranjas (Citrus simensis, Osbeck): "Lima", "Piralima", "Hamlin", "Baía", "Baianinha", "Pêra", "Natal", "Valência"; tangerinas (Citrus reticulata, Blanco): "Poncã", "Cravo", "Mexerica", "Dancy"; limões (Citrus limon, Burm.f.): "Eureca", "Siciliano", "Berna", "Lisboa" e limas (Citrus auratifolia, Swingle): principalmente "Galego" e "Taiti".[5]

Existe na prática uma separação entre essa gama de variedades, principalmente a nível de industrialização e comércio, em dois grandes grupos: frutas de "casca mole" (as da espécie Citrus reticulata, Blanco), e frutas de "casca dura" (constituídas pelas frutas das outras espécies citadas). Por frutas de "casca mole", entende-se aquelas variedades - que apresentam menor resistência à compressão e ao esmagamento, exigindo cuidados especiais na colheita, transporte e armazenamento. As frutas de "casca dura", em contraposição, são aquelas mais resistentes à compressão e ao esmagamento, as - quais permitem um manuseio menos cuidadoso\*.

O "sistema de carregamento" agora desenvolvido, presta-se à operação com frutas de "casca dura", que se destinam à industrialização e a mercados de consumo "in natura" menos exigentes e mais imediatos, onde os transportes são feitos à granel.

### 2.1 - Frutas Cítricas para Mercado Interno e para Exportação

Quando as frutas se destinam ao consumo "in natura", cuidados especiais devem ser tomados em seu manuseio, objetivando a manutenção da qualidade por um maior período de tempo. Sua colheita pode ocorrer simultaneamente com as frutas desti

\* Informação verbal: fornecida pelo Eng. Agr. Antonio Campanelli.

nadas à industrialização, sendo a seleção feita posteriormente na indústria, ou pode ser colhida especificamente para mercado, e neste caso a pré-seleção é feita na retirada das frutas das árvores. Em ambos os casos, as frutas não devem ser transportadas à granel. Quando se faz uso das caixas de colheita pequenas (30 kgf) para o transporte das frutas do pomar até o parque de seleção industrial, Packing House, ou diretamente para o mercado consumidor, o carregamento no pomar é manual e dada a montagem da carga, este é mais demorado.

Algumas empresas têm feito uso de caixas "paletizadas" com capacidade entre 400 kgf e 600 kgf, para o transporte das frutas dos pomares até os parques de processamento. O carregamento dos caminhões neste caso, exige o emprego de equipamentos mecânicos de elevação.

Em alguns parques de processamento, após a preparação das frutas para mercado, faz-se uso de sacos de fios plásticos para a embalagem das mesmas, sendo conseqüentemente a montagem da carga e o transporte posterior, quase um carregamento à granel.

## 2.2 - Frutas Cítricas para Industrialização de Sucos.

A maioria da produção de citros no Brasil (70% no mínimo) [1], destina-se no momento à produção de sucos. Estas frutas quando colhidas secas, resistem sem maiores conseqüências a uma espera de até 72 (setenta e duas) horas para o processamento. Quando colhidas em dias chuvosos, este tempo reduz-se a menos da metade. Observa-se que em média, o tempo de corrido entre a chegada das frutas à fábrica e seu processamento é de 20(vinte)horas\*.

Os cuidados com o transporte, porém são menores que para com as frutas destinadas ao consumo "in natura", sendo - as chamadas de "casca dura", transportadas à granel, permitin

\* Informação verbal: fornecida pelo Eng.Agr.Flávio C.P.Viegas.(Frutesp S/A)

do maiores impactos durante todo o seu manuseio. As frutas de "casca mole", mesmo quando destinadas à industrialização, devem ser transportadas em caixas preferencialmente de pequeno porte.

O "sistema de carregamento" agora desenvolvido destina-se à operação com frutas de "casca dura", tendo assim sua aplicação estendida ao maior segmento da citricultura brasileira.

### 2.3 - Retirada das Frutas das Árvores

A retirada das frutas das árvores na citricultura brasileira, até o presente momento, é totalmente manual. Nos Estados Unidos, têm sido feitas experiências com produtos químicos e equipamentos mecânicos, objetivando substituir o homem nesta operação, mas os resultados ainda são insatisfatórios.

Usualmente, as frutas após serem desprendidas\* das árvores, são colocadas em sacolas que o colhedor traz presa nos ombros (foto 1). Em alguns casos, contudo, o colhedor desprende as frutas das árvores e as solta em seguida, deixando-as cair ao chão, onde são posteriormente juntadas e acomodadas nas caixas. Para alcançar as frutas mais altas, o colhedor faz uso de uma escada de dois pés (foto 2), a qual é deslocada em torno das árvores, apoiando-se sobre as mesmas.

Equipamentos mecânicos com a finalidade de otimizar a participação do homem no ato de apanhar as frutas, têm sido utilizados no exterior, com efetivo aumento de eficiência. É o caso de se fazer uso de uma unidade motorizada que se desloca entre as árvores, de onde o colhedor comandando um sistema hidráulico, é levantado à altura desejada. As frutas colhidas, caem diretamente dentro das caixas, através de condutores fle

\* Colheita manual.

xíveis.

A maioria dos equipamentos de retirada mecânica das frutas das árvores, em fase experimental no exterior, deixam as frutas caírem ao solo. Posteriormente uma segunda máquina (foto 3), varre estas frutas para fora da área das copas das árvores, formando leiras contínuas. Uma terceira máquina (foto 4) encarrega-se de recolher as frutas destas leiras, separando-as das folhas e da terra a elas incorporadas na operação anterior. Neste processo, as frutas são elevadas por uma esteira a uma altura suficiente para caírem na caçamba de um caminhão, dotada de mecanismo hidráulico de elevação (foto 5), que acompanha de marcha-ré o trajeto desta máquina.

Estes conjuntos, ainda que quando aperfeiçoados, serão de difícil aplicação na citricultura brasileira, em decorrência não apenas de seu custo, mas em consequência da formação não planejada dos pomares, das irregularidades da maioria dos solos, e da maturação irregular das frutas, decorrente de estações climáticas indefinidas.

As frutas colhidas com estes equipamentos, destinam-se exclusivamente à industrialização, tendo ainda reduzido o tempo de espera para processamento suportado por frutas colhidas por processos convencionais.

#### 2.4 - Transporte das Frutas das Árvores até os "Carreadores"

As frutas contidas nas sacolas ou deixadas cair ao chão, são acomodadas em caixas de colheita colocadas junto às árvores ou já na linha dos "carreadores." O transporte das frutas das árvores até o "carreador" é feito pelo próprio colhedor, fazendo uso das sacolas ou das caixas. No caso de colheitas com carregamento mecanizado dos caminhões, as frutas são acomodadas em grandes caixas, com capacidade para até 600kgf, as quais são distribuídas estrategicamente dentro do pomar. Estas

caixas, quando não dispostas junto aos "carreadores", são transportadas até eles através de empilhadeiras, usualmente adaptadas nos braços do sistema hidráulico dos tratores, ou carregadas em caminhões de chassi curto, com o auxílio de um guincho montado sobre eles (foto 8).

No Brasil, o procedimento mais usual ainda é o transporte das frutas pelo próprio colhedor, fazendo uso das sacolas. Em países industrializados, a adaptação de guincho óleo-hidráulico aos caminhões, é a solução mais difundida.

#### 2.5 - Carregamento Manual dos Caminhões nos Pomares.

As frutas são acomodadas em caixas de aproximadamente 30 kgf, as quais são agrupadas em vários pontos ao longo dos "carreadores". O caminhão, inicialmente com as sobretampas laterais abertas, é posicionado junto a estas caixas. Dois ou três carregadores se responsabilizam pelas cargas, a qual até atingir o nível superior da tampa, é feita sem que as caixas sejam lançadas sobre o caminhão.

A partir do fechamento da primeira sobretampa, as caixas são arremessadas sobre o caminhão, havendo necessidade da permanência de um outro homem sobre a carga, usualmente o próprio motorista, para efetuar o esvaziamento da caixa e o lançamento desta de volta ao solo. A partir do fechamento da segunda sobretampa, os carregadores fazem uso de uma escada - improvisada das próprias caixas de colheita, para o lançamento das outras sobre a carga, ou são obrigados a atirá-las a uma altura ainda maior. Em alguns casos as laterais do caminhão não são abertas, e o carregamento desde o início é feito com o arremesso das caixas, o que o torna mais exaustivo.

## 2.6 - Sistema de Armazenamento na Fazenda

Em alguns pomares, o transporte das frutas até a indústria segue uma sistemática diferente .

As frutas no pomar são carregadas em uma carreta puxada por trator ou em um caminhão da própria fazenda. A seguir são levadas até um depósito localizado junto à estrada, normalmente fora do pomar. O piso deste depósito possui inclinação superior ao ângulo de atrito de rolamento da laranja sobre ele. É normalmente construído elevado com relação ao solo, possibilitando a passagem livre das carretas ou dos caminhões de transporte sob ele, ou aproveitando um declive de terreno acentuado, próximo ao pomar ou sede da fazenda. A transferência das frutas dos veículos que as retiram do pomar para serem depositadas em seu interior, é feita através de esteiras elevatórias com canecas, ou por descarga direta, nos casos dos silos que aproveitam o declive do terreno\*. O carregamento das carretas ou dos caminhões de transporte, é usualmente feito por gravidade, pela simples abertura da comporta do silo. A utilização destes silos permite o carregamento durante as 24 horas do dia, em dependência única do motorista do caminhão e de um auxiliar para o comando da comporta.

O emprego do silo ainda isenta os pomares do perigo de contágio de pragas e doenças, disseminadas através dos caminhões que circulam indistintamente, nem sempre recebendo a adequada pulverização, entre propriedades diversas.

Empresas de grande porte têm construído estes silos junto às rodovias, em pontos estratégicos de sua área de ação, constituindo postos intermediários de transporte. As frutas chegam até eles nos mais variados tipos de veículos, porém, a partir destes, são carregadas automaticamente em carretas ou em caminhões de grande capacidade, racionalizando assim o custo do frete.

\* Alguns silos fazem uso de esteiras para elevarem as frutas do depósito para dentro das carrocerias dos veículos de transporte.



## 2.7 - Descarregamento dos Caminhões

Quando as frutas se destinam a consumo "in natura", seu transporte para a indústria deveria ser em caixas, uma vez que à granel sua qualidade é prejudicada. Nos casos em que se utilizam das próprias caixas de colheita para o transporte, e que consiste ainda no procedimento mais comum, a retirada das mesmas do caminhão é manual. Em seguida, é frequente utilizar-se de esteiras para o transporte até o início do beneficiamento das frutas. Quando o transporte é feito em grandes caixas, o descarregamento exige o emprego de empilhadeiras ou guinchos, sendo o tombamento da caixa também mecanizado.

A grande porcentagem das frutas produzidas no Brasil, são porém destinadas à industrialização [1]. Seu transporte, excetuando as frutas de "casca mole", é à granel, e o descarregamento na indústria é feito através de rampas elevatórias. Os caminhões são posicionados em cima de plataformas equipadas com pistão hidráulico, o qual tem capacidade de elevar a frente do caminhão a uma altura suficiente para superar o ângulo de rolamento das frutas, sobre a carroceria. A tampa traseira do caminhão é aberta junto ao nível do piso, e as frutas são deixadas cair sobre esteiras transportadoras. Neste caso, os impactos sofridos pelas frutas não comprometem a qualidade do suco, desde que processadas em tempo adequado (ver item 2.2.).

### CAPÍTULO 3 - SISTEMAS CONVENCIONAIS DE CARREGAMENTO MECÂNICO FABRICADOS NO BRASIL E NO EXTERIOR.

Observando-se a colheita das frutas na citricultura de países desenvolvidos, nota-se que não apenas o índice de mecanização é bem mais elevado, como também a metodologia operacional é bastante diferente da praticada no Brasil. O elevado custo da mão-de-obra nestes países, torna viável, economicamente, projetos até mesmo pouco elaborados. Com custos de derivados de petróleo inferiores e uma indústria de máquinas própria, estes países desenvolveram alguns equipamentos óleo-hidráulicos de carregamento de caminhões, cujo custo de implantação no Brasil seria, no momento, impraticável (foto 5). A racionalização da participação do homem no trabalho braçal é, contudo, uma constante em todos eles. Alguns equipamentos mais simples, naturalmente com menor nível de automação, têm se tornado competitivo e, hoje, encontram-se implantados em várias propriedades e complexos industriais citrícolas brasileiros.

#### 3.1 - Carregamento de Frutas para Transporte em Caixas "Paletizadas".

Este sistema opera com caixas de grande porte, cuja capacidade varia entre 400 kgf e 600 kgf de frutas. Seu emprego, conforme item 2.1., pressupõe que as frutas serão consumidas "in natura" ou que se está manuseando frutas de "casca mole". Nestes casos o transporte dos pomares para os parques de processamento é feito em caminhões ou carretas especiais, desprovidos das laterais das carrocerias. O carregamento dos mesmos, dado o peso unitário de cada caixa, exige equipamento mecânico de elevação. Quando o transporte é feito em

carretas com roletes, as caixas que acondicionam as frutas permanecem sobre elas durante o carregamento. Ao chegarem no parque de processamento, sua descarga é feita por elevação da frente da carreta com um sistema basculante. Nos demais casos, o descarregamento é feito com outra empilhadeira, ou por um sistema de guinchos. Para o esvaziamento destas caixas, é usual utilizar-se de um equipamento denominado "virador".

### 3.1.1 - Carregamento com empilhadeiras adaptadas a tratores.

Nos Estados Unidos a adaptação mais freqüente é feita na frente destas máquinas, com braços comandados hidráulicamente, operando em semelhança às pás-carregadeiras (foto 6). O contrabalanceamento da elevação da carga é feito por uma caixa de frutas montada sobre os braços do sistema hidráulico dos tratores. A sobrecarga na rodagem dianteira exige ainda que os eixos e mancais sejam reforçados e a direção, quando não original, seja transformada para acionamento hidráulico.

A adaptação da empilhadeira na traseira do trator (foto 7), é mecanicamente mais simples e não exige as alterações anteriormente descritas. Esta solução, talvez por ser a que envolva o menor investimento de capital, tornou-se a mais utilizada dentro da citricultura brasileira. Independentemente da adaptação, a metodologia operacional consiste na distribuição das caixas vazias estrategicamente dentro do pomar. Também com o auxílio da mesma empilhadeira, à medida que as caixas vão sendo cheias de frutas, quando já não estiverem juntas à linha do "carreador", são para estas transportadas antes da chegada do caminhão ou da carreta no pomar.

A irregularidade do solo dos pomares no Brasil, dificulta a entrada dos garfos desta empilhadeira sob as caixas, exigindo a adaptação de um outro pistão hidráulico no equipamento, que o faça inclinar em um plano transversal com relação à traseira do trator, o qual facilita também a colocação da caixa sobre o caminhão.

### 3.1.2 - Carregamento com caminhões auto-guinchos.

Esta solução emprega normalmente um caminhão de chassi curto (foto 8), sem as tampas laterais da carroceria, cuja cabine é total ou parcialmente removida. Entre ela e o piso da carroceria, é montado um guincho óleo-hidráulico equipado com uma garra especial. Esta garra, acionada por comandos posicionados junto ao banco do motorista, é capaz de elevar a caixa carregada e depositá-la convenientemente sobre o caminhão. Assim, este veículo pode distribuir as caixas vazias pelo pomar, auto-carregar-se posteriormente de caixas cheias e auto-descarregar-se no parque de processamento, ou mediante a transferência de sua carga para outra unidade de transporte a longa distância, mais eficiente.

### 3.1.3 - Vantagens e desvantagens dos sistemas de carregamento descritos nos itens 3.1.1 e 3.1.2.

A listagem das características a seguir, decorreu de entrevistas com proprietários de equipamentos brasileiros e com engenheiros e técnicos que visitaram pomares da Flórida, nos Estados Unidos, com os demais equipamentos em operação.

Deve-se destacar que o "sistema de carregamento" desenvolvido neste trabalho, está igualmente sujeito a vários dos itens listados e ainda a tantos outros que serão identificados durante sua operação. A análise destas informações devem ponderar sempre o custo crescente e a escassez de mão-de-obra, como ainda algumas imposições específicas de mercado, como a necessidade de frutas não amassadas para consumo "in natura", e interesses particulares de cada empresa.

Vantagens dos sistemas:

- 1) reduz-se o tempo médio de carregamento convencional dos caminhões ou carretas;
- 2) libera-se o homem de um trabalho grande consumidor de energia;
- 3) elimina-se o uso das caixas plásticas de colheita com capacidade para 30 kgf, substituindo-as pelas de grande porte (400 kgf a 600 kgf de frutas), com menor investimento de capital e vida média igual ou superior;
- 4) com a distribuição adequada das grandes caixas dentro do pomar, o colhedor não mais se desloca obrigatoriamente com as frutas até o "carreador", mas sim até a caixa mais próxima, aumentando assim sua eficiência;
- 5) fora do período de carregamento, a distribuição das caixas pode ser feita pelos próprios guinchos ou empilhadeiras;
- 6) em curtas distâncias o caminhão auto-guincho pode levar as frutas do pomar diretamente para o parque de processamento, ou para um depósito de frutas dentro da própria fazenda;
- 7) as frutas não sendo amassadas no carregamento e no transporte, chegam com qualidade superior ao mercado, o que não apenas favorece o consumidor, como também aumenta sua resistência para a comercialização e contribui para o desenvolvimento do consumo de frutas cítricas.

Desvantagens do sistema:

- 1) custo elevado dos equipamentos mecânicos de carregamento;
- 2) elevado consumo de combustível, face à desproporção entre a potência necessária para o carregamento e a disponível no trator ou caminhão, como ainda em consequência do elevado peso próprio dos conjuntos;
- 3) emprego de um trator ou de um caminhão para o carregamento, com ocupação reduzida da jornada de trabalho;
- 4) manutenção de um tratorista ou motorista exclusivamente para esta finalidade, uma vez que estes não trabalham como colhedor no restante do tempo;
- 5) as condições de espaçamento do plantio e de fechamento - das copas das árvores interferem decisivamente no uso destes equipamentos;
- 6) para que a distribuição das caixas vazias, interrompidas durante o carregamento, não prejudique os colhedores, faz-se necessária a utilização de outro trator ou um maior número de caixas, onerando o custo da colheita;
- 7) o carregamento fora do expediente, continua dependendo de empregado qualificado, que não o motorista de caminhão de transporte;
- 8) a operação com a empilhadeira adaptada no trator é prejudicada pelas irregularidades do solo, quando os garfos são posicionados para apanhar as caixas e durante a colocação das mesmas sobre os caminhões;
- 9) a operação do trator, no caso específico da montagem da empilhadeira na traseira do mesmo (foto 7), obriga seu operador a trabalhar olhando para trás. A dificuldade de controle aumenta assim sensivelmente e o choque da empilhadeira com a lateral do caminhão é um risco permanente;

- 10) a dificuldade de transporte do trator com a empilhadeira, entre pomares distantes, reduz a versatilidade de deslocamento das turmas de colheita;
- 11) em função das alterações feitas nos caminhões de transporte, estes não mais se prestam a outro tipo de utilização.

### 3.2 - Carregamento de Frutas para Transporte à Granel.

Enquanto no Brasil, o transporte à granel de frutas do pomar diretamente para a indústria, é em sua quase totalidade feito por caminhões com capacidade máxima em torno de 17.000 kgf, nos Estados Unidos por exemplo, são utilizadas carretas de maior capacidade, rebocadas por cavalos mecânicos. Esta prática, a princípio pouco viável na citricultura brasileira, em consequência da precariedade das estradas nas fazendas, otimiza o uso do cavalo mecânico e o tempo de trabalho do motorista, os quais não ficam aguardando o carregamento nos pomares e o descarregamento nas indústrias. Uma solução alternativa é a descrita no item 2.6., com o armazenamento intermediário das frutas em silos.

Algumas empresas têm feito uso de um sistema de transporte que emprega caminhões com grandes caçambas em substituição à carroceria convencional, as quais podem ser removidas de cima das longarinas, ou sobre elas ser posicionadas com o auxílio de um guincho de arrasto, montado sobre o próprio caminhão. Estas operações, com a caçamba cheia ou vazia, podem ocorrer nos pomares ou nos parques das indústrias. Desta forma, o cavalo mecânico fica disponível para trafegar continuamente. O investimento inicial desta solução é elevado, não se prestando a outro tipo de transporte que não à granel.

Nos casos em que os caminhões ou carretas retiram as frutas do interior do próprio pomar, sua colheita e carregamento, em semelhança ao transporte "paletizado" (item 3.1), faz uso de caixas de grande porte, cuja capacidade varia entre 400 kgf e 600 kgf de frutas. O carregamento destes veículos, exige conseqüentemente um equipamento mecânico de elevação, os quais com diferenças pouco expressivas, são os mesmos destinados ao carregamento "paletizado".

### 3.2.1 - Carregamento com empilhadeiras adaptadas a tratores.

A adaptação mecânica é a mesma descrita no item 3.1.1. Porém, dado que o transporte é à granel, as caixas são utilizadas apenas como indicadores da quantidade de frutas colhida e como veículo de carga. Para tanto, uma de suas laterais é dotada de dobradiças que permitem a abertura por onde as frutas serão descarregadas (foto 7).

À medida que estas caixas vão sendo cheias, a empilhadeira transporta aquelas inicialmente posicionadas longe dos "carreadores", para locais mais convenientes de carga. Por ocasião do carregamento, as empilhadeiras levantam estas caixas até a altura das tampas ou sobre-tampas do caminhão e em seguida aproxima-se mais deste, posicionado a frente basculante da caixa junto ao plano de simetria longitudinal da carroceria. Uma alavanca comandada pelo tratorista, inclina esta frente da caixa para baixo. Um homem postado em cima da carga é responsável pela abertura da lateral desta caixa, em conseqüência do que, todas as frutas ali contidas caem por gravidade para dentro da carroceria. A caixa é abandonada neste local enquanto o caminhão se posiciona para outro ciclo.



Quando o ritmo da colheita é intenso e a redistribuição das caixas no pomar não pode aguardar o término do carregamento, faz-se uso de um outro trator com adaptação de garfos de empilhadeiras mais longos, os quais têm capacidade para transportar até três destas caixas vazias.

### 3.2.2 - Carregamento com caminhões auto-guinchos.

A montagem do guincho no caminhão é idêntica à descrita no item 3.1.2. (foto 5). A garra de elevação das caixas é dotada de mais um movimento, o qual permite bascular as caixas de um ângulo suficiente para o total descarregamento das frutas sobre a carroceria do caminhão. Esta carroceria em contraposição ao sistema de transporte "paletizado", não apenas permanece completa sobre o chassi, como também recebe adaptação de um sistema hidráulico. Através deste mecanismo, esta carroceria quando cheia, pode ser elevada acima do nível de outros caminhões ou carretas de grande porte e sobre eles bascular sua carga.

Esta solução é a mais usada na Flórida, nos Estados Unidos, dado que a topografia plana dos solos locais e estradas adequadas, permitem o tráfego de carretas de grande tonelage, cujo emprego racionaliza o transporte pelo melhor aproveitamento do cavalo mecânico.

### 3.2.3 - Vantagens e desvantagens dos sistemas de carregamento descritos nos itens 3.2.1 e 3.2.2.

Permanecem válidas as vantagens de 1 a 5 descritas no item 3.1.3. . A elas acrescenta-se ainda que:

- 1) a segunda subretampa do caminhão pode ser mais alta, evitando-se a necessidade de montagem da leira sobre a carga, para que se explore a máxima capacidade de transporte do caminhão. Este fato elimina a perda de frutas que caem durante esta operação e por ocasião da cobertura e da retirada da lona utilizada no transporte.

As desvantagens dos sistemas, são as mesmas descritas de 1 a 10 no item 3.1.3., acrescentando-se no caso das empilhadeiras adaptadas a tratores que:

- 1) existe a necessidade da permanência de um operário sobre a carga, com a única finalidade de abrir a lateral da caixa de laranjas;
- 2) a abertura dos pontos de trava da lateral da caixa na operação citada acima, não é simultânea. Esta lateral sofre uma deformação torsional, dada a pressão aplicada pelas frutas ser resistida instantaneamente em apenas uma de suas extremidades inferiores. Esta torsão reduz a vida da caixa, pelo aparecimento de trincas e ruptura das dobradiças.

#### CAPÍTULO 4 - INTERFERÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DOS POMARES CÍTRICOS NOS SISTEMAS MECÂNICOS DE CARREGAMENTO.

Os citros, graças à utilização dos porta enxertos, têm um grande poder de adaptação aos mais diferentes tipos de solos.

Existem culturas cítricas instaladas desde solos argilosos, ou seja, aqueles "mais pesados", até em solos arenosos, chamados "mais leves"\*. [6]

Desde que exista boa drenagem, as plantas cítricas desenvolvem-se bem nesses solos, quando a elas são fornecidas adubações e irrigação adequadas. O tamanho das árvores é bastante influenciado por essas variações: porta-enxerto, variedade, copa, adubação e irrigação\*.

##### 4.1 - Interferência dos Parâmetros Físicos dos Solos.

A grande extensão e variedade de solos da citricultura brasileira, assim como um clima de estações não muito bem caracterizadas, exigem de um equipamento de mecanização da colheita, a capacidade de adaptar-se a solos com características físicas bastante diferentes, dado que esta colheita estende-se por, pelo menos, 8 (oito) meses do ano, inclusive em dias chuvosos. Assim, a capacidade de aderência e sustentação do solo, em função também do teor de umidade do mesmo, interfere de forma decisiva no sistema de tração ou rolamento de um equipamento com esta finalidade. Em solos argilosos, a capacidade de aderência diminui com o aumento da umidade, tornando-se escorregadios e dificultando o deslocamento sobre os mesmos. Em solos arenosos, ao contrário, este deslocamento é favorecido pela umidade. Solos extremamente arenosos,

\* Informação verbal: fornecida pelo Eng.Agr. Antonio Campanelli

quando secos, apresentam sérias dificuldades ao deslocamento de máquinas, em consequência da perda da capacidade de sustentação\*.

Os solos dos pomares cítricos no Brasil, apresentam ainda declividades muito variadas. Pomares em solos de topografia pouco inclinada, desde que bem drenados, são mais vantajosos, quando não apresentam problemas de erosão, facilitando o trabalho e o deslocamento de máquinas e equipamentos sobre o mesmo. Em decorrência ainda do cultivo mecanizado, o solo de muitos pomares, fora das linhas dos carregadores, são menos compactos e apresentam pequenas irregularidades que dificultam o rolamento, a sustentação e a tração de veículos não equipados com pneus adequados.

#### 4.2 - Interferência do Espaçamento de Plantio e da Formação da Copa das Árvores.

Entende-se por espaçamento de plantio, as distâncias entre plantas dentro dos pomares. Estas distâncias são muito variáveis, pois além de depender do solo com suas propriedades físico-químicas, sua dependência se estende ainda aos porta-enxertos, variedades cítricas e outros fatores determinantes, inclusive à imposição da vontade pessoal de cada citricultor\*.

A formação da copa das árvores, que normalmente pode variar de 2m a 6m de diâmetro, depende fundamentalmente do tipo do solo, espaçamento, fertilidade, porta-enxerto, variedade, tratamentos culturais, idade e sanidade dos pomares.

A mecanização do carregamento das frutas em pomares não planejados para esta operação, é impraticável, pela impossibilidade de caminhões e outros equipamentos movimentarem-se entre as árvores. O cultivo mecanizado tem disciplinado, em termos gerais, o espaçamento do plantio nos pomares -

\* Informação verbal: fornecida pelo Eng. Agr. Antonio Campanelli.

mais novos em formação, variando ainda desde 4m x 6m até 7m x 9m, com ou sem linhas "carreadoras". Nestes pomares, os quais hoje já constituem maioria, a mecanização do carregamento é em princípio viável.

Deve-se ressaltar que qualquer equipamento cuja operação cause dano às copas das árvores ou compactação excessiva do solo, não apenas estará prejudicando o pomar e sua produção posterior, como também terá seu uso imediatamente vetado pelo citricultor.



Foto 1.

Colhedor de frutas preparando-se para esvaziar a sacola de colheita com aproximadamente 25 kgf de laranja, dentro de uma caixa de carregamento metálica, com capacidade para 600 kgf.

Bebedouro - São Paulo

Foto 2

Colhedores, fazendo uso de escadas, retiram as frutas dos galhos mais altos, depositando-as inicialmente em uma sacola presa no ombro, transferindo-as posteriormente para as caixas plásticas de colheita. Mogi Guaçu - São Paulo.



Foto 3

Equipamento mecânico varre as frutas derrubadas mecanicamente, formando uma leira contínua junto a linha das árvores. Notar características do solo. Estado da Flórida - Estados Unidos.



Foto 4

Equipamento mecânico recolhe do chão as laranjas colhidas e juntadas mecanicamente em leiras contínuas pelo equipamento da foto 3, carregando-as em um caminhão equipado com caçamba semelhante à da foto 5. Notar a aparência das frutas. Estado da Flórida - Estados Unidos.



Foto 5

Caminhão auto-guincho com caçamba dotada de pistões hidráulicos para o basculamento das frutas em carretas ou em caminhões de transporte. Estado da Flórida - USA.



Foto 6

Trator com garfos de empilhadeira adaptados à frente, para o carregamento de caminhões e carretas com caixas "paletizadas" (capacidade até 600 kgf). Estado da Flórida- USA.





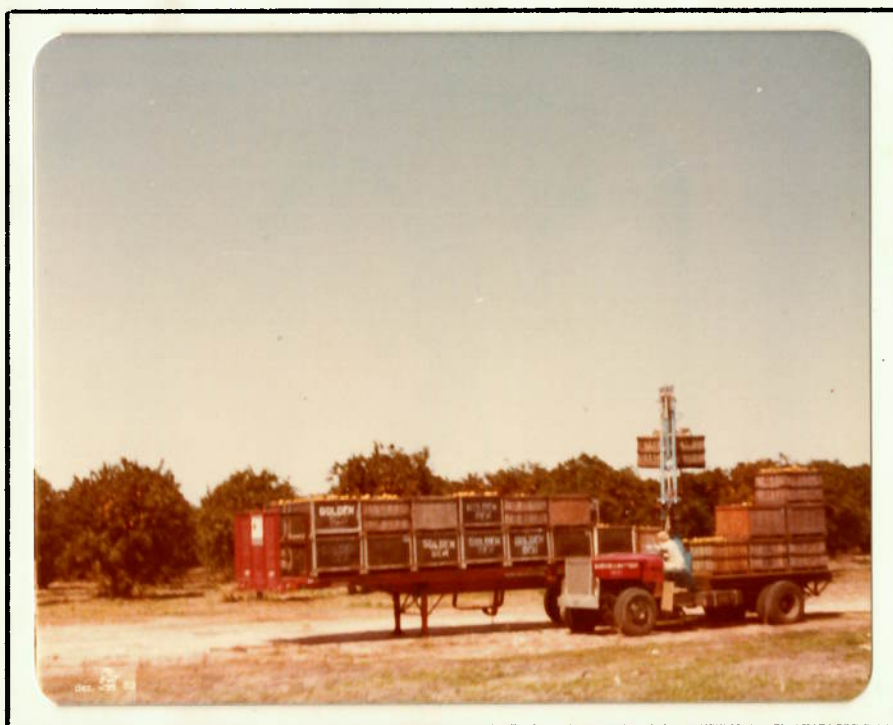


Foto 7

Carregamento mecanizado  
ã granel, com empilhadei  
ra adaptada ao sistema  
hidráulico de um trator,  
utilizando a caixa refe-  
rida na foto 1.

Bebedouro - São Paulo.

Foto 8  
Caminhão auto-  
guincho trans-  
ferindo para  
uma carreta as  
caixas "paleti-  
zadas", ante-  
riormente reco-  
lhidas pelo mes-  
mo no interior  
do pomar.  
Estado da Flórida - USA.



## Capítulo 5 - DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA NÃO CONVENCIONAL DE CARREGAMENTO DE FRUTAS CÍTRICAS EM POMARES.

O sistema de carregamento desenvolvido neste projeto, é constituído basicamente, conforme desenho de conjunto, de uma estrutura (vertical) fixa, de uma estrutura (horizontal) basculante e de uma unidade de força óleo-hidráulica.

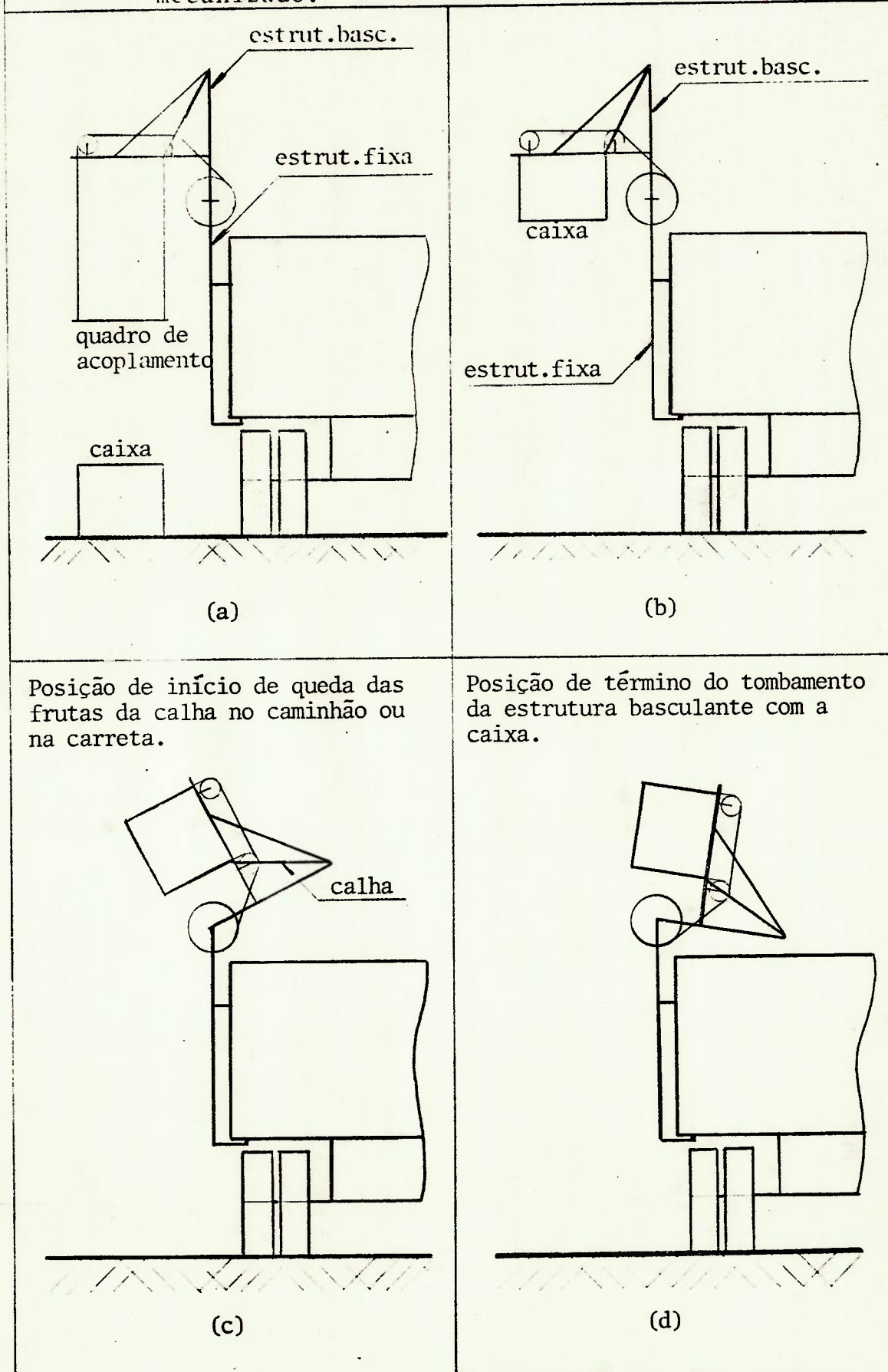
A seqüência operacional esquematizada (fig.1-5), envolve fundamentalmente os seguintes estágios:

- posicionamento do caminhão ou da carreta junto à caixa - (fig. 1-5-a);
- abaixamento do quadro de acoplamento (fig.1-5-a);
- acoplamento do quadro à caixa;
- elevação da caixa até encostar na estrutura basculante - (fig.1-5-b);
- tombamento da estrutura basculante com a caixa (fig.1-5-c);
- descarregamento das frutas no caminhão ou na carreta - (fig.1-5-c e fig.1-5-d);
- reversão do tombamento da estrutura basculante com a caixa (fig. 1-5-d);
- devolução da caixa vazia ao solo;
- desacoplamento e elevação parcial do quadro;
- posicionamento do caminhão ou carreta para outro ciclo - (fig.1-5-a);

A elevação da caixa do chão até encostar na estrutura, é feita por 4(quatro) cabos de aço, orientados por guias e roldanas fixas nesta estrutura (pontos 32, 33, 36 e 37 - des. folha 2). Estes cabos são enrolados em 2(dois) tambores (pontos 5 e 6 - des. folha 2) centrados no eixo de tombamento da estrutura basculante (des. de conjunto- folha 1).

Outro tambor, concêntrico e equidistante dos dois primeiros (ponto 7 - des. folha 2), transmite a eles, por torção do eixo comum, a rotação imposta pelo momento aplicado por duas correntes (des. de conjunto - folha 1).

Fig.1-5 - Esquema da seqüência operacional do carregamento mecanizado.



Posição de início de queda das frutas da calha no caminhão ou na carreta.

Posição de término do tombamento da estrutura basculante com a caixa.

Estas correntes, previamente enroladas no tambor central, têm as outras extremidades fixas na estrutura (ponto 9 - desenho folha 3). A tração a que estão submetidas é a reação ao esforço nelas aplicado pela haste de um pistão - hidráulico (pistão de elevação), através das engrenagens montadas em sua extremidade.

O projeto do protótipo apresentado neste trabalho, é o resultado de uma avaliação ponderada de todas as informações levantadas durante a pesquisa das soluções de carregamento mecanizado conhecidas e das sugestões propostas por elementos ligados a setores de atividades diversas, direta ou indiretamente envolvidos com a citricultura ou com projetos de máquinas.

A proposta global deste trabalho está associada a mudanças mais amplas na sistemática da colheita convencional, que não apenas a mecanização do carregamento. Estas mudanças envolvem o carregamento e o transporte de caixas vazias entre diferentes locais de colheita, a retirada das frutas das árvores mais altas, o transporte das frutas em sacolas de colheita (foto 1) das árvores até os carregadores e outros.

Algumas propostas de solução para estes problemas têm recebido críticas favoráveis, estando o desenvolvimento das mesmas previsto para uma etapa posterior a este projeto.

### 5.1 - Projeto da Máquina.

Durante o desenvolvimento do projeto desta máquina, procurou-se atender às reivindicações da indústria [1] e dos citricultores consultados na fase de pesquisa, havendo uma permanente preocupação com a viabilidade econômica e com a busca de soluções que envolvessem:

- componentes de fabricação nacional;
- facilidade da reposição de peças;
- técnicas de manutenção dominadas pelo setor citrícola;
- segurança do operador e da operação do sistema;

- simplicidade de operação do equipamento;
- uso de potência dos próprios caminhões ou tratores que retiram as frutas dos pomares;
- facilidade de adaptação do equipamento a estes caminhões - ou às carretas;
- compatibilidade com o espaçamento entre as árvores;
- desvinculação das limitações impostas pelas irregularidades dos solos à operação do equipamento;
- soluções técnicas compatíveis com a baixa qualificação dos operadores e com as características da manutenção usualmente dispensadas aos equipamentos mecânicos nas fazendas.

Inicialmente foram estudadas as soluções de mecanização do carregamento implantadas no Brasil e aquelas mais difundidas no exterior.

Em etapas posteriores, foram gerados anteprojetos de várias alternativas de solução, as quais foram realimentadas com as críticas de pessoal ligado a projetos de máquinas e à citricultura. Algumas alternativas mostraram-se definitivamente inviáveis enquanto a evolução do desenvolvimento das outras, conduziu ao estágio atual descrito neste documento. O que agora é apresentado no desenho de conjunto das estruturas fixa e basculante, constitui a forma final mais próxima do que será o protótipo deste equipamento.

Deve-se ressaltar que em decorrência do contínuo acompanhamento técnico da construção do protótipo, algumas soluções agora desenvolvidas poderão ser alteradas. Apesar da preocupação constante com a utilização de componentes, materiais e processos de uso freqüente na engenharia nacional, estas alterações poderão aparecer durante a fabricação, para melhor adequar o projeto às disponibilidades de fornecimento imediato, às facilidades do fabricante, e ao aproveitamento de outras sugestões e observações que possam contribuir com o seu desenvolvimento.

## 5.2 - Casos de Carregamento Típico do Equipamento.

Para a análise das tensões máximas a que as duas estruturas, os cabos de aço, as correntes, os eixos e os mancais ficam submetidos durante os ciclos de operação do equipamento, foram considerados inicialmente 6(seis) casos de "carregamento típico".

A análise das tensões resultantes na estrutura basculante, evidencia que esta entraria em colapso se submetida aos dois últimos casos de carregamento simulados.

A possibilidade de reforçar a estrutura, compatibilizando-a com os esforços solicitantes, foi recusada, uma vez que aumentaria significativamente o peso das mesmas, além de reduzir os coeficientes de segurança para os cabos de aço e para as correntes anteriormente especificados.

A alternativa de solução, que atendeu aos interesses econômicos e técnicos do projeto, foi assegurar através de uma imposição do próprio circuito óleo-hidráulico, conforme descrito no item 5.4, que estes casos de carregamento não ocorram.

### a) Carregamento 1

Elevação vertical da carga.

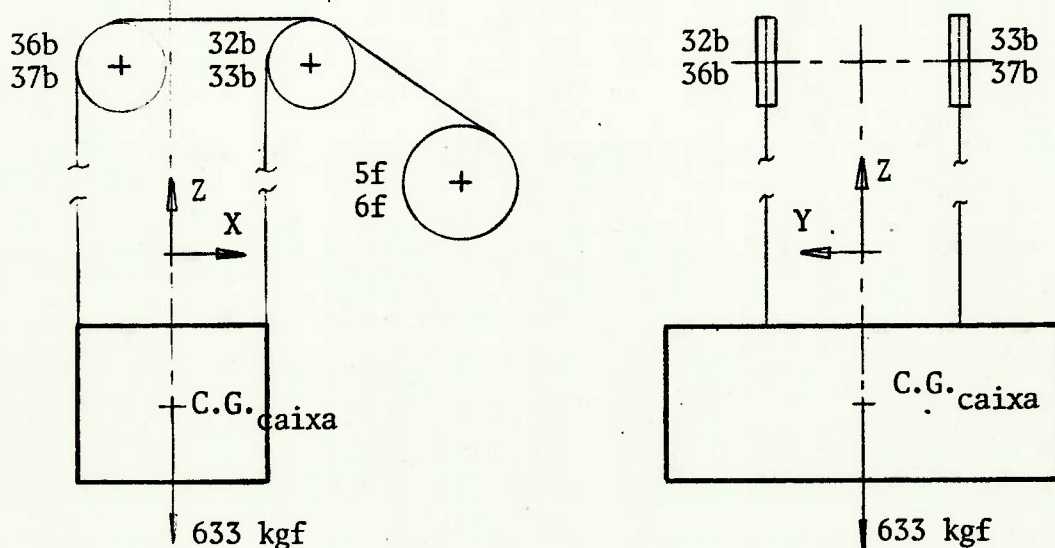


Figura 1- 5.2: O centro de gravidade da carga está na vertical do centro das guias dos cabos de aço da estrutura basculante.

Este caso particular de carregamento (fig.1-5.2) considera que o caminhão é posicionado corretamente junto à caixa, fazendo com que o centro de gravidade da carga e o centro das guias dos cabos de aço, fixas na estrutura basculante, estejam em uma mesma vertical. Esta condição de carregamento, ocorre praticamente para os cabos de aço em todas as elevações, a partir do instante em que a oscilação da caixa pode ser desprezada, estando o caminhão em um plano horizontal.

A força nos cabos de aço para este carregamento é dada por:

$$F_{ca,1} = \frac{P_c + P_f}{4} \quad (1-5.2)$$

$$P_c = 33 \text{ kgf} \quad (\text{tab. 13-5.5})$$

$$P_f = 600 \text{ kgf} \quad (\text{projeto})$$

$$F_{ca,1} = \frac{33 + 600}{4}$$

$$F_{ca,1} = 158 \text{ kgf}$$

#### b) Carregamento 2

Centro da carga avançado 1,0m à frente (ou atrás).

O ângulo de inclinação definido pelas linhas dos cabos de aço e as verticais baixadas de suas respectivas guias na estrutura basculante, aparecem em verdadeira grandeza na vista (b) da figura 2-5.2.

$$\theta = \text{arc sen} \left( \frac{1}{3,04} \right) \quad (2-5.2)$$

$$\theta = 19,20^\circ$$

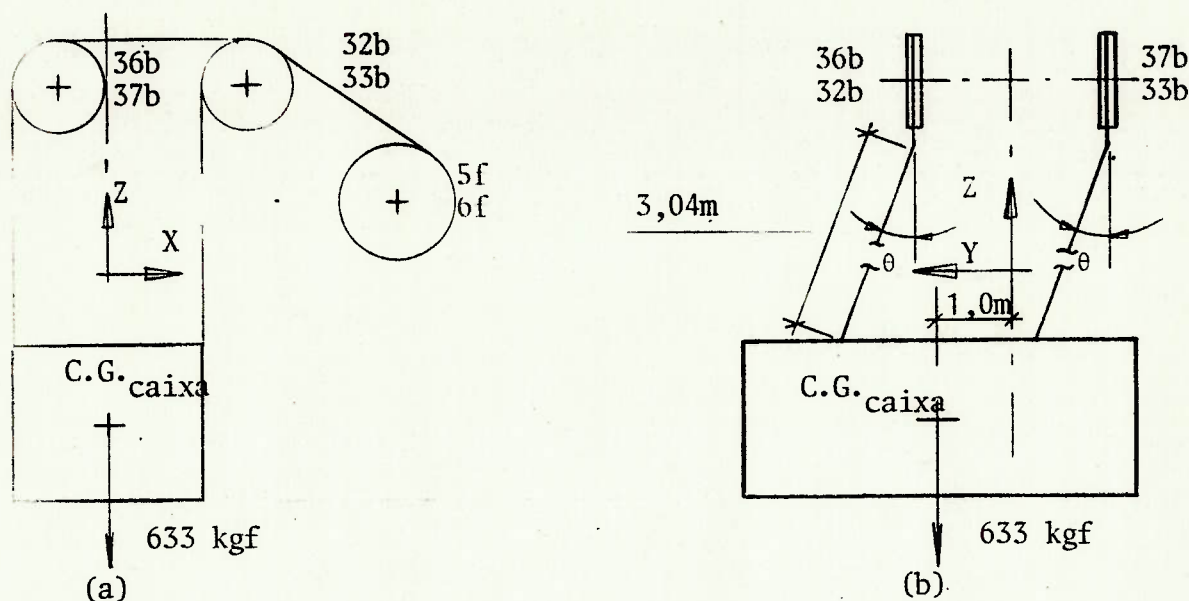


Figura 2 - 5.2. : O centro de gravidade da carga está avançado (vista b) 1,0m à frente com relação à vertical baixada do centro das guias dos cabos da estrutura basculante.

Este caso de carregamento, simula o posicionamento do caminhão 1,0m à frente (ou atrás) da posição considerada ideal, ou seja, daquela em que a máquina e a caixa alinham-se na vertical (caso de carregamento 1).

Toda a estrutura neste caso, fica sujeita a um carregamento assimétrico, aumentando a força dos cabos de aço:

$$F_{ca,2} = \frac{P_c + P_f}{4 \cos \theta} \quad (3-5.2)$$

$$P_c = 33 \text{ kgf (tab. 13-5.5)}$$

$$P_f = 600 \text{ kgf (projeto)}$$

$$F_{ca,2} = \frac{33 + 600}{4 \cos 19,20^\circ}$$

$$F_{ca,2} = 167,6 \text{ kgf.}$$



## c) Carregamento 3

Centro da carga avançado 1,0m à frente (ou atrás) e afastado 1,2m para o lado.

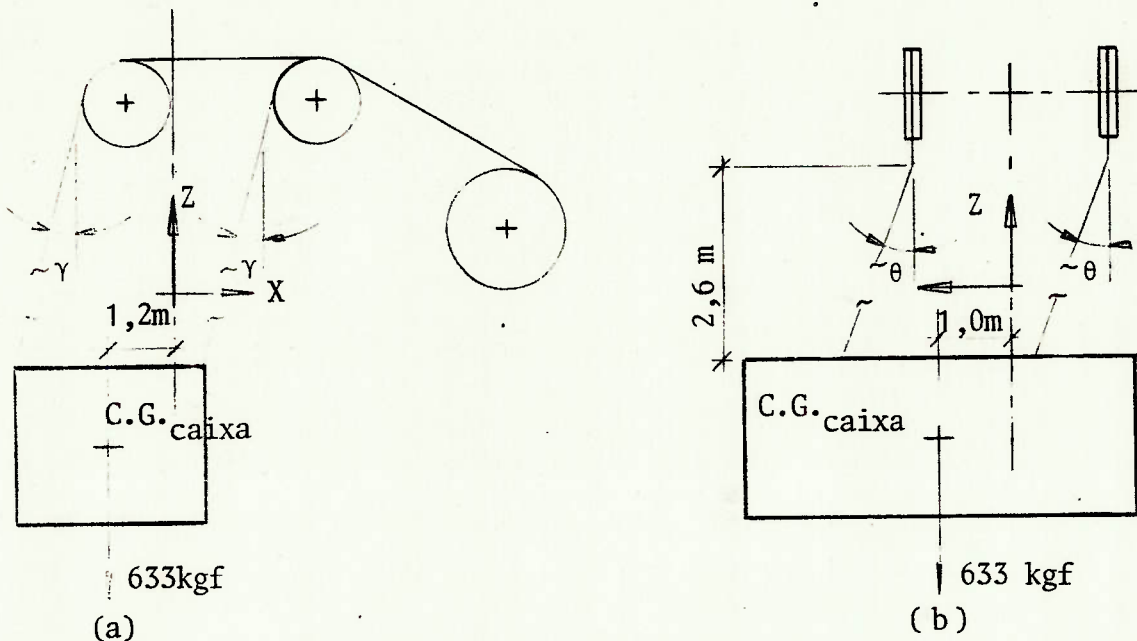


Figura 3-5.2. : O centro de gravidade da carga está avançado (vista b) 1,0 m à frente e afastado 1,2 m (vista a) com relação à vertical baixada do centro das guias dos cabos da estrutura basculante.

O ângulo  $\delta$  de inclinação dos cabos de aço com uma vertical passando pelas respectivas guias fixas na estrutura basculante, é mostrado na fig.4-5.2.. O ângulo  $\gamma$ , referido nesta figura, aparece em verdadeira grandeza na vista (a) da fig. 3-5.2, enquanto o ângulo  $\theta$  aparece igualmente na vista (b).

Este caso de carregamento, procura simular um dos piores casos de início de elevação da caixa a que as estruturas podem ser submetidas. O esforço nos cabos é consequentemente maior que aqueles dos casos anteriores.

$$F_{ca,3} = \frac{P_c + P_f}{4 \cos \delta} \quad (4-5.2)$$

$$\gamma = \text{arc tg} \left( \frac{1,2}{2,6} \right) \quad (5-5.2)$$

$$\gamma = 24,78^\circ$$

$$\theta = \text{arc tg} \left( \frac{1,0}{2,6} \right) \quad (6-5.2)$$

$$\theta = 21,04^\circ$$

O ângulo entre o cabo de aço e a vertical baixada de sua guia na estrutura basculante é  $\delta$ .

$$\delta = 31,00^\circ$$

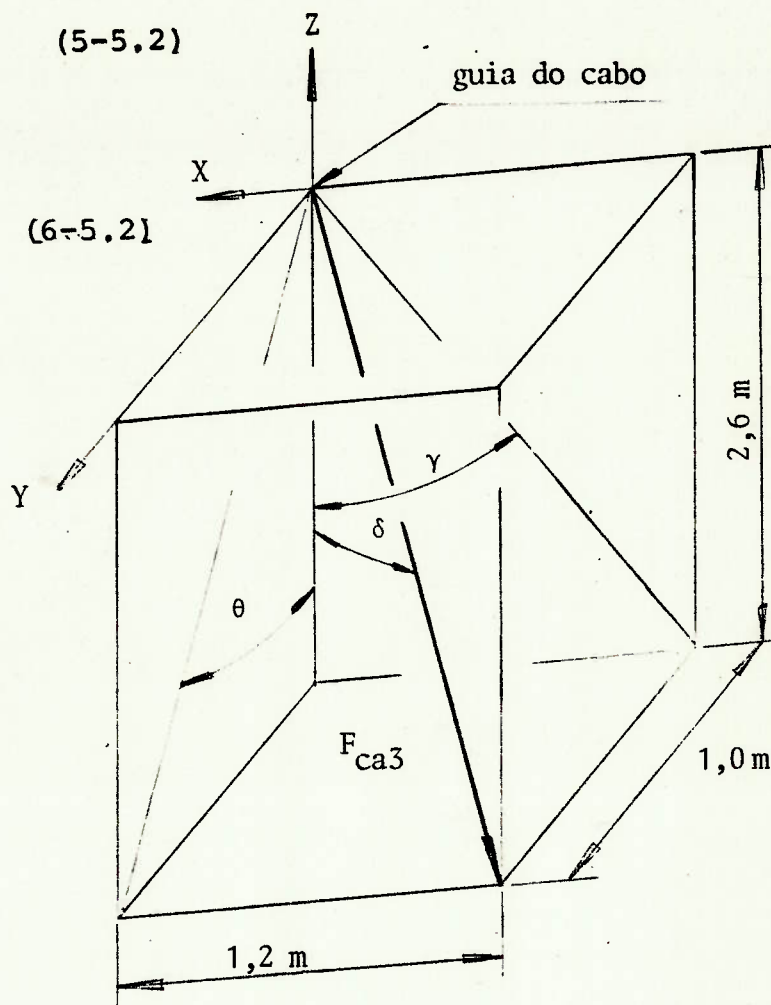


Figura 4 - 5.2. : Projeções ortogonais da força do cabo nas guias do mesmo, montadas na estrutura basculante.

$$P_c = 33 \text{ kgf (tab. 13-5.5)}$$

$$P_f = 600 \text{ kgf (projeto)}$$

$$F_{ca,3} = \frac{33 + 600}{4 \cos 31^\circ}$$

$$F_{ca,3} = 185 \text{ kgf.}$$

#### d) Carregamento 4

Início do tombamento.

Para este caso de carregamento, a soma dos momentos aplicados pelos cabos de aço e pelos pistões de tombamento - supera a soma dos momentos da carga e do peso da estrutura -

basculante com relação aos mancais (pontos 1 e 2 - fig.5 - 5.2,) , dando início ao tombamento da mesma.

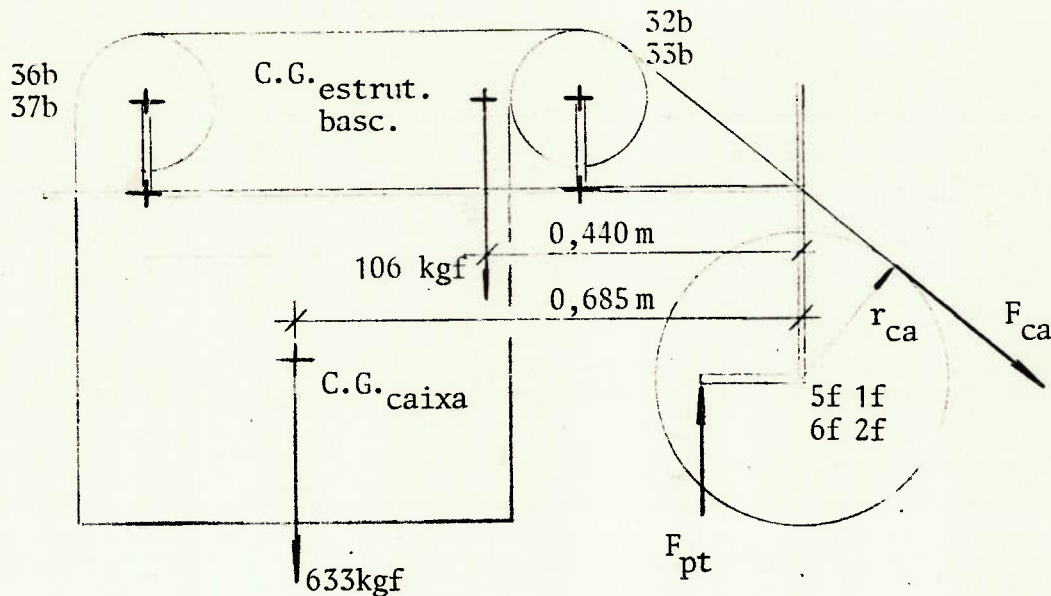


Figura 5 - 5.2. : Os momentos aplicados pelos cabos de aço e pelos pistões de tombamento dão início ao tombamento.

Conforme item 5.4.3-b, a pressão no circuito da bomba é:

$$P_{tt} = P_{te} = 89 \text{ kgf/cm}^2$$

Conseqüentemente:

$$P_c \cdot X_{Gc} + P_f \cdot X_{Gf} + P_b \cdot X_{Gb} = 2 \cdot P_{tt} \cdot A_{tt} \cdot \text{braço de alavanca} + 4 F_{ca} \cdot r_{ca} \quad (7-5.2)$$

$$P_c = 33 \text{ kgf (tab. 13-5.5)}$$

$$X_{Gc} = 0,685 \text{ (projeto)}$$

$$P_f = 600 \text{ kgf (projeto)}$$

$$X_{Gf} = 0,865 \text{ m (projeto)}$$

$$P_b = 106 \text{ kgf (tab. 14-5.5)}$$

$$X_{Gb} = 0,44 \text{ m (tab. 14-5.5)}$$

$$A_{tt} = 12,57 \text{ cm}^2$$

$$\text{braço de alavanca} = 0,115 \text{ m (projeto)}$$

$$F_{ca,4} = 243 \text{ kgf}$$

Deve-se notar que esta força tende a diminuir à medida que ocorre o tombamento, uma vez que diminui o braço de alavanca da força peso com relação ao eixo de giro da estrutura basculante.

Simultaneamente o braço de alavanca dos pistões de tombamento com relação ao mesmo eixo aumenta gradativamente, até que a articulação da extremidade de suas hastes atinja a horizontal passando pelo centro de giro.

#### e) Carregamento 5

Reversão do tombamento com carga

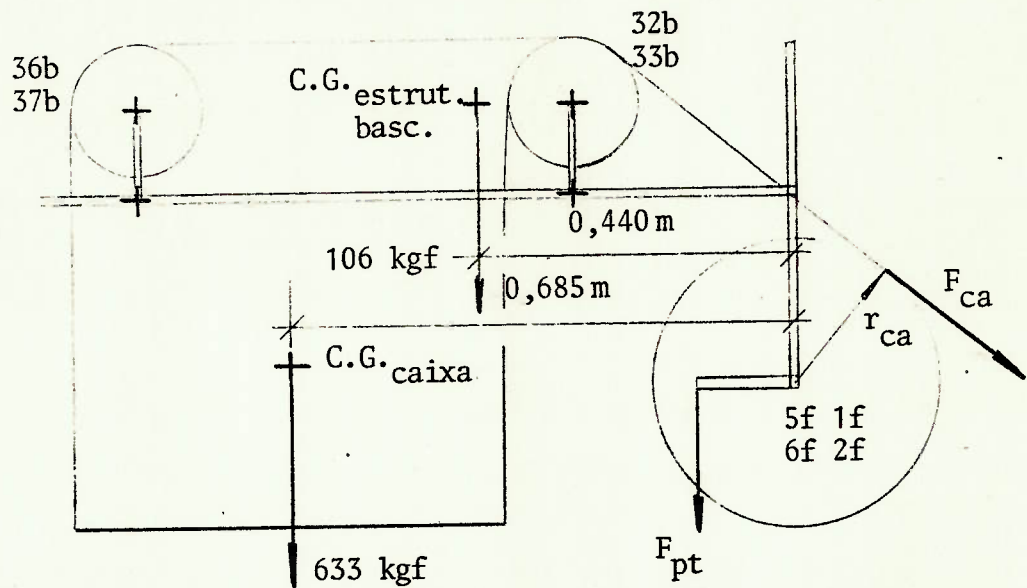


Figura 6 - 5.2. : A inversão do sentido de atuação dos pistões sobrecarrega os cabos de aço e a estrutura.

Quando por falha de operação, se reverte o tombamento com a caixa ainda cheia, a pressão no circuito da bomba, para as condições descritas no item 5.4.3-c, é de  $8,5 \text{ kgf/cm}^2$ .

Conseqüentemente pode-se calcular a força nos cabos:

$$(P_c + P_f) X_{Gc} + P_b \cdot X_{Gb} + 2 p_{ct} \cdot A_{ct} \cdot \text{braço de alavanca} = F_{ca} \cdot r_{ca} \quad (8-5.2)$$

$$P_c = 33 \text{ kgf (tab. 13 -5.5.)}$$

$$P_f = 600 \text{ kgf (projeto)}$$

$$X_{Gc} = 0,685 \text{ m (projeto)}$$

$$P_b = 106 \text{ kgf (tab. 14 - 5.5.)}$$

$$X_{Gb} = 0,44 \text{ m (tab. 14 - 5.5.)}$$

$$p_{ct} = 8,5 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (item 5.4. -c)}$$

$$A_{ct} = 7,66 \text{ cm}^2$$

[21]

$$\text{braço de alavanca} = 0,115 \text{ m (projeto)}$$

$$r_{ca} = 0,230 \text{ m (projeto)}$$

$$F_{ca,5} = 530 \text{ kgf}$$

Comparando-se esta força com a necessária para o início do tombamento (carregamento 4), observa-se que a falha do operador acarreta aos cabos de aço, uma solicitação duas vezes maior que a máxima atuante em um ciclo de carregamento normal. Em decorrência direta toda a estrutura da máquina e demais componentes têm suas tensões elevadas.

#### f) Carregamento 6

Reversão do tombamento com carga e limitação da pressão do pistão.

Este caso de carregamento, considera que a pressão máxima na câmara maior do pistão de elevação, seja limitada pela abertura da válvula de alívio montada em paralelo com a válvula reguladora de vazão (componentes 6 e 8 - fig. 1 - 5.4). Esta pressão foi fixada em  $150 \text{ kgf/cm}^2$ , valor este intermediário entre os valores máximos da mesma nos casos de carregamento 4 e 5. Em decorrência é possível calcular-se a

força na corrente, conforme item 5.3.2.. A força no cabo, impondo-se a igualdade de momentos entre os tambores dos cabos e das correntes, é dada por:

$$4 F_{ca,6} \cdot r_{ca} = 2 F_{co,6} \cdot r_{co} \quad (9-5.2)$$

$$r_{ca} = 0,250 \text{ m (projeto)}$$

$$F_{co,6} = 1710 \text{ kgf (item 5.3.2.)}$$

$$r_{co} = 0,110 \text{ (projeto).}$$

$$F_{ca,6} = 409 \text{ kgf}$$

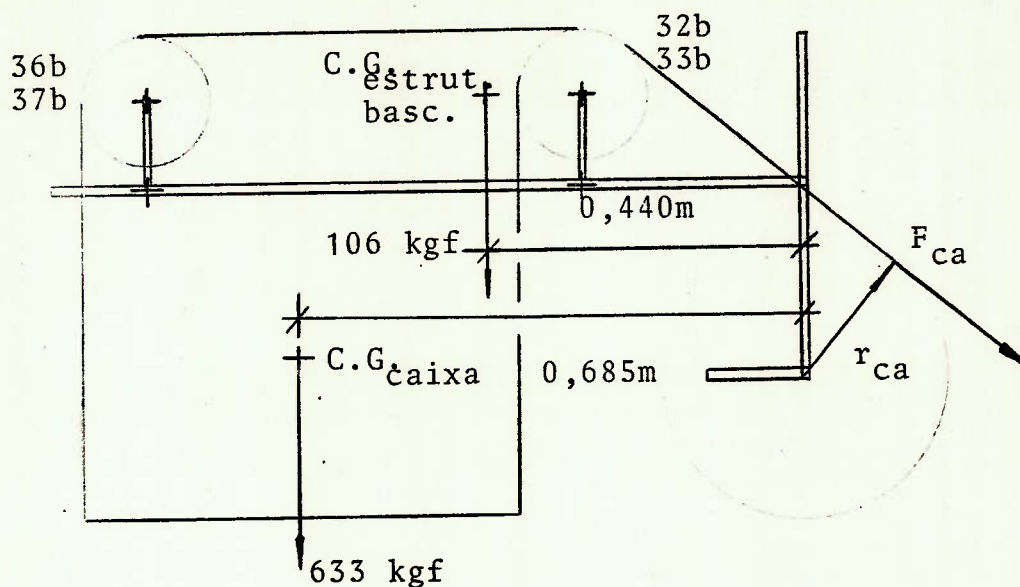


Figura 7-5.2 : A abertura da válvula de alívio para pressões acima de  $150 \text{ kgf/cm}^2$  reduz a solicitação da estrutura e demais componentes.

Comparando-se esta força com a necessária para o início do tombamento (carregamento 4), observa-se, da mesma forma que no caso de carregamento 5, que a solicitação dos cabos de aço é 1,7 vezes maior. A estrutura da máquina é, em consequência comprometida, tendo suas tensões de trabalho elevadas.

### 5.3 - Sistema de Roldanas, Cabos de Aço, Correntes e Engrenagens.

#### 5.3.1 - Seleção dos cabos de aço e roldanas.

A seleção dos cabos de aço conforme a orientação do fabricante [19], deve recair, em decorrência do tipo de aplicação e necessidade de alta flexibilidade do cabo, em um tipo 6 x 25 Filler.

O esforço máximo atuante no cabo, que ocorre no caso de carregamento 4, conforme cálculos e considerações anteriores, é:

$$F_{ca,m\acute{a}xima} = 243 \text{ kgf}$$

Considerando-se um coeficiente de segurança 8, recomendado para elevadores de carga, tem-se que a carga mínima de ruptura admissível para o cabo é:

$$F_{rup.m\acute{i}n.cabo} = 243 \cdot 8 = 1944 \text{ kgf.} \quad (1-5.3)$$

Conforme catálogo [19], resulta que o cabo de aço - recomendado tem a seguinte especificação:

diâmetro = 1/4"

tipo Filler 6 x 25

alma de aço

galvanizado

O diâmetro mínimo recomendado para as roldanas [19] é 26 (vinte e seis) vezes o diâmetro do cabo, ou seja:

$$2 \cdot r_{ca,min} = 26 \times d_c \quad (2-5.3)$$

$$r_{ca,min} = 82,6 \text{ mm}$$

Considerando estarem os cabos de aço superdimensionados para a aplicação (coef. de segurança resultante = 10,9), foram especificadas polias com diâmetro primitivo 160 mm.

### 5.3.2 - Seleção das correntes e engrenagens.

Uma vez que as correntes são enroladas sobre elas - mesmas, na polia com centro no ponto 7 (des.folha 2), a altura de suas placas laterais definem a profundidade dos sulcos da polia e a variação do ângulo formado pela corrente com a linha de centro do pistão de elevação. Em função da necessidade de simetria e segurança do equipamento, foi imposto o uso de 2 (duas) correntes. A análise do catálogo junto ao fabricante [18], definiu a especificação de uma corrente do tipo dupla.

O esforço máximo atuante na corrente, em semelhança à solicitação do cabo de aço, ocorre no caso de carregamento 4. Impondo-se a igualdade de momentos entre os tambores dos cabos e das correntes, tem-se que:

$$2 F_{co,4} \cdot r_{co} = 4 F_{ca,4} \cdot r_{ca} \quad (3-5,3)$$

$$r_{co} = 0,110 \text{ m (projeto)}$$

$$F_{ca,4} = 243 \text{ kgf (item 5.2-c)}$$

$$r_{ca} = 0,230 \text{ m (projeto)}$$

$$F_{co,4} = 1016 \text{ kgf}$$

Conforme catálogo [18], foi especificado que:

- corrente : tipo dupla  
referência A.B.N.T. 08A-2  
carga de ruptura = 3 400 kgf.
- engrenagem: tipo dupla  
referência A.B.N.T. 08A-2/17



Para as condições de carga do carregamento 5, a força na corrente pode ser calculada em função da força no cabo, obtida no item 5.2-e.

$$F_{ca,5} = 4,18 F_{co,5} \quad (4-5.3)$$

$$F_{ca,5} = 530 \text{ kgf}$$

$$F_{co,5} = 2216 \text{ kgf}$$

No caso particular do carregamento 6, onde foi imposto que a válvula de alívio abriria para tanque à pressão de  $150 \text{ Kgf/cm}^2$ , pode-se calcular a força com que a corrente iria ser solicitada.

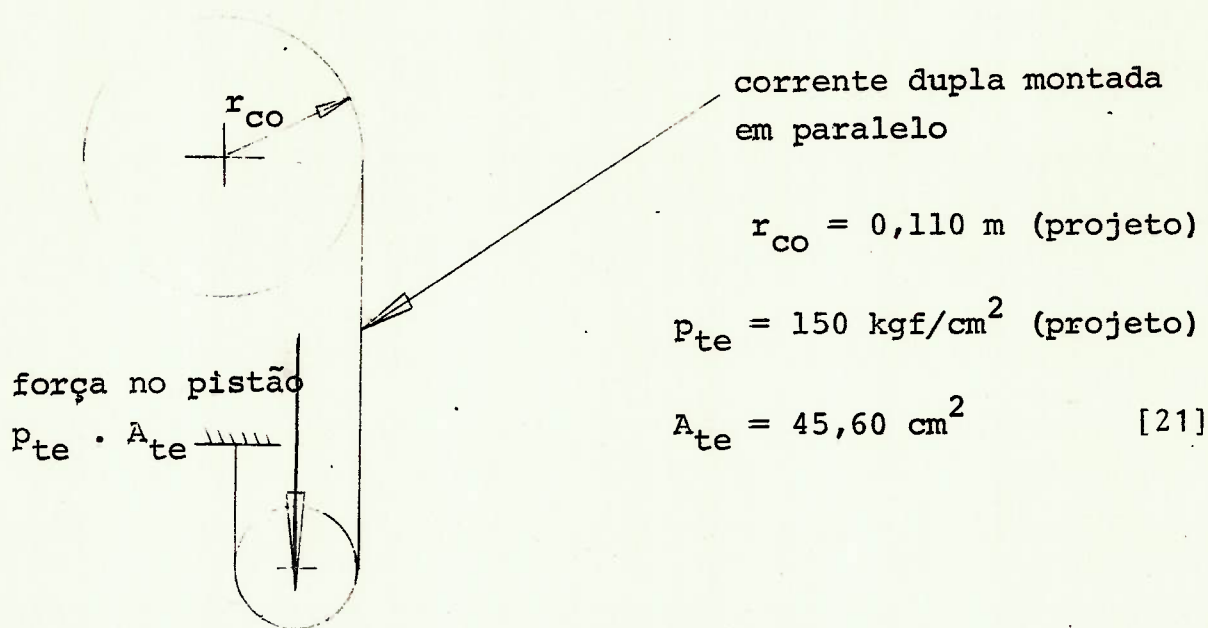


Figura 8-5,2. Carga na corrente no carregamento 6.

$$p_{te,6} \cdot A_{te} = 2 \cdot 2 F_{co,6} \quad (5-5.3)$$

$$F_{co,6} = 1710 \text{ kgf}$$

Esta força, comparada com a atuante na corrente no caso 4, evidencia também, a sobrecarga no equipamento, causada pela falha de operação em reverter a operação do equipamento,

#### 5.4. - Sistema Óleo-hidráulico.

O sistema Óleo-hidráulico, conforme esquema da fig.1-5.4., compõe-se basicamente de:

- reservatório de óleo (componente 7);
- bomba de engrenagens (componente 3);
- válvula de comando de quatro vias, com travamento hidráulico e centragem por mola (componente 4);
- pistão de elevação da carga (uma unidade) (componente 1);
- pistões de tombamento da estrutura basculante (duas unidades) (componente 2);
- válvulas reguladoras de vazão (duas unidades) (comp. 5 e 6).

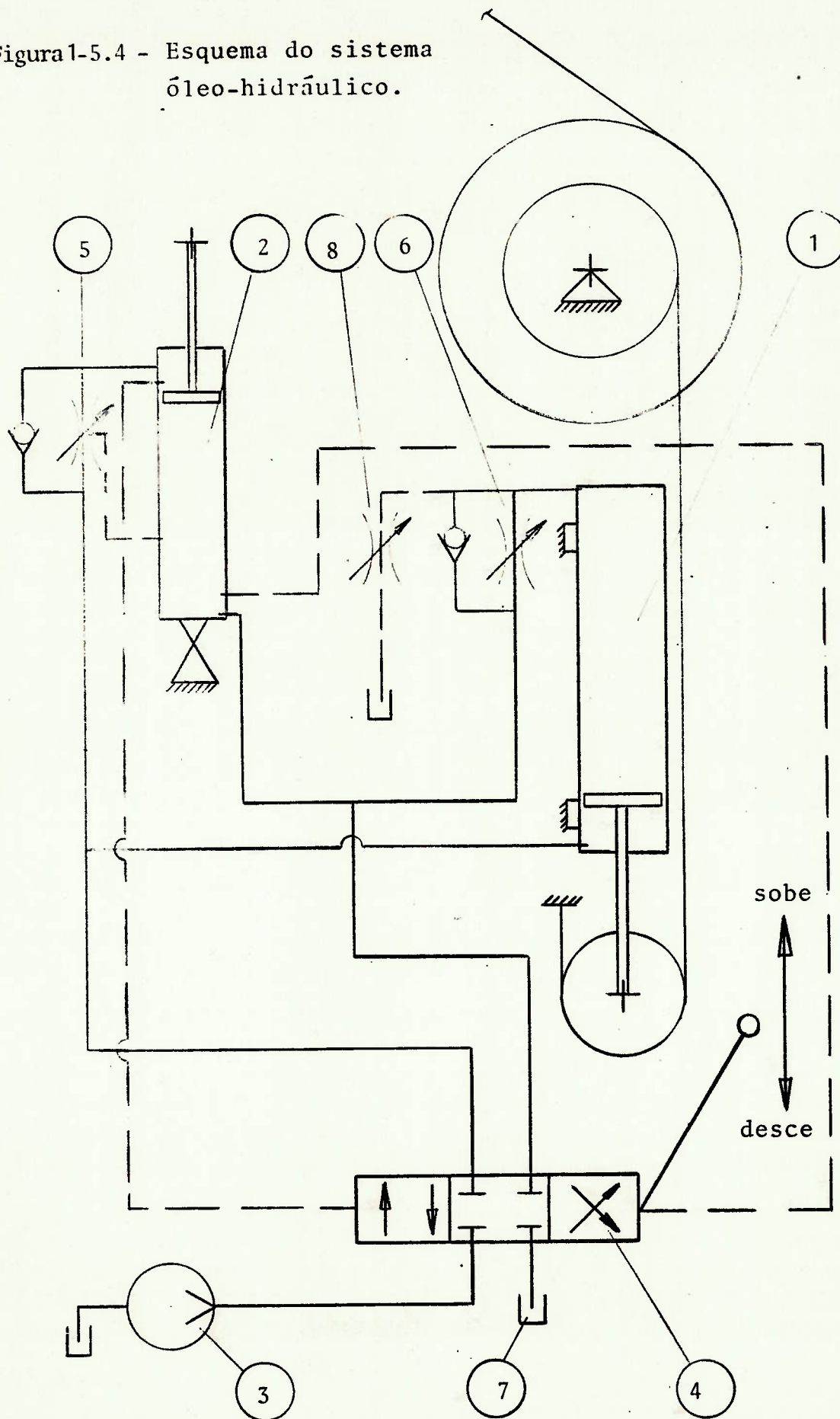
Inicialmente, porém, a válvula de comando não era pilotada hidráulicamente, sendo o circuito dotado de mais uma válvula de alívio (componente 8), montada em paralelo com a reguladora de vazão do pistão de elevação (componente 1). Esta válvula, no caso de carregamento 6, reduzia as consequências da falha de operação, quando da reversão do carregamento com carga.

No estágio atual do projeto, conforme orientação do fabricante [21], a solução recomendada é o uso de pilotos hidráulicos, acionados por tomadas de pressão localizadas nas paredes laterais dos pistões de tombamento, pouco antes das posições de fim de curso do êmbolo. Estes orifícios nas paredes dos pistões, desde que usadas vedações de "teflon", acarretam vazamentos de grandeza desprezível para a máquina em desenvolvimento.

##### 5.4.1. Dimensionamento e especificação dos pistões.

A especificação dos pistões, resultou de consultas a potenciais fabricantes, levando-se em consideração as dimensões por eles padronizadas, o tipo de aplicação, características do equipamento, o pré-dimensionamento das forças, e a faixa de pressão adequada ao sistema.

Figura 1-5.4 - Esquema do sistema  
 óleo-hidráulico.



a) Pistão de elevação.

A determinação do curso necessário do pistão de elevação, resultou das imposições do projeto envolvendo as alturas dos caminhões, a disponibilidade de curso vertical do quadro de acoplamento das caixas (fig. 1-5-a), e a relação de redução entre diâmetros dos tambores de enrolamento dos cabos e das correntes.

A escolha de uma corrente dupla, favorece a atuação do pistão de elevação, dado que a menor altura de suas placas minimiza a redução do braço de momento da mesma em relação ao eixo de giro, durante o seu desenrolamento.

O curso deste pistão foi calculado por interações sucessivas, considerando-se este efeito de variação do raio do tambor nas sucessivas voltas.

Verificação do curso do quadro de acoplamento.

- altura das placas da corrente;  $h = 10,2 \text{ mm}$  | 18 |
- ângulo de tombamento;  $110^\circ = \frac{11\pi}{18} \text{ rd}$  (projeto)
- curso do pistão = 908 mm (calculado por interação)
- deslocamento vertical da "moldura de fixação da caixa" = y
- diâmetro do cabo:  $d_c = 6,35 \text{ mm}$  | 19 |
- $r_{\text{prim. tambor}} = 230 \text{ mm} = r_{1t}$  (projeto)
- $r_{\text{prim. engr.}} = 110 \text{ mm} = r_{1e}$  (projeto)

O comprimento de corrente recolhido é:

$$L_{\text{rec}} = 2 (\text{curso do pistão}) \quad (1-5.4)$$

$$L_{\text{rec}} = 1816 \text{ mm}$$

Cálculo do número de voltas necessárias para recolher a corrente:

$$1^{\text{a}} \text{ volta completa: } L_{1 \text{ rec}} = 2\pi r_{1e} \quad (2-5.4)$$

$$L_{1 \text{ rec}} = 691,2 \text{ mm}$$

$$2^{\text{a}} \text{ volta completa: } L_{2 \text{ rec}} = 2\pi (r_{1e} + h) \quad (3-5.4)$$

$$L_{2 \text{ rec}} = 755,2 \text{ mm}$$

3<sup>a</sup> volta: comprimento a ser enrolado:

$$L_{3 \text{ rec}} = L_{\text{rec}} - L_{1 \text{ rec}} - L_{2 \text{ rec}} \quad (4-5.4)$$

$$L_{3 \text{ rec}} = 369,6 \text{ mm}$$

$$L_{3 \text{ rec}} = \alpha (r_{1e} + 2h) \quad (5-5.4)$$

$$\alpha = \frac{L_{3 \text{ rec}}}{(r_{1e} + 2h)} = 2,83 \text{ rd} = 162,4^{\circ} \quad (6-5.4)$$

$$\text{Portanto: n}^{\circ} \text{ de voltas} = 2 + \frac{2,83}{2\pi} = 2,45 \text{ voltas} \quad (7-5.4)$$

O número de voltas do tambor para desenrolar o cabo é o mesmo da engrenagem para recolher a corrente.

Durante o retorno do tombamento, que corresponde a um giro das polias de  $110^{\circ}$ , a corrente é enrolada, mas a caixa é mantida presa à estrutura basculante, não ocorrendo movimento relativo entre o cabo e a polia. Conseqüentemente, o enrolamento da corrente durante este giro não contribui para o deslocamento vertical da caixa.

O número de voltas efetivo de desenrolamento do cabo é, portanto:

$$2,45 - \frac{11\pi}{18(2\pi)} = 2,14 \text{ voltas} \quad (8-5.4)$$

0,14 volta para desenrolar o cabo:

$$y_1 = \alpha(r_{1t} + 2d_c)$$

$$\alpha = 0,14 \cdot 2\pi = 0,28\pi$$

$$y_1 = 214 \text{ mm}$$

2ª volta completa para desenrolar o cabo

$$y_2 = 2\pi(r_{1t} + d_c)$$

$$y_2 = 1485 \text{ mm}$$

3ª volta completa para desenrolar o cabo

$$y_3 = 2\pi(r_{1t})$$

$$y_3 = 1445 \text{ mm}$$

O deslocamento vertical da "moldura de fixação da caixa" resulta:

$$y = y_1 + y_2 + y_3$$

$$y = 3144 \text{ mm}$$

Este resultado, atende as necessidades de operação do equipamento, que para efeito de projeto, estava imposta em 3,04 m.

Pistão de elevação da carga [21]

-  $d_{ie} = 76,20 \text{ mm}$

-  $d_{he} = 44,45 \text{ mm}$

-  $A_{te} = 45,60 \text{ cm}^2$

-  $A_{ce} = 30,08 \text{ cm}^2$

- curso = 908 mm

### b) Pistões de tombamento

Estes pistões, dada a liberdade de ajuste na montagem do equipamento, não representou problema quanto ao dimensionamento do curso. Sua especificação, por interações sucessivas, considerando-se as áreas de todos os pistões nas diversas fases de operação do equipamento, resultou em:

Pistão de tombamento [21]:

- $d_{it} = 40,00 \text{ mm}$
- $d_{ht} = 25,40 \text{ mm}$
- $A_{tt} = 12,57 \text{ cm}^2$
- $A_{ct} = 7,66 \text{ cm}^2$
- curso = 382 mm

#### 5.4.2. Dimensionamento da bomba de engrenagem.

O tempo de elevação da carga imposto pelo projeto, é de 10 (dez) segundos. O curso do pistão de elevação, necessário para que a caixa encoste na estrutura basculante é dado por:

$$\text{curso de elevação} = \text{curso total do pistão} - \text{curso necessário ao tombamento} \quad (12-5.4)$$

$$\text{curso total do pistão de elevação} = 908 \text{ mm (item 5.2.1.-a)}$$

$$\text{curso necessário ao tombamento} = 110^{\circ} \text{ (projeto)}$$

$$\text{curso de elevação} \approx 802 \text{ mm}$$

Conseqüentemente, a vazão da bomba é dada por:

$$Q = \frac{\text{curso de elevação do pistão} \cdot A_{te}}{t_e} \quad (13-5.4)$$

$$A_{te} = 45,60 \text{ cm}^2$$

[21]

$$Q = 3,66 \cdot 10^5 \text{ mm}^3/\text{s} = 22 \text{ litros /minuto}$$

A pressão mínima efetiva de trabalho, requerida para esta bomba, conforme item 5.4.3-b, considerando-se recomendação do fabricante [21] é  $120 \text{ kgf/cm}^2$ .

Para se evitar que os operadores da máquina, aumentando a rotação de 1000 rpm especificada no projeto para o eixo da bomba, interfiram livremente na velocidade de elevação, foi colocado, na saída do comando de acionamento, um anel com orifício calibrado, o qual limita a vazão após este comando.

#### 5.4.3. Análise das pressões nos casos de "carregamento típico".

As pressões a seguir calculadas, não considera perdas de carga no circuito óleo-hidráulico, uma vez que a disponibilidade de pressão na saída da bomba supre estas perdas. A otimização do circuito será feita posteriormente, com a análise dos testes do protótipo, quando necessário.

##### a) Carregamentos 1, 2 e 3

Início de elevação da carga.

(ver figuras 1-5.2., 2-5.2., 3-5.2.)

A pressão no pistão 1 (fig. 1-5.4.), faz com que o momento aplicado pelas correntes supere o momento aplicado pelos cabos de aço, com relação ao eixo comum de giro das polias, dando início ao levantamento da caixa com frutas, nas outras extremidades dos cabos.

Conhecidas as forças no cabo e na corrente, nos casos de carregamento 1, 2 e 3, pode-se calcular a pressão no pistão de elevação.

$$P_{te} \cdot A_{te} = 4 F_{co}$$

(14-5.4)

$$A_{te} = 45,60 \text{ cm}^2$$

[21]



$$F_{co} = \frac{2 F_{ca} \cdot r_{ca}}{r_{co}} \quad (15-5.4)$$

$$r_{ca} = 0,230 \text{ m (projeto)}$$

$$r_{co} = 0,110 \text{ m (projeto)}$$

$$F_{co} = 4,18 F_{ca} \quad (16-5.4)$$

$$F_{ca,1} = 158 \text{ kgf (5.2-a)}$$

$$F_{ca,2} = 168 \text{ kgf (5.2-6)}$$

$$F_{ca,3} = 185 \text{ kgf (5.2-c)}$$

$$F_{co,1} = 662 \text{ kgf}$$

$$F_{co,2} = 700 \text{ kgf}$$

$$F_{co,3} = 773 \text{ kgf}$$

$$p_{te,1} = 58 \text{ kgf/cm}^2$$

$$p_{te,2} = 61 \text{ kgf/cm}^2$$

$$p_{te,3} = 68 \text{ kgf/cm}^2$$

Deve-se notar que estas pressões atuam também nos pistões de tombamento (elemento 2 - fig. 1-5.4.). O momento aplicado por estes pistões na estrutura basculante em relação ao eixo de giro desta estrutura, somado com o momento aplicado pelos cabos de aço, é menor que o momento aplicado pela carga com relação ao mesmo eixo de giro.

$$2 p_{tt,3} \cdot A_{tt} \cdot \text{braço de alavanca} + 4 F_{ca,3} \cdot r_{ca} < (P_c + P_f) \cdot X_{Gc} + P_b \cdot X_{Gb}$$

$$\quad \quad \quad (17-5.4)$$

$$p_{tt,3} = p_{te,3} = 68 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A_{tt} = 12,57 \text{ cm}^2$$

[ 21 ]

braço de alavanca = 0,115 m (projeto)

$$P_c = 33 \text{ kgf (tab.13 -5.5)}$$

$$P_f = 600 \text{ kgf (projeto)}$$

$$X_{Gc} = 0,685 \text{ m (projeto)}$$

$$P_b = 106 \text{ kgf (tab. 14-5.5)}$$

$$X_{Gb} = 0,44 \text{ m (tab. 14-5.5)}$$

$$367 \text{ kgf.m} < 480 \text{ kgf.m}$$

Observando-se este resultado, conclui-se que mesmo no caso mais desfavorável de início de levantamento, tem-se um fator de segurança de 1,3 entre os momentos considerados, o que garante que o tombamento da estrutura basculante não se inicia antes do término do levantamento da caixa, em qualquer situação.

#### b) Carregamento 4

Início do tombamento

(ver fig. 5-5.2.)

No momento em que a caixa com frutas encosta na estrutura basculante, a pressão nos pistões cresce até ter início o tombamento.

Impondo-se a igualdade de momentos das forças com relação ao eixo de giro da estrutura basculante, tem-se:

$$2 P_{tt} \cdot A_{tt} \cdot \text{braço de alavanca} + 4 F_{ca} \cdot r_{ca} = (P_f + P_c) X_{Gc} + P_b \cdot X_{Gb} \quad (18-5.4)$$

$$F_{ca} = \frac{P_{te} \cdot A_{te} \cdot r_{co}}{8 r_{ca}} \quad (19-5.4)$$

$$P_{te} = P_{tt}$$

$$A_{te} = 45,60 \text{ cm}^2 \quad [21]$$

$$r_{co} = 0,110 \text{ m (projeto)}$$

$$r_{ca} = 0,230 \text{ m (projeto)}$$

$$F_{ca} = 2,73 P_{tt} \quad (20-5.4)$$

$$A_{tt} = 12,57 \text{ cm}^2 \quad [21]$$

$$\text{braço de alavanca} = 0,115 \text{ m (projeto)}$$

$$P_f + P_c = 633 \text{ kgf (projeto)}$$

$$X_{Gc} = 0,685 \text{ (projeto)}$$

$$P_b = 106 \text{ kgf (tab. 14-5.5)}$$

$$X_{Gb} = 0,44 \text{ m (tab. 14-5.5.)}$$

$$P_{tt} = P_{te} = 89 \text{ kgf/cm}^2$$

A medida que evolui o tombamento da estrutura basculante, esta pressão diminui, dada a redução do braço horizontal do momento do peso de todo o conjunto que gira. Além disso, os braços de alavanca dos pistões de tombamento aumentam na primeira fase do avanço de suas hastes,

A partir dos 200 mm de avanço destas hastes (valor a ser testado no protótipo), os êmbolos liberam óleo para pilotar a válvula reguladora de vazão, no circuito de saída destes pistões para tanque. A partir deste momento, a restrição na vazão do óleo (válvula 5, fig.1-5.4.) permite regular a velocidade de término do tombamento.

Em consequência das imposições de projeto, ao término do tombamento, tem-se o fim-de-curso do pistão de elevação atingido antes que o do pistão de tombamento. Desta forma a solicitação da corrente, no final do tombamento, tende a zero.

Pressão necessária para a reversão da estrutura com a caixa vazia.

$$P_b \cdot X_{Gb} + P_c \cdot X_{Gc} = 2 \cdot p_{ct} \cdot A_{ct} \cdot \text{braço de alavanca} \quad (21-5.4)$$

$$P_b = 106 \text{ kgf (tab. 14-5.5)}$$

$$X_{Gb} = 0,46 \text{ m (projeto)}$$

$$P_c = 33 \text{ kgf (tab. 13-5.5)}$$

$$X_{Gc} = 0,11 \text{ kgf (projeto)}$$

$$A_{ct} = 7,66 \text{ cm}^2$$

$$\text{braço de alavanca} = 0,115 \text{ (projeto)}$$

$$p_{ct} = 30 \text{ kgf/cm}^2$$

Naturalmente, esta pressão será maior, caso o descarregamento não tenha sido completo.

### c) Carregamento 5

Reversão do tombamento com carga.

Este caso de carregamento, considera a hipótese do comando do circuito hidráulico permitir a reversão do tombamento com as frutas ainda dentro da caixa. O circuito hidráulico, neste caso, seria mais simples que o proposto para o protótipo, contudo, uma falha de operação, como mostrado a seguir, sobrecarregaria toda a máquina, podendo mesmo deformá-la plasticamente, se não convenientemente reforçada.

Dada a existência da válvula reguladora de vazão, na

linha de retorno ao tanque do pistão de elevação da carga, a reversão com a caixa cheia teria sua velocidade limitada. O aumento da pressão na câmara maior deste cilindro iria provocar a abertura da válvula de alívio (componente 8- fig.1-5.4.) para tanque, regulada para  $200 \text{ kgf/cm}^2$ . A pressão da rede da bomba seria mantida a um nível constante, dado pelo equilíbrio dos momentos com relação ao eixo de tombamento da estrutura,

$$(P_c + P_f) X_{Gc} + P_b \cdot X_{Gb} + 2 p_{ct} \cdot A_{ct} \cdot \text{braço de alavanca} = \\ = A_{te} \cdot 0,5 \cdot r_{co} (p_{te} - p_{ce} \frac{A_{ce}}{A_{te}}) \quad (22-5.4)$$

$$(P_c + P_f) = 633 \text{ kgf (tab. 14 -5.5.)}$$

$$X_{Gc} = 0,685 \text{ m (projeto)}$$

$$P_b = 106 \text{ kgf (tab. 14.5.5)}$$

$$X_{Gb} = 0,44 \text{ m (tab. 14-5.5)}$$

$$A_{ct} = 7,66 \text{ cm}^2 \quad [21]$$

$$\text{braço de alavanca} = 0,115 \text{ (projeto)}$$

$$A_{te} = 45,6 \text{ cm}^2 \quad [21]$$

$$r_{co} = 0,110 \text{ m (projeto)}$$

$$p_{te} = 200 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (imposta pela válvula)}$$

$$p_{ce} = p_{ct}$$

$$A_{ce} = 30,08 \text{ cm}^2 \quad [21]$$

$$p_{ce} = p_{ct} = 8,5 \text{ kgf/cm}^2$$

#### d) Carregamento 6

Reversão do tombamento com carga e limitação da pressão do pistão.

A válvula reguladora de vazão, neste caso de carregamento considerado, seria regulada para  $150 \text{ kgf/cm}^2$ , o que é um valor intermediário entre a pressão atuante no pistão de elevação no caso de carregamento 4 e a que poderia ser atingida na reversão da carga, considerada no carregamento 5.

### 5.5. Estrutura Basculante

#### 5.5.1. Dimensionamento da estrutura.

A estrutura basculante da máquina é apresentada em detalhe na folha do desenho de conjunto ( des. folha 1).

Esta parte da máquina em particular, centralizou as atenções do projeto e é aquela que demandará maior atenção durante a fabricação do protótipo, devendo durante esta ser implementada, quando se evidenciar conveniente, considerando exigências das áreas da citricultura e da construção mecânica.

Estas necessidades envolvem: construções de caixas de chapa fina (ou solução equivalente) que evitem o choque das frutas com os cabos de aço e com as polias montadas na estrutura basculante, durante o tombamento ( pontos 32 e 33 - des. folha 2 ); construção de guias de proteção para os cabos e correntes que impeçam estes elementos de escaparem dos respectivos sulcos das polias e das engrenagens.

As interligações entre os pontos 1 a 49 no desenho da folha 2, definem os elementos que constituem a estrutura basculante. As tabelas de 1-5.5, a 6-5.5, apresentam as características dimensionais das seções destes elementos, conforme referências e memorial do cálculo apresentado no final desse capítulo.

O peso e a posição do centro de gravidade da estrutura são agora calculados, conforme mostrado nas tabelas de 7-5.5. a 14-5.5.. As forças atuantes na estrutura basculante são coloçadas em função dos 6 (seis) casos de "carregamento típico"

considerados no item 5.2.

Estas forças consistem da ação dos cabos de aço nos seguintes pontos da estrutura: roldanas (pontos 32,33,36 e 37) , guias dos cabos de aço ( pontos 22,23,28 e 29), tambores (pontos 5 e 6 ). Existe ainda a ação das correntes no tambor duplo (ponto 7 ) e da reação da compressão da caixa de laranjas contra a estrutura basculante (pontos 22,23,28 e 29).

As duas roldanas externas (pontos 36 e 37) são submetidas a forças nas direções x e z, conforme figura 1-5.5., ou seja:

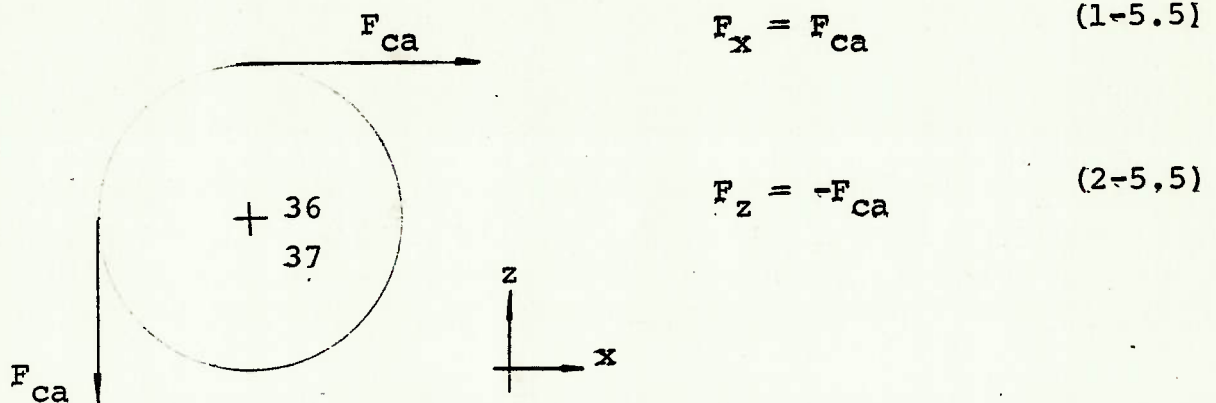


Figura 1-5.5.

Solicitação das roldanas externas.

As duas roldanas internas (pontos 32 e 33) são submetidas a forças nas direções x e z conforme a figura 2-5.5.,.

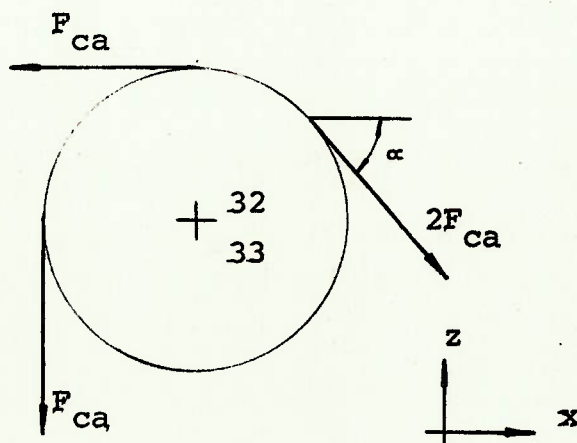
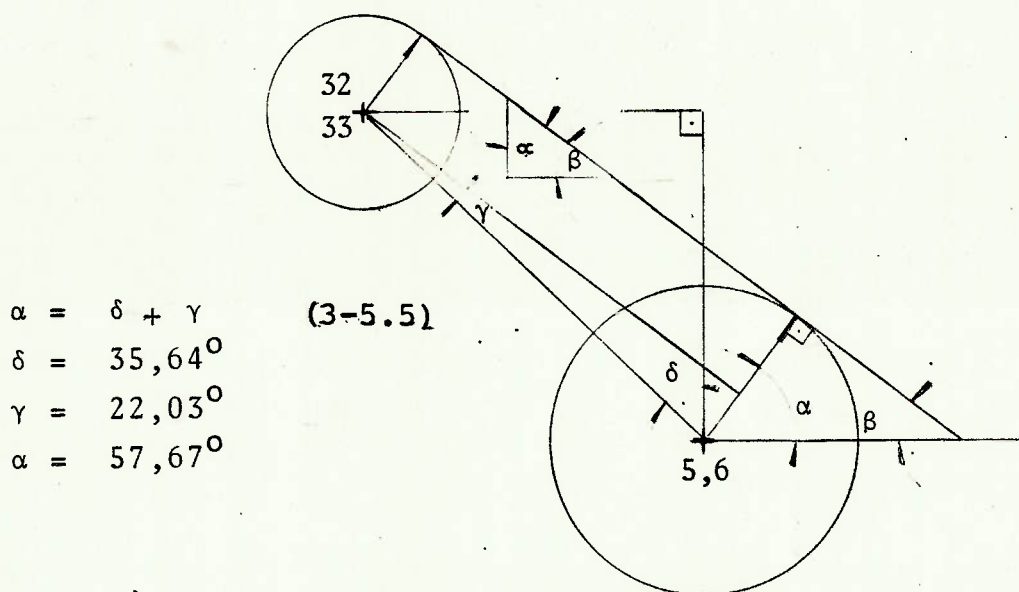


Figura 2-5.5.

Solicitação das roldanas internas.

A figura 3-5.5, apresenta a dedução do valor de  $\alpha$  a partir dos ângulos  $\delta$  e  $\Omega$ , sendo estes calculados com base nas coordenadas dos pontos 5 e 32 e dos raios das roldanas e dos tambores dos cabos.

Figura 3-5.5.  
Cálculo de  $\alpha$



$$\begin{aligned} \alpha &= \delta + \gamma & (3-5.5) \\ \delta &= 35,64^\circ \\ \gamma &= 22,03^\circ \\ \alpha &= 57,67^\circ \end{aligned}$$

Projetando-se nas direções ortogonais, tem-se que:

$$F_x = F_{ca} (2 \operatorname{sen} \alpha - 1) \quad (4-5.5)$$

$$F_x = 0,689 F_{ca} \quad (5-5.5)$$

$$F_z = -F_{ca} (2 \operatorname{cos} \alpha + 1) \quad (6-5.5)$$

$$F_z = -2,069 F_{ca} \quad (7-5.5)$$

Os tambores de enrolamento do cabo (5 e 6), são submetidos a forças nas direções  $x$  e  $z$  e a um momento na direção  $y$ , conforme figura 4-5.5..

$$F_x = -2 F_{ca} \operatorname{sen} \alpha \quad (8-5.5)$$

$$F_x = -1,69 F_{ca} \quad (9-5.5)$$



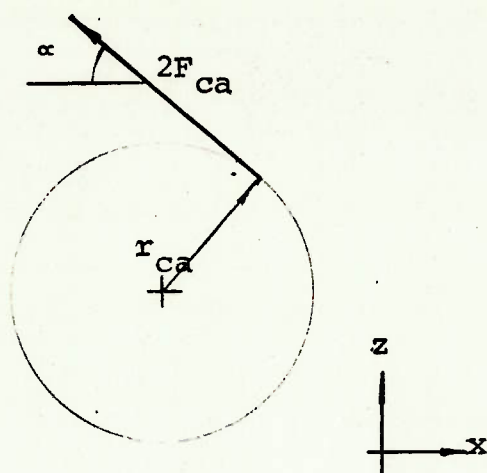


Figura 4-5.5.  
Solicitação dos  
tambores de enro-  
lamento dos cabos

$$F_z = 2F_{ca} \cos \alpha \quad (10-5.5)$$

$$F_z = 1,069 F_{ca} \quad (11-5.5)$$

$$M_z = -2 F_{ca} \cdot r_{ca} \quad (12-5.5)$$

$$M_z = -0,46 F_{ca} \quad (13-5.5)$$

O tambor duplo de enrolamento das correntes é submetido às seguintes forças e momentos:

$$F_z = -2 F_{co} = -2 \cdot 4,18 F_{ca} \text{ (ver 5.2-f)} \quad (14-5.5)$$

$$F_z = -8,36 F_{ca} \quad (15-5.5)$$

$$M_z = 2 F_{co} \cdot r_{co} \quad (16-5.5)$$

$$M_z = 2 \cdot 0,110 \cdot 4,18 \cdot F_{ca} \quad (17-5.5)$$

$$M_z = 0,92 F_{ca} \quad (18-5.5)$$

Para o cálculo das forças nas guias dos cabos de aço (pontos 22,23,28 e 29), consideram-se separadamente os casos de carregamento.

No primeiro caso, as guias não são submetidas a forças.

No segundo caso, a solicitação de uma guia típica é representada na figura 5-5.5..

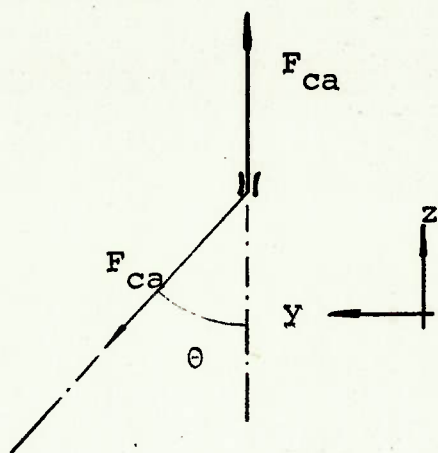


Figura 5-5.5.

Solicitação das guias do cabo, Caso de carregamento 2.

$\theta = 19,20^\circ$  (fig.2-5.2,)

Dessa forma:

$$F_y = F_{ca} \cdot \text{sen } \theta \quad (19-5.5)$$

$$F_z = F_{ca} (1 - \cos \theta) \quad (20-5.5)$$

No terceiro caso do carregamento, a força  $F_y$  é igual à do segundo caso, contudo existem ainda outras forças em x e em y.

$$F_x = F_{ca} \cdot \text{sen } \Omega \cdot \cos \left\{ \text{arc tg } \left| (1,2)^2 + (2,6)^2 \right|^{-1/2} \right\} \quad (21-5.5)$$

$$F_z = F_{ca} (1 - \cos \delta) \quad (22-5.5)$$

Para os três últimos casos de carregamento, a estrutura basculante junto às guias dos cabos de aço, fica submetida à reação da compressão da caixa de frutas contra ela.

Esta reação é vertical e igual a:

$$F_z = F_{ca} - 0,25 (P_c + P_t + P_b) \quad (23-5.5)$$

As forças atuantes nos nós da estrutura basculante podem agora ser calculadas. Os resultados são apresentados nas tabelas 15 -5.5. e 16 -5.5..

A ligação da estrutura basculante com a estrutura fixa é feita através dos mancais autocompensadores do eixo de tombamento (pontos 1 e 2), e das hastes dos pistões de tombamento (pontos 10 e 11).

Concluída a descrição detalhada da estrutura basculante e dos esforços aos quais ela está submetida, procede-se ao seu cálculo estrutural. Este último foi executado com a ajuda do computador, mediante o programa SAP 4.

Foi efetuado um ciclo iterativo, entre o projeto da estrutura e a sua verificação das tensões, do qual resultou finalmente o projeto descrito neste trabalho. A título ilustrativo, são apresentadas nas tabelas de 1 -5.5. a 6 -5.5., as tensões antes e depois da última iteração do ciclo, para os elementos mais solicitados. Estas tensões foram calculadas com a fórmula de Von Mises, admitindo que existe um ponto em cada perfil, onde todas as tensões (flexão, torção e tração) se juntam construtivamente, ou seja:

$$\tau_{\text{equiv.}} = \left\{ \left( \frac{M_2}{W_2} + \frac{M_3}{W_3} + \frac{R_1}{A_1} \right)^2 + 3 \left[ \frac{(R_2^2 + R_3^2)^{1/2}}{A_1} + \frac{M_1 \cdot r_g}{J_1} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (24-5.5)$$

Considera-se ser este critério preliminar de dimensionamento, seguro e compatível com a modelagem feita. Para os elementos, onde a fórmula acima conduziu a resultados inaceitáveis, foram feitas análises complementares.

Dessa forma, os eixos das roldanas e as pontas de eixo dos mancais de tombamento são calculadas no parágrafo 5.5.2.

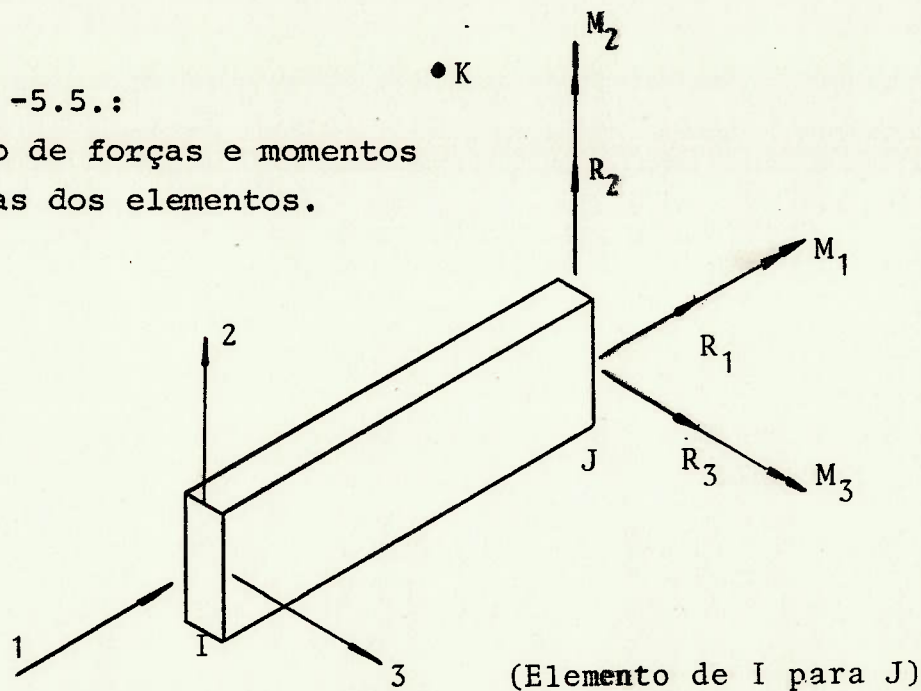
As tabelas de 17 -5.5. a 28 - 5.5. contém as cargas nos elementos analisados nas tabelas de 1 -5.5. a 6 - 5.5., dispostas da seguinte maneira:

- 1ª linha: carga no primeiro nó do elemento antes da mudança do projeto.
- 2ª linha: carga no segundo nó do elemento antes da mudança do projeto.
- 3ª linha: carga no primeiro nó do elemento depois da mudança do projeto.
- 4ª linha: carga no segundo nó do elemento depois da mudança do projeto.

A convenção das forças e dos momentos nesta tabela é apresentada na figura 6 -5.5.,

Para os elementos com tensão equivalente muito baixa antes da mudança de projeto, não foram incluídas as linhas referentes às cargas depois da mudança.

Figura 6 -5.5.:  
Convenção de forças e momentos  
nas cargas dos elementos.



As tabelas de 1 -5.5, a 6 -5.5. ainda permitem verificar que a estrutura não suporta os casos de carregamento 5 e 6, e que suporta com segurança adequada os demais casos,

#### 5.5.2. Dimensionamento dos eixos

Este item trata do dimensionamento dos eixos das roldanas superiores (elementos 30-32, 34-36, 31-33 e 35-37 des. folha 2 ), e das pontas de eixo dos mancais de tombamento da estrutura basculante (elemento 1-2 e 3-4 des. folha 2).

Este dimensionamento fez-se necessário, uma vez que o cálculo estrutural adotado para o conjunto não permitiu a modelagem fiel desses elementos.

Os eixos das roldanas superiores foram dimensionados, levando-se em conta somente as forças de cisalhamento, devido à proximidade da polia à estrutura.

A figura 7 -5.5, mostra esquematicamente a solicitação dos referidos eixos.

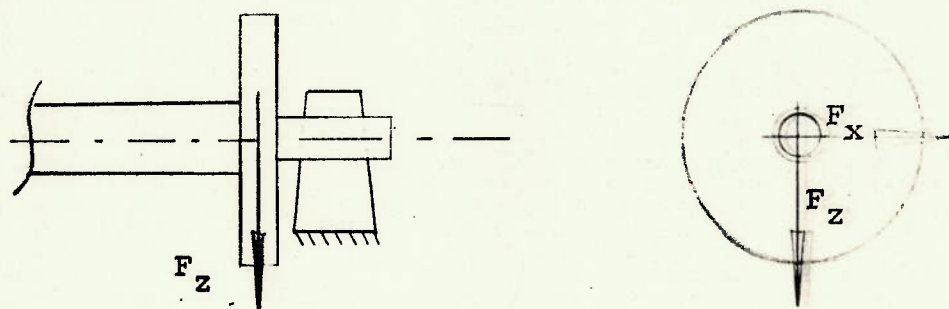


Figura 7 -5.5.:  
Solicitação dos eixos das roldanas superiores.

Conforme [8], o diâmetro do eixo pode ser colocado como:

$$d = \left( \frac{4 P}{\pi \zeta_{adm}} \right)^{1/2} \quad (25-5.5)$$

$$P = (F_x^2 + F_z^2)^{1/2} \quad (26-5.5)$$

$$\zeta = 0,55 \zeta_{adm} \quad (27-5.5)$$

$$\zeta_{adm} = 5,5 \text{ kgf/mm}^2$$

Adotando-se os valores das forças cortantes obtidas no cálculo estrutural da estrutura basculante, obtêm-se os seguintes resultados:

Caso de carreg.	Diâmetro mínimo do eixo (mm)			
	eixo 30-32	eixo 31-33	eixo 34-36	eixo 35-37
1	8,93	8,93	7,19	7,19
2	9,22	9,18	7,47	7,35
3	9,69	9,64	7,84	7,72
4	11,08	11,08	11,74	11,74
5	16,36	16,36	13,17	13,17
6	14,37	14,37	11,57	11,57

Tabela 29 -5.5.: Resultados do dimensionamento dos eixos das roldanas fixas da estrutura basculante.

Por outro lado, as roldanas destes eixos deverão ter um diâmetro interno de no mínimo 30 mm, considerando um fator dinâmico de 1,25 [22]. Por razões de facilidade de construção, foi adotado o valor de 30 mm para o diâmetro dos quatro eixos aqui considerados.

Observa-se que as pontas de eixo dos mancais de tombamento da estrutura basculante, são solicitadas a cisalhamento

puro, conforme ilustrado na figura 8 -5,5.

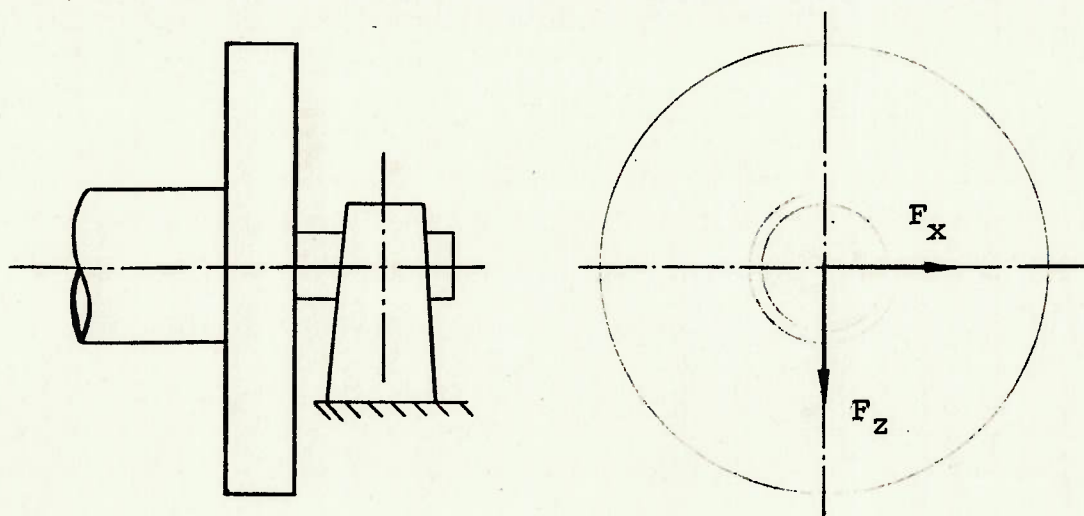


Figura 8 -5.5.

Solicitação das pontas de eixo dos mancais de tombamento.

O diâmetro mínimo dos eixos foi obtido adotando-se o procedimento descrito e considerando as forças resultantes do dimensionamento da estrutura basculante. Foi assumido ainda um fator de concentração de tensões de 1,62 , obtido conforme [22].

Os resultados do dimensionamento constam da tabela 31-5.5.

Caso de carreg.	1	2	3	4	5	6
Ponta 1-3	10,00	7,57	0,30	12,51	32,08	25,70
Ponta 2-4	10,00	13,26	15,93	12,51	32,08	25,70

Tabela 31-5.5.: Diâmetro mínimo das pontas de eixo 1-2 e 3-4 dos mancais de tombamento. Dimensões em mm.

Os rolamentos adequados, escolhidos conforme [22], têm um diâmetro mínimo interno de 35 mm. Assim, o diâmetro das pontas de eixo dos mancais de tombamento foi escolhido em 35 mm.

## 5.6. Estrutura Fixa

A estrutura fixa da máquina é apresentada em detalhe no desenho da folha 3.

Nesse desenho, as interligações entre os pontos 1 a 24 definem os elementos pelos quais é constituída a estrutura fixa. As tabelas de 32 -5.5. a 35 -5.5. apresentam as características dimensionais das seções desses elementos, conforme memorial de cálculo apresentado no final do presente capítulo.

As forças atuantes na estrutura fixa são as reações de apoio da estrutura basculante. Os resultados do cálculo estrutural contêm estas reações que servem como dados de entrada para o cálculo estrutural da estrutura fixa.

A conversão das coordenadas locais, conforme a figura 6 -5.5., correspondente aos elementos 1, 2, 13, 14, 15 e 16 para as coordenadas globais  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , consta das tabelas de 37 -5.5. a 39 -5.5.,

As reações foram apresentadas nas tabelas 40 -5.5. e 41 -5.5..

A estrutura fixa é presa ao caminhão ou à carreta em quatro pontos: dois inferiores e dois superiores.

Os apoios inferiores são articulados por pinos com os seus eixos na direção  $y$ . Os superiores, devido à existência de um reforço interno na carroceria (descrito no item 5,7.) impedem o movimento na direção  $x$ .

As tabelas de 32 -5.5. a 35 -5.5., contêm os resultados do cálculo da tensão equivalente conforme o critério apresentado no cálculo da estrutura basculante para os quatro primeiros casos.

A tabela de 42 -5.5. a 47 -5.5., contêm as cargas correspondentes nos elementos. Neste caso, foi apresentado apenas o resultado final do ciclo iterativo de dimensionamento.

As tabelas de 32 -5.5. a 35 -5.5., seguem a mesma disposição e as mesmas convenções que a utilizada nas tabelas correspondentes do parágrafo anterior.

Estas tabelas evidenciam a necessidade de se reforçar a estrutura fixa.

Conforme alterações apresentadas no desenho de conjunto, des. folha 1, tem-se que:

- os elementos 1-2 e 3-4 são substituídos por placas triangulares;
- o elemento 6-11, e, por razões de simetria, o elemento 5-10, são reforçados pela substituição das cantoneiras entre os pontos 5-6 e 16-17 do lado dianteiro da máquina, por perfis U de 100 mm x 40 mm x 4,76 mm;
- as cantoneiras 3-7, 4-8, 5-18 e 6-19 são reforçadas, passando de 40 mm x 40 mm x 4,76 mm para 50 mm x 50 mm x 4,76 mm;
- os elementos 10-12 e 11-13 são aliviados, soldando-se cantoneiras de 50 mm x 50 mm x 4,76 mm entre os pontos 14-5 e 15 - 16. Outra alternativa de solução, não indicada no desenho de conjunto seria substituir os elementos 10-12 e 11-13 por placas triangulares soldadas na viga U a partir dos pontos 10 e 11, no sentido de 5 e 6 respectivamente. Os pontos 12 e 13 seriam ligados entre si por uma viga U. As articulações dos pistões seriam montadas nos pontos 14 e 15, soldando-se sobre a viga U, em cada ponto, dois pedaços de ferro chato.

O desenho de conjunto (des. folha 1) e a fig. 7-5.5., mostram a utilização de mancais autocompensadores nas pontas de eixo das roldanas (pontos 32, 33, 36 e 37), em substituição aos mancais rígidos considerados na modelagem da estrutura basculante com o computador.

Esta solução alivia o momento torsor imposto pela deformação do eixo das roldanas sobre as vigas U, na base dos mancais (pontos 22, 23, 26 e 27).

Antes da construção do protótipo, as alternativas aqui apresentadas, serão adequadamente modeladas e analisadas uma vez mais com o auxílio do computador.



### 5.7. - Suportes de Fixação da Máquina na Carroceria de Caminhões ou de Carretas.

É apresentado a seguir o projeto de fixação da máquina à carroceria do caminhão ou da carreta.

A máquina é presa em dois pontos inferiores que garantem basicamente a sustentação, e em dois pontos superiores que complementam a fixação da estrutura fixa. A figura 1-5.7. ilustra a fixação.

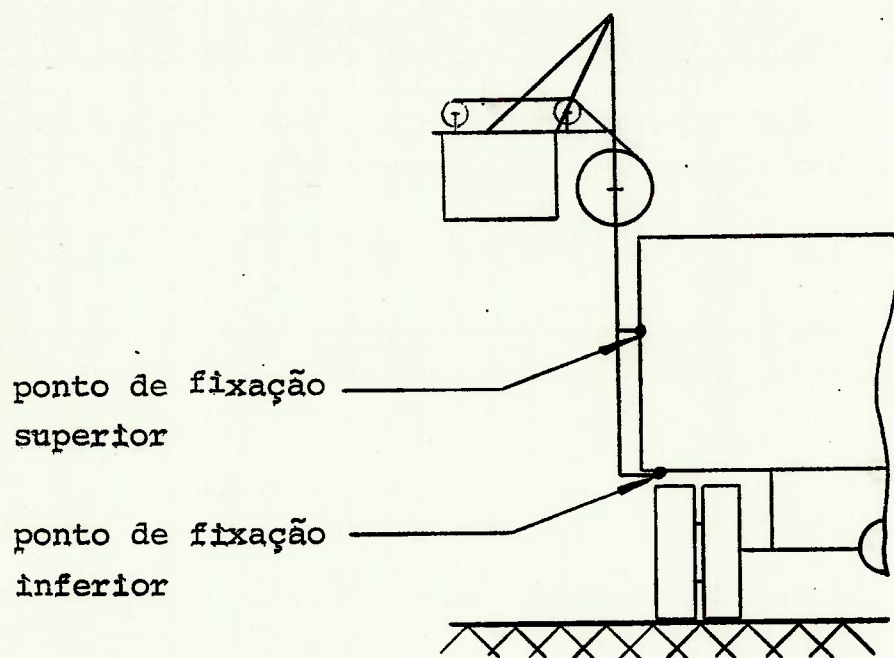


Figura 1.5.7 - Fixação da máquina ao caminhão.

#### a) Suportes inferiores.

Estes suportes consistem em duas vigas "duplo I" colocadas transversalmente no caminhão entre as sobrelongarinas e o piso da carroceria. Os pontos inferiores da estrutura fixa ( - pontos 1 e 2 des. folha 3), são articulados a estas vigas transversais por pinos.

As vigas transversais são dimensionadas em função dos esforços a elas transmitidos pela estrutura fixa. Utilizando

Caso de carreg.	Ponto	Forças (Kgf)			Momentos (Kgf.m)	
		F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>z</sub>
1	1	204	0	-362	0	0
	2	204	0	-362	0	0
2	1	147	110	-828	0	-8
	2	259	111	102	1	-9
3	1	245	121	-876	-1	-9
	2	368	123	151	-1	-10
4	1	193	-1	-363	0	0
	2	193	1	-363	0	0

Tabela 1-5.7.: Cargas nos pontos inferiores de fixação.

dados obtidos no item 5.6. calculam-se os esforços correspondentes aos quatro primeiros casos de carregamento. Os resultados são apresentados na tabela 1-5.7. respeitando a orientação dos eixos da folha 3 do desenho de conjunto.

Percebe-se que os momentos aplicados são desprezíveis. Desta forma a solicitação das vigas transversais pode ser representadas pela figura 2.5.7

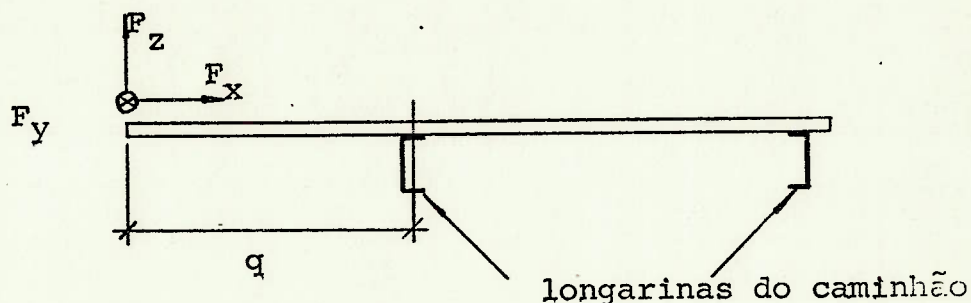


Figura 2.5.7 - Solicitação das vigas transversais.

A tensão máxima na viga pode ser calculada como:

$$\sigma_{\text{máx.}} = \left| \frac{F_z \cdot q}{W_y} \right| + \left| \frac{F_y \cdot q}{W_z} \right| + \left| \frac{F_x}{A_1} \right| \quad (1-5.7)$$

$\sigma_{\text{máx}}$  : tensão máxima ( $\text{kgf/mm}^2$ )

$q$  : distância do ponto de aplicação da carga até a longarina do caminhão. Esta distância foi medida em vários caminhões sendo o valor médio igual a 833mm.

$W_y$  : módulo de regidez da seção da viga transversal em relação ao eixo  $y$  ( $\text{mm}^3$ )

$W_z$  : módulo de rigidez da seção da viga transversal em relação ao eixo  $z$  ( $\text{mm}^3$ )

$A_1$  : área da seção da viga transversal ( $\text{mm}^2$ )

Em função do espaço disponível entre a sobrelongarina e o piso da carroceria escolheu-se para cada viga transversal, duas vigas "I" de 4" x 1/4", soldadas de modo a formar vigas fechadas. As características da seção assim obtida são [3]

$$W_y = 104.800 \text{ mm}^3$$

$$W_z = 64867 \text{ mm}^3$$

$$A_1 = 2 \cdot 1587 \text{ mm}^2 = 3174 \text{ mm}^2$$

Verifica-se que a tensão máxima é de  $8,6 \text{ kgf/mm}^2$ , valor julgado adequado.

#### b) Suportes superiores

Os pontos 23 e 24 da estrutura fixa indicados no desenho folha 3 são presos na lateral da carroceria do caminhão ou da carreta. Julgou-se necessário reforçar internamente a carroceria para evitar que a sua parede lateral cedesse aos esforços. A figura 3.5.7. mostra a estrutura do reforço interno.

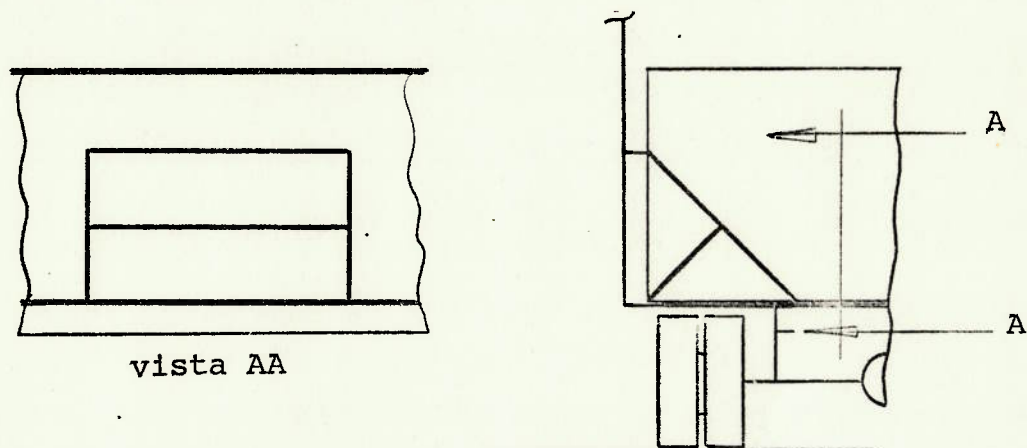


Figura 3.5.7 - Estrutura do reforço interno.

Os esforços são os calculados no parágrafo 5.6., referentes aos pontos 23 e 24. Observa-se que apenas os esforços na direção  $x$  não são desprezíveis. A força de compressão em cada uma das vigas maiores inclinadas pode ser calculada como:

$$F_c = \frac{-F_x}{\cos 45^\circ} \quad (2-5.7)$$

Admite-se que a componente vertical e uma eventual componente horizontal na direção  $y$  sejam absorvidas inteiramente

pela parede lateral da carroceria.

A maior força de tração encontrada é de 996 kgf. Escolhe-se um perfil fechado de seção quadrada de 30 mm x 30mm x 4,76 , e procede-se a verificação da resistência da viga.

A área da seção pode ser calculada em:

$$A_1 = (30 \text{ mm}^2) - (30\text{mm} - 2 \cdot 4,16 \text{ mm}^2) \quad (3-5.7)$$

$$A_1 = 481 \text{ mm}^2$$

e a tensão máxima de tração é de:

$$\frac{996 \text{ kgf}}{481 \text{ mm}^2} = 2,07 \text{ kgf/mm}^2$$

Ressalta-se que foi escolhido um perfil fechado a fim de evitar a danificação das frutas durante o carregamento de caminhão.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÃO

A pesquisa inicial quanto aos equipamentos mecânicos de carregamento de caminhões em pomares, mais usados no Brasil e no exterior, permitiu concluir que a citricultura brasileira caminha rapidamente para esta mecanização.

O não planejamento dos pomares para a mesma, no entanto, cria dificuldades à adaptação de equipamentos convencionais.

O projeto do sistema desenvolvido neste trabalho, ponderou detalhadamente as características desejáveis em um equipamento para operar com um elevado grau de liberdade e confiança dentro destes pomares.

A estrutura da máquina é alta o bastante para não prejudicar a copa das árvores, quando basculada em cima da carroceteria do caminhão. Dado ser feito uso da potência do próprio caminhão ou trator para o seu funcionamento, o custo do investimento inicial não envolve a parcela do motor. A adaptação do equipamento nos caminhões é bastante simples, uma vez que as vigas suportes do mesmo, ficam com este equipamento, dentro da própria fazenda. O emprego de cabos de aço elimina o efeito das irregularidades do solo no posicionamento relativo entre a máquina e as caixas com frutas. O posicionamento do caminhão em relação às caixas não é crítica, permitindo-se desviar de mais de um metro em relação à posição ideal.

A concepção técnica usada atendeu à maioria das exigências dos potenciais usuários. A otimização dos projetos cinemático, óleo-hidráulico, estrutural e mecânico foi levada ao seu máximo neste estágio anterior à construção do protótipo.

Assim, o projeto óleo-hidráulico não permite ao operador a execução de comandos errôneos. O projeto estrutural prevê o caso de rompimento de um dos cabos ou uma das correntes-

sem o comprometimento da estrutura. Os diâmetros das polias dos cabos de aço seguem orientação dos fabricantes.

Ao término da construção do protótipo, serão feitos testes de laboratório e de campo com o mesmo, objetivando - levantar-se as necessárias informações para a sua realimentação.

Elem.	* Crítico		Perfil										Carreg.	Tensão máx. equivalente (kgf/mm <sup>2</sup> )		Carga Estr. Basc.
	I	J	Tipo	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	J <sub>1</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	e (m)	Inicial	Final						
3	3	*5	12	0,106 10 <sup>-2</sup>	0,187 10 <sup>-5</sup>	0,212 10 <sup>-4</sup>	0,212 10 <sup>-4</sup>	0,212 10 <sup>-4</sup>	0,800 10 <sup>-2</sup>	5	11,08	3,07	1			
4	*6	4	12	"	"	"	"	"	"	5	11,08	3,07	2			
5	5	*7	13	0,226 10 <sup>-2</sup>	0,647 10 <sup>-5</sup>	0,571 10 <sup>-4</sup>	0,571 10 <sup>-4</sup>	0,571 10 <sup>-4</sup>	0,135 10 <sup>-1</sup>	5	20,23	20,18	3			
5	5	*7	13	"	"	"	"	"	"	6	15,41	3,45	4			
6	*7	6	13	"	"	"	"	"	"	5	20,23	20,18	5			
6	*7	6	13	"	"	"	"	"	"	6	15,41	3,45	6			
7	*3	16	5	0,767 10 <sup>-3</sup>	0,613 10 <sup>-8</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,384 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	3	10,76	12,12	7			
7	*3	16	5	"	"	"	"	"	"	5	19,59	23,09	8			
7	*3	16	5	"	"	"	"	"	"	6	14,66	16,20	9			
8	*16	18	5	"	"	"	"	"	"	5	5,33	5,05	10			
9	*4	17	5	"	"	"	"	"	"	5	19,59	23,09	11			
9	*4	17	5	"	"	"	"	"	"	6	14,66	16,20	12			
10	*17	19	5	"	"	"	"	"	"	5	5,33	5,05	13			
11	*3	8	9	0,726 10 <sup>-3</sup>	0,203 10 <sup>-7</sup>	0,115 10 <sup>-5</sup>	0,115 10 <sup>-5</sup>	0,921 10 <sup>-5</sup>	0,953 10 <sup>-2</sup>	3	11,14	9,13	14			

Tabela 1-5.5 :

Tensões atuantes nos modelos estruturais simulados-inicial e final.



Elem.	* Crítico		Perfil										Carreg.	Tensão máx. equivalente (kgf/mm <sup>2</sup> )		Carga Estr. Basc.
	I	J	Tipo	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	J <sub>1</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	e (m)	Inicial	Final						
11	*3	8	9	0,726 10 <sup>-3</sup>	0,203 10 <sup>-7</sup>	0,115 10 <sup>-5</sup>	0,921 10 <sup>-5</sup>	0,953 10 <sup>-2</sup>	5	10,45	11,19	15				
12	*4	9	9	"	"	"	"	"	5	10,45	11,19	16				
13	*8	10	5	0,767 10 <sup>-3</sup>	0,613 10 <sup>-8</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,384 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	5	0,60	-	17				
14	*9	11	5	"	"	"	"	"	5	0,60	-	18				
15	*10	12	7	0,403 10 <sup>-3</sup>	0,764 10 <sup>-8</sup>	0,534 10 <sup>-6</sup>	0,341 10 <sup>-5</sup>	0,794 10 <sup>-2</sup>	5	0,95	-	19				
16	*11	13	7	"	"	"	"	"	5	0,95	-	20				
17	*14	15	1	0,148 10 <sup>-3</sup>	0,493 10 <sup>-9</sup>	0,490 10 <sup>-6</sup>	0,490 10 <sup>-6</sup>	0,318 10 <sup>-2</sup>	5	0,24	-	21				
18	*14	12	2	0,342 10 <sup>-3</sup>	0,266 10 <sup>-8</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	5	0,07	-	22				
19	*12	22	2	"	"	"	"	"	5	1,65	-	23				
20	*15	13	2	"	"	"	"	"	5	0,07	-	24				
21	*13	23	2	"	"	"	"	"	5	1,65	-	25				
22	*16	20	18	0,124 10 <sup>-2</sup>	0,822 10 <sup>-6</sup>	0,290 10 <sup>-4</sup>	0,160 10 <sup>-4</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	5	3,69	-	26				
23	20	*22	18	"	"	"	"	"	5	5,36	4,81	27				
24	22	*24	5	0,767 10 <sup>-3</sup>	0,613 10 <sup>-8</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,384 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	5	10,68	13,30	28				

Tabela 2-5.5 :

Tensões atuantes nos modelos estruturais simulados-inicial e final.

Elem.	* Crítico		Perfil							Carreg.	Tensão máx. equivalente (kgf/mm <sup>2</sup> )		Carga Estr. Basc.
	I	J	Tipo	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	J <sub>1</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	e (m)	Inicial		Final		
25	*24	26	5	0,767 10 <sup>-3</sup>	0,613 10 <sup>-8</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,384 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	5	10,85	13,62	29	
25	24	*26	5	"	"	"	"	"	5	12,78	15,57	29	
26	26	*28	5	"	"	"	"	"	5	5,86	5,70	30	
27	17	*21	18	0,124 10 <sup>-2</sup>	0,822 10 <sup>-6</sup>	0,290 10 <sup>-4</sup>	0,160 10 <sup>-4</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	5	3,08	-	31	
28	21	*23	18	"	"	"	"	"	5	5,36	5,33	32	
29	23	*25	5	0,767 10 <sup>-3</sup>	0,613 10 <sup>-8</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,384 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	5	10,68	13,30	33	
30	*25	27	5	"	"	"	"	"	5	10,85	13,62	34	
30	25	*27	5	"	"	"	"	"	5	12,78	15,57	34	
31	27	*29	5	"	"	"	"	"	3	7,84	7,26	35	
32	22	*18	2	0,342 10 <sup>-3</sup>	0,266 10 <sup>-8</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	3	1,87	-	36	
33	23	*19	2	"	"	"	"	"	3	2,34	-	37	
34	24	*18	2	"	"	"	"	"	3	3,62	-	38	
35	25	*19	2	"	"	"	"	"	3	2,74	-	39	
36	*22	30	15	0,807 10 <sup>-3</sup>	0,448 10 <sup>-6</sup>	0,135 10 <sup>-4</sup>	0,681 10 <sup>-5</sup>	0,794 10 <sup>-2</sup>	5	12,70	12,29	40	

Tabela 3-5.5 :

Tensões atuantes nos modelos estruturais simulados-inicial e final.

Elem.	* Crítico		Perfil										Carreg.	Tensão máx. equivalente (kgf/mm <sup>2</sup> )		Carga Estr. Basc.
	I	J	Tipo	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	J <sub>1</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	e (m)	Perfis		Inicial	Final				
									W <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	e (m)						
37	*23	31	15	0,807 10 <sup>-3</sup>	0,448 10 <sup>-6</sup>	0,135 10 <sup>-4</sup>	0,681 10 <sup>-5</sup>	0,794 10 <sup>-2</sup>			12,70	12,29	41			
38	*26	34	15	"	"	"	"	"			9,52	10,39	42			
39	*27	35	15	"	"	"	"	"			9,52	10,39	43			
44	*46	28	2	0,342 10 <sup>-3</sup>	0,266 10 <sup>-8</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>			0,92	-	44			
45	*28	29	5	0,767 10 <sup>-3</sup>	0,613 10 <sup>-8</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,384 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>			2,58	-	45			
46	*29	42	2	0,342 10 <sup>-3</sup>	0,266 10 <sup>-8</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>			7,94	7,67	46			
47	*48	42	2	"	"	"	"	"			1,66	-	47			
48	*22	38	2	"	"	"	"	"			15,35	-	48			
48	*22	38	5	0,767 10 <sup>-3</sup>	0,613 10 <sup>-8</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,384 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>			-	9,21	48			
48	*22	38	2	0,342 10 <sup>-3</sup>	0,266 10 <sup>-8</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>			16,94	-	49			
48	*22	38	5	0,767 10 <sup>-3</sup>	0,613 10 <sup>-8</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,384 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>			-	10,23	49			
49	*38	39	2	0,342 10 <sup>-3</sup>	0,266 10 <sup>-8</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>			2,79	-	50			
50	39	*23	2	"	"	"	"	"			16,37	-	51			
50	39	*23	5	0,767 10 <sup>-3</sup>	0,613 10 <sup>-8</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,384 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>			-	8,93	51			

Tabela 4-5.5 :

Tensões atuantes nos modelos estruturais simulados-inicial e final.

Elem.	* Crítico		Perfil								Carreg.	Tensão máx. Equivalente (kgf/mm <sup>2</sup> )		Carga Estr. Basc.
	I	J	Tipo	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	J <sub>1</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	e (m)	Inicial	Final				
												Final		
50	39	*23	2	0,342 10 <sup>-3</sup>	0,266 10 <sup>-8</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	18,21	-	52			
50	39	*23	5	0,767 10 <sup>-3</sup>	0,613 10 <sup>-8</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,384 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	-	9,90	52			
51	*23	44	2	0,342 10 <sup>-3</sup>	0,266 10 <sup>-8</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	8,60	7,34	53			
52	*46	47	2	"	"	"	"	"	0,94	-	54			
53	*47	48	2	"	"	"	"	"	1,11	-	55			
54	*42	43	2	"	"	"	"	"	0,94	-	56			
55	*43	44	2	"	"	"	"	"	1,11	-	57			
56	*47	49	1	0,148 10 <sup>-3</sup>	0,493 10 <sup>-9</sup>	0,490 10 <sup>-6</sup>	0,490 10 <sup>-6</sup>	0,318 10 <sup>-2</sup>	0,46	-	58			
57	*43	45	1	"	"	"	"	"	0,46	-	59			
58	*48	49	2	0,342 10 <sup>-3</sup>	0,266 10 <sup>-8</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	0,71	-	60			
59	*44	45	2	"	"	"	"	"	0,71	-	61			
60	*49	18	2	"	"	"	"	"	0,25	-	62			
61	*18	41	2	"	"	"	"	"	4,82	-	63			
62	*40	41	2	"	"	"	"	"	2,38	-	64			

Tabela 5-5.5 :

Tensões atuantes nos modelos estruturais simulados-inicial e final.

Elem.	* Crítico		Perfil							Carreg.	Tensão máxima Equivalente (kgf/mm <sup>2</sup> )		Carga Estr. Basc.
	I	J	Tipo	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	J <sub>1</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	e (m)	Inicial		Final		
63	*41	19	2	0,342 10 <sup>-3</sup>	0,266 10 <sup>-8</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,164 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	5	2,50	-	65	
64	*19	45	2	"	"	"	"	"	5	2,56	-	66	
65	*38	40	1	0,148 10 <sup>-3</sup>	0,493 10 <sup>-9</sup>	0,490 10 <sup>-6</sup>	0,490 10 <sup>-6</sup>	0,318 10 <sup>-2</sup>	5	0,17	-	67	
66	*39	41	1	"	"	"	"	"	5	0,17	-	68	
67	*36	37	22	0,115 10 <sup>-3</sup>	0,184 10 <sup>-7</sup>	0,138 10 <sup>-4</sup>	0,138 10 <sup>-4</sup>	0,290 10 <sup>-2</sup>	5	2,41	-	69	
68	*8	20	5	0,767 10 <sup>-3</sup>	0,613 10 <sup>-8</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,384 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	5	6,19	-	70	
69	*9	21	5	"	"	"	"	"	5	6,19	-	71	
70	*32	33	22	0,115 10 <sup>-3</sup>	0,184 10 <sup>-7</sup>	0,138 10 <sup>-4</sup>	0,138 10 <sup>-4</sup>	0,290 10 <sup>-2</sup>	5	4,68	-	72	

Tabela 6-5.5 :  
Tensões atuantes nos modelos estruturais simulados-inicial e final.

Tipo do Elemento	Comprimento (m)	Peso/metro (kgf/m)	Peso (kgf)	X <sub>G</sub> (m)	Momento (kgf/m)	Z <sub>G</sub> (m)	Momento (kgf/m)	Referência
Viga U (100 x 40 x 3/16")	2 x 0,985		11,86	- 0,565	- 6,70	0,215	2,55	5
	2 x 0,960	6,02	11,56	0	0	0,480	5,55	
	0,970		5,84	- 1,050	- 6,13	0,200	1,17	
2 x 0,300	7,78	4,67	0	0	0,150	0,70		
2 x 0,710		1,80	- 0,170	- 0,31	0,595	1,07		
Cantoneira (38,1 x 38,1 x 1/8")	2 x 1,020	1,27	2,59	- 0,480	- 1,24	0,575	1,49	8
	0,980		1,24	- 0,275	- 0,34	- 0,460	- 0,57	
	2 x 0,800		4,26	- 0,675	- 2,88	0,200	0,85	
4 x 0,710		7,55	- 0,170	- 1,28	0,595	4,49		
	1,800		4,79	- 0,275	- 1,32	0,200	0,96	
	1,800	2,66	4,79	- 0,075	- 0,36	0,930	4,45	
	2 x 0,900		4,79	- 0,275	- 1,32	- 0,270	- 1,29	
	2 x 1,020		5,43	- 0,480	- 2,61	0,575	3,12	
	0,840		2,23	- 1,050	- 2,34	0,200	0,45	
Ferro Chato (50,8 x 5/16")	2 x 0,190	3,17	1,20	- 0,190	- 0,23	- 0,075	- 0,09	
	2 x 0,250	3,80	1,75	- 0,115	- 0,20	- 0,165	- 0,29	

Tabela 7.5.5 :  
Efeito dos Perfis no peso e centro de gravidade do sub-conjunto basculante.

Tipo de Elemento	Área (m <sup>2</sup> )	Peso/metro	Peso (kgf)	X <sub>G</sub> (m)	Momento (kgf.m)	Z <sub>G</sub> (m)	Momento (kgf.m)	Ref.
Chapa retangular perfurada 0,70 x 1,75	1,23	3,00	3,68	-0,170	-0,63	0,595	2,19	8
Chapa triangular perfurada h= 450 λ= 370	4 x 0,08		0,96	-0,400	-0,38	0,450	0,43	

Tabela 8-5.5 : Efeito das roldanas no peso e centro de gravidade do sub-conjunto basculante.

Tipo de Elemento	Peso (kgf)	X <sub>G,22</sub> (m)	Momento (kgf.m)	Z <sub>G,22</sub> (m)	Momento (kgf.m)
roldanas	2 x 4,10*	- 0,235	- 1,93	0,315	2,58
	4 x 4,10*	- 0,975	-15,99	0,315	5,17

Tabela 9-5.5 : Efeito das chapas no peso e centro de gravidade do sub-conjunto basculante.

	Peso (kgf)	X <sub>G</sub> (m)	Z <sub>G</sub> (m)
Perfis	76,35	- 0,36	0,32
Chapas	4,64	- 0,22	0,56
Roldanas	24,60	- 0,73	0,32
Estrutura	105,59	- 0,44	0,33

Tabela 10-5.6 : Composição do peso e centro de gravidade da estrutura basculante.

Tipo de Elemento	Posição	Comprimento (m)	Peso/metro (kgf/m)	Peso (kgf)	Ref.
Cantoneira (25,4 x 25,4 x 1/8")	lateral	6 x 0,60	1,27	4,57	8
	fundo	4 x 0,75		3,81	
	fundo	2 x 1,70		4,32	
	tampa	2 x 0,75		1,91	
	tampa	2 x 1,70		6,22	
Cantoneira (50,8 x 50,8 x 3/16")			1,83		
Peso dos perfis (kgf)				20,83	

Tabela 11-5.5: Efeito dos perfis da caixa no peso do subconjunto basculante.

Tipo de Elemento	Posição	Área (m <sup>2</sup> )	Peso/metro (kgf/m <sup>2</sup> )	Peso kgf	Ref.
Chapa (0,60 x 0,70)m	lateral	2 x 0,42	3,00	2,52	8
				6,12	
Chapa (0,60 x 1,70)m	lateral	2 x 1,02			
Chapa (0,70 x 1,70)m	fundo	1,19		3,57	
Peso das chapas (kgf.)				12,21	

Tabela 12-5.5 : Efeito das chapas da caixa no peso do subconjunto basculante.



	Peso (kgf)	$X_G$ (m)	$Z_G$ (m)
Caixa	33,04	-0,685	-0,135

Tabela 13-5.5 : Efeito da caixa no sub-conjunto basculante.

	Peso (kgf)	Início de tombamento		Término de tombamento	
		$X_G$ (m)	$Z_G$ (m)	$X_G$ (m)	$Z_G$ (m)
Estrutura basculante	105,59	-0,44	0,33	0,46	0,30
Caixa	33,04	-0,685	-0,135	0,11	0,69
Estrutura basculante + Caixa	138,63	-0,50	0,22	0,38	0,39
Estrutura basculante + Frutas + Caixas	738,63	-0,65	-0,07	0,16	0,63

Tabela 14-5.5 : Centros de gravidade para início e fim de tombamento.

Pontos (nós)	5 e 6				7		22 e 23		
	R <sub>x</sub>	R <sub>z</sub>	M <sub>y</sub>	R <sub>z</sub>	M <sub>y</sub>	R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	R <sub>z</sub>	
F <sub>cabo</sub>									
1	-267	169	-73	-1324	145	-	-	-	
2	-283	179	-77	-1401	154	0	55	9	
3	-313	198	-85	-1547	170	-73	61	27	
4	-411	260	-112	-2032	224	0	0	85	
5	-896	567	-244	-4432	488	0	0	37	
6	-691	437	-188	-3419	376	0	0	251	

Tabela 15 - 5.5. : Forças atuantes nos nós da estrutura basculante.

Caso	Pontos (nós)	28 e 29			32 e 33			36 e 37	
		$R_x$	$R_y$	$R_z$	$R_x$	$R_z$	$R_x$	$R_z$	
1	F cabo 109	-	-	-	109	-327	158	-158	
2	116	0	55	9	116	-347	168	-168	
3	128	-73	61	27	128	-383	185	-185	
4	167	0	0	85	167	-503	243	-243	
5	366	0	0	372	366	-1097	530	-530	
6	282	0	0	251	282	- 846	409	-409	

Tabela 16 - 5,5, : Forças atuantes nos nós da estrutura basculante.

Referência Carga Estr. Basculante	Forças ( N )			Momentos (N. m)		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
	-3.222E+02 3.222E+02	1.649E+04 -1.649E+04	-8.960E+03 8.960E+03	-1.349E-06 1.349E-06	8.905E+01 6.277E+02	-3.038E+02 1.623E+03
1						
-3.141E+02 3.141E+02	1.549E+04 -1.549E+04	-8.960E+03 8.960E+03	-3.390E-05 3.390E-06	9.841E+01 6.184E+02	-2.893E+02 1.609E+03	
1						
-3.222E+02 3.222E+02	-1.649E+04 1.649E+04	8.960E+03 -8.960E+03	-1.483E-05 1.483E-05	-6.277E+02 -8.905E+01	-1.623E+03 3.038E+02	
2						
-3.141E+02 3.141E+02	-1.649E+04 1.649E+04	8.960E+03 -8.960E+03	-3.472E-06 3.472E-06	-6.184E+02 -9.841E+01	-1.609E+03 2.893E+02	
2						
-3.222E+02 3.222E+02	2.216E+04 -2.216E+04	-2.020E-06 2.020E-06	2.440E+03 -2.440E+03	-6.277E+02 6.277E+02	-1.623E+03 1.623E+03	
3						
-3.141E+02 3.141E+02	2.216E+04 -2.216E+04	-2.669E-06 2.669E-06	2.440E+03 -2.440E+03	-6.184E+02 6.184E+02	-1.609E+03 1.609E+03	
3						
-2.515E+02 2.515E+02	1.710E+04 -1.710E+04	-1.479E-06 1.479E-06	1.881E+03 -1.881E+03	-5.015E+02 5.015E+02	-1.121E+03 8.216E+03	
4						
-2.432E+02 2.432E+02	1.710E+04 -1.710E+04	-1.520E-06 1.520E-06	1.881E+03 -1.881E+03	-4.937E+02 4.937E+02	-1.111E+03 8.205E+03	
4						
-3.222E+02 3.222E+02	-2.216E+04 2.216E+04	-2.384E-06 2.384E-06	-2.440E+03 2.440E+03	-6.277E+02 6.277E+02	-1.082E+04 1.623E+03	
5						

Tabela 17 -5,5.  
Cargas nos elementos da estrutura basculante

Referência Carga Estr. Basculante	Forças (N)			Momentos (N.m)		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
5	-3.141E+02 3.141E+02	-2.216E+04 2.216E+04	-2.921E-06 2.921E-06	-2.440E+03 2.440E+03	-6.184E+02 6.184E+02	-1.080E+04 1.609E+03
5	-2.515E+02 2.515E+02	-1.710E+04 1.710E+04	-1.490E-06 1.490E-06	-1.882E+03 1.882E+03	-5.015E+02 5.015E+02	-8.216E+03 1.121E+03
6	-2.432E+02 2.432E+02	-1.710E+04 1.710E+04	-1.729E-05 1.729E-06	-1.882E+03 1.882E+03	-4.937E+02 4.937E+02	-8.205E+03 1.111E+03
7	-4.522E+03 4.522E+03	-1.616E+03 1.616E+03	1.318E+03 -1.318E+03	8.652E+00 -8.652E+00	2.010E+02 -4.862E+02	-3.493E+02 -5.786E-01
7	-4.939E+03 4.939E+03	-1.735E+03 1.735E+03	1.478E+03 -1.478E+03	5.732E+00 -5.732E+00	1.527E+02 -4.726E+02	-3.081E+02 -6.748E+01
8	3.929E+03 -3.929E+03	-2.201E+03 2.201E+03	6.860E+03 -6.860E+03	3.349E+00 -3.349E+00	-6.556E+02 -8.293E+02	-6.095E+02 1.330E+02
8	3.811E+03 -3.811E+03	-2.229E+03 2.229E+03	6.906E+03 -6.906E+03	3.151E+00 -3.151E+00	-6.721E+02 -8.228E+02	-6.223E+02 1.398E+02
9	4.401E+02 -4.401E+02	-1.933E+03 1.933E+03	5.114E+03 -5.114E+03	2.303E+00 -2.303E+00	-4.277E+02 -6.792E+02	-4.805E+02 6.206E+01
9	3.392E+02 -3.392E+02	-1.944E+03 1.944E+03	5.152E+03 -5.152E+03	2.147E+00 -2.147E+00	-4.415E+02 -6.736E+02	-4.895E+02 6.876E+01

Tabela 1.8 -5.5.:  
Cargas nos elementos da estrutura basculante

Referência Carga Estr. Basculante	Forças (N)			Momentos (N.m)		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
10	1.111E+03 -1.111E+03	-3.772E+02 3.772E+02	-1.464E+02 1.464E+02	-8.678E-01 8.678E-01	1.056E+02 -4.869E+00	-1.789E+02 -9.080E+01
10	1.137E+03 -1.137E+03	-3.631E+02 3.631E+02	-1.512E+02 1.512E+02	-7.702E-01 7.702E-01	1.128E+02 -4.703E+00	-1.674E+02 -9.221E+01
11	3.929E+03 -3.929E+03	2.201E+03 -2.201E+03	6.860E+03 -6.860E+03	-3.349E+00 3.349E+00	-6.556E+02 -8.253E+02	6.095E+02 -1.330E+02
11	3.811E+03 -3.811E+03	2.229E+03 -2.229E+03	6.906E+03 -6.906E+03	-3.151E+00 3.151E+00	-6.721E+02 -8.228E+02	6.223E+02 -1.398E+02
12	4.401E+02 -4.401E+02	1.933E+03 -1.933E+03	5.114E+03 -5.114E+03	-2.303E+00 2.303E+00	-4.277E+02 -6.752E+02	4.805E+02 -6.206E+01
12	3.392E+02 -3.392E+02	1.944E+03 -1.944E+03	5.152E+03 -5.152E+03	-2.147E+00 2.147E+00	-4.415E+02 -6.736E+02	4.895E+02 -6.876E+01
13	1.111E+03 -1.111E+03	3.772E+02 -3.772E+02	-1.464E+02 1.464E+02	8.678E-01 -8.678E-01	1.096E+02 -4.869E+00	1.789E+02 9.080E+01
13	1.137E+03 -1.137E+03	3.631E+02 -3.631E+02	-1.512E+02 1.512E+02	7.702E-01 -7.702E-01	1.128E+02 -4.703E+00	1.674E+02 9.221E+01
14	1.813E+03 -1.813E+03	1.146E+03 -1.146E+03	1.024E+03 -1.024E+03	-2.111E+01 2.111E+01	-9.954E+01 -1.781E+01	1.835E+02 -5.180E+01

Tabela 19 -5,5.:

Cargas nos elementos da estrutura basculante

Referência Carga Estr. Basculante	Forças ( N )			Momentos ( N. m )		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
14	1.694E+03 -1.694E+03	1.063E+03 -1.063E+03	8.709E+02 -8.709E+02	-1.228E+01 1.228E+01	-8.262E+01 -1.753E+01	1.492E+02 -2.703E+01
15	2.100E+03 -2.100E+03	-7.298E+03 7.298E+03	-2.408E+01 2.408E+01	-4.701E+01 4.701E+01	1.666E+01 -1.389E+01	-6.516E+02 -1.877E+02
15	2.054E+03 -2.054E+03	-7.419E+03 7.419E+03	-1.036E+02 1.036E+02	-4.860E+01 4.860E+01	2.392E+01 -1.201E+01	-6.679E+02 -1.852E+02
16	2.100E+03 -2.100E+03	-7.298E+03 7.298E+03	2.408E+01 -2.408E+01	4.701E+01 -4.701E+01	-1.666E+01 1.389E+01	-6.516E+02 -1.877E+02
16	2.054E+03 -2.054E+03	-7.419E+03 7.419E+03	1.036E+02 -1.036E+02	4.860E+01 -4.860E+01	-2.392E+01 1.201E+01	-6.679E+02 -1.852E+02
17	-2.194E+03 2.194E+03	-9.369E+01 9.369E+01	1.086E+01 -1.086E+01	-1.657E+00 1.657E+00	2.302E+00 -4.054E+00	-9.438E+00 -6.021E+00
18	-2.194E+03 2.194E+03	-9.369E+01 9.369E+01	-1.086E+01 1.086E+01	1.657E+00 -1.657E+00	-2.302E+00 4.054E+00	-9.438E+00 -6.021E+00
19	9.369E+01 -9.369E+01	7.783E+01 -7.783E+01	-1.086E+01 1.086E+01	-4.094E+00 4.094E+00	1.657E+00 5.816E-02	-6.021E+00 1.832E+01
20	9.369E+01 -9.369E+01	7.783E+01 -7.783E+01	1.086E+01 -1.086E+01	4.094E+00 -4.094E+00	-1.657E+00 5.816E-02	-6.021E+00 1.832E+01

Tabela 20 -5.5.:  
Cargas nos elementos da estrutura basculante

Referência Carga Estr. Basculante	Forças ( N )			Momentos ( N. m )		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
21	-4.992E+01 4.992E+01	3.785E-08 -3.785E-08	5.644E-09 -5.644E-09	-2.799E-10 2.799E-10	1.275E-01 -1.275E-01	1.041E+00 -1.041E+00
22	-4.768E-07 4.768E-07	4.992E+01 -4.992E+01	7.451E-09 -7.451E-09	-1.275E-01 1.275E-01	-7.451E-09 -9.313E-09	1.041E+00 1.194E+01
23	7.917E+01 -7.917E+01	5.570E+01 -5.570E+01	-9.571E+01 9.571E+01	8.110E-01 -8.110E-01	1.831E+01 1.815E+01	-7.836E+00 2.905E+01
24	0. 0.	4.992E+01 -4.992E+01	-4.470E-08 4.470E-08	1.275E-01 -1.275E-01	4.657E-09 6.519E-09	1.041E+00 1.194E+01
25	7.917E+01 -7.917E+01	5.570E+01 -5.570E+01	9.571E+01 -9.571E+01	-8.110E-01 8.110E-01	-1.831E+01 -1.815E+01	-7.836E+00 2.905E+01
26	7.007E+03 -7.007E+03	2.263E+03 -2.263E+03	2.538E+03 -2.538E+03	4.589E+01 -4.589E+01	-7.138E+02 4.143E+02	9.998E+01 1.671E+02
27	9.013E+03 -9.013E+03	2.228E+03 -2.228E+03	7.642E+03 -7.642E+03	-1.339E+02 1.339E+02	-6.332E+02 -4.748E+02	-1.324E+02 4.555E+02
27	9.020E+03 -9.020E+03	2.170E+03 -2.170E+03	7.635E+03 -7.635E+03	-1.777E+02 1.777E+02	-6.364E+02 -4.706E+02	-1.365E+02 4.512E+02
28	5.177E+03 -5.177E+03	4.477E+02 -4.477E+02	1.866E+03 -1.866E+03	1.336E+00 -1.336E+00	-2.825E+02 -8.556E+02	4.472E+01 2.284E+02

Tabela 21 -5.5.:  
Cargas nos elementos da estrutura basculante



Referencia Carga Estr. Basculante	Forças ( N )			Momentos ( N. m )		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
	28	5.164E+03 -5.164E+03	4.698E+02 -4.698E+02	1.871E+03 -1.871E+03	1.420E+00 -1.420E+00	-2.861E+02 -8.552E+02
29	5.613E+03 -5.613E+03	4.521E+02 -4.521E+02	1.547E+03 -1.547E+03	2.085E+00 -2.085E+00	8.782E+02 -1.033E+03	-2.285E+02 2.737E+02
29	5.603E+03 -5.603E+03	4.711E+02 -4.711E+02	1.549E+03 -1.549E+03	2.516E+00 -2.516E+00	8.777E+02 -1.033E+03	-2.288E+02 2.759E+02
30	3.127E+02 -3.127E+02	-1.802E+03 1.802E+03	-3.753E+03 3.753E+03	-1.051E+01 1.051E+01	4.499E+02 5.261E-01	-1.364E+01 -2.026E+02
30	3.032E+02 -3.032E+02	-1.782E+03 1.782E+03	-3.751E+03 3.751E+03	-1.034E+01 1.034E+01	4.496E+02 5.107E-01	-1.572E+01 -1.982E+02
31	7.007E+03 -7.007E+03	2.263E+03 -2.263E+03	-2.538E+03 2.538E+03	-4.589E+01 4.589E+01	7.138E+02 -4.143E+02	9.998E+01 1.671E+02
32	9.013E+03 -9.013E+03	2.228E+03 -2.228E+03	-7.642E+03 7.642E+03	1.339E+02 -1.339E+02	6.332E+02 4.748E+02	-1.324E+02 4.555E+02
32	9.020E+03 -9.020E+03	2.170E+03 -2.170E+03	-7.635E+03 7.635E+03	1.777E+02 -1.777E+02	6.364E+02 4.706E+02	-1.365E+02 4.512E+02
33	5.177E+03 -5.177E+03	4.477E+02 -4.477E+02	-1.866E+03 1.866E+03	-1.336E+00 1.336E+00	2.825E+02 8.556E+02	4.472E+01 2.284E+02

Tabela 22 -5.5.:

Cargas nos elementos da estrutura basculante

Referência Carga Estr. Basculante	Forças ( N )			Momentos (N.m)		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
33	5.164E+03 -5.164E+03	4.698E+02 -4.698E+02	-1.871E+03 1.871E+03	-1.420E+00 1.420E+00	2.861E+02 8.552E+02	5.733E+01 2.292E+02
34	5.613E+03 -5.613E+03	4.521E+02 -4.521E+02	-1.547E+03 1.547E+03	-2.085E+00 2.085E+00	-8.782E+02 1.033E+03	-2.285E+02 2.737E+02
34	5.603E+03 -5.603E+03	4.711E+02 -4.711E+02	-1.549E+03 1.549E+03	-2.516E+00 2.516E+00	-8.777E+02 1.033E+03	-2.288E+02 2.759E+02
35	-1.348E+03 1.348E+03	-1.124E+03 1.124E+03	5.263E+02 -5.263E+02	3.162E+00 -3.162E+00	-6.290E+01 -2.574E-01	1.582E+02 -2.931E+02
35	-1.165E+03 1.165E+03	-1.125E+03 1.125E+03	4.317E+02 -4.317E+02	3.097E+00 -3.097E+00	-5.171E+01 -9.967E-02	1.366E+02 -2.716E+02
36	2.750E+03 -2.750E+03	-8.375E+00 8.375E+00	-1.647E+01 1.647E+01	-5.216E-01 5.216E-01	4.462E+00 8.087E+00	3.007E+00 -9.387E+00
37	2.803E+03 -2.803E+03	6.322E+01 -6.322E+01	1.437E+01 -1.437E+01	-4.886E-01 4.886E-01	-3.606E+00 -7.343E+00	3.019E+01 1.797E+01
38	-2.170E+03 2.170E+03	-4.092E+01 4.091E+01	-1.125E+01 1.125E+01	8.961E-02 -8.961E-02	7.035E+00 5.662E+00	-3.380E+00 -4.279E+01
39	-1.230E+03 1.230E+03	3.322E+01 -3.322E+01	7.380E+00 -7.380E+00	-2.388E-01 2.388E-01	-3.788E+00 -4.540E+00	3.733E+00 3.376E+01

Tabela 23 -5.5.:

Cargas nos elementos da estrutura basculante

Referência Carga Estr. Basculante	Forças (N)			Momentos ( N. m )		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
	9.620E+03 -9.620E+03	-6.417E+03 6.417E+03	-4.854E+03 4.854E+03	-3.297E+02 3.297E+02	6.469E+01 4.887E+02	-7.317E+02 -6.706E-08
40	9.620E+03 -9.620E+03	-6.417E+03 6.417E+03	-4.221E+03 4.221E+03	-3.296E+02 3.295E+02	-8.258E+00 4.895E+02	-7.317E+02 1.118E-07
41	9.620E+03 -9.620E+03	-6.417E+03 6.417E+03	4.854E+03 -4.854E+03	3.297E+02 -3.297E+02	-6.469E+01 -4.887E+02	-7.317E+02 2.310E-07
41	9.620E+03 -9.620E+03	-6.417E+03 6.417E+03	4.221E+03 -4.221E+03	3.296E+02 -3.296E+02	8.258E+00 -4.895E+02	-7.317E+02 2.757E-07
42	5.300E+03 -5.300E+03	-5.300E+03 5.300E+03	-2.254E+03 2.254E+03	-2.600E+02 2.600E+02	-1.259E+01 2.606E+02	-5.830E+02 1.788E-07
42	5.300E+03 -5.300E+03	-5.300E+03 5.300E+03	-2.253E+03 2.253E+03	-2.602E+02 2.602E+02	-1.285E+01 2.607E+02	-5.830E+02 0.
43	5.300E+03 -5.300E+03	-5.300E+03 5.300E+03	2.254E+03 -2.254E+03	2.600E+02 -2.600E+02	1.259E+01 -2.606E+02	-5.830E+02 1.788E-07
43	5.300E+03 -5.300E+03	-5.300E+03 5.300E+03	2.253E+03 -2.253E+03	2.602E+02 -2.602E+02	1.285E+01 -2.607E+02	-5.830E+02 1.788E-07
44	2.512E+00 -2.512E+00	3.127E+02 -3.127E+02	3.333E+01 -3.333E+01	5.261E-01 -5.261E-01	-6.892E-01 -1.297E+01	1.151E+01 1.167E+02

Tabela 24 -5.5.:

Cargas nos elementos da estrutura basculante

Referência Carga Estr. Basculante	Forças (N)			Momentos (N.m)		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
45	-1.800E+03 1.800E+03	1.797E-07 -1.797E-07	3.371E-07 -3.371E-07	-8.644E-09 8.644E-09	2.348E+01 -2.348E+01	8.592E+01 -8.592E+01
46	2.512E+00 -2.512E+00	-3.127E+02 3.127E+02	-3.333E+01 3.333E+01	-5.261E-01 5.261E-01	1.297E+01 6.892E-01	-1.167E+02 -1.151E+01
46	3.469E+00 -3.469E+00	-3.032E+02 3.032E+02	-3.084E+01 3.084E+01	-5.107E-01 5.107E-01	1.200E+01 6.450E-01	-1.137E+02 -1.058E+01
47	7.111E+00 -7.111E+00	-3.019E+02 3.019E+02	-1.091E+02 1.091E+02	-2.879E-01 2.879E-01	9.122E+00 3.560E+01	-1.843E+01 -1.053E+02
48	-1.181E+03 1.181E+03	-4.535E+02 4.535E+02	4.870E+01 -4.870E+01	2.319E-02 -2.319E-02	-3.638E+01 2.080E+01	-2.101E+02 6.503E+01
48	-9.198E+02 9.198E+02	-6.937E+02 6.937E+02	2.119E+02 -2.119E+02	7.955E-03 -7.955E-03	-5.277E+01 -1.504E+01	-3.218E+02 9.981E+01
49	-1.418E+03 1.418E+03	-5.029E+02 5.029E+02	4.908E+01 -4.908E+01	1.867E-02 -1.867E-02	-3.901E+01 2.330E+01	-2.324E+02 7.147E+01
49	-1.127E+03 1.127E+03	-7.691E+02 7.691E+02	2.278E+02 -2.278E+02	-6.424E-03 6.424E-03	-5.453E+01 -1.835E+01	-3.556E+02 1.095E+02
50	-3.062E+03 3.062E+03	8.941E-08 -8.941E-08	1.797E-07 -1.797E-07	-1.601E-09 1.601E-09	-1.484E+01 1.484E+01	-1.644E+01 1.644E+01

Tabela 25 -5.5.:

Cargas nos elementos da estrutura basculante

Referência Carga Estr. Basculante	Forças ( N )			Momentos (N.m)		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
51	-1.145E+03 1.145E+03	-4.158E+02 4.158E+02	1.502E+02 -1.502E+02	-2.068E-02 2.068E-02	2.204E+01 -7.011E+01	6.020E+01 -1.532E+02
51	-8.714E+02 8.714E+02	-6.549E+02 6.549E+02	3.163E+02 -3.163E+02	-8.109E-02 8.109E-02	1.421E+02 -2.433E+02	8.461E+01 -2.942E+02
52	-1.379E+03 1.379E+03	-4.578E+02 4.578E+02	1.708E+02 -1.708E+02	-1.589E-02 1.589E-02	2.404E+01 -7.869E+01	6.694E+01 -2.135E+02
52	-1.074E+03 1.074E+03	-7.215E+02 7.215E+02	3.560E+02 -3.560E+02	-7.441E-02 7.441E-02	1.588E+02 -2.727E+02	9.434E+01 -3.252E+02
53	7.111E+00 -7.111E+00	3.019E+02 -3.019E+02	1.091E+02 -1.091E+02	2.879E-01 -2.879E-01	-3.560E+01 -9.122E+00	1.053E+02 1.843E+01
53	7.967E+00 -7.967E+00	2.830E+02 -2.830E+02	7.332E+01 -7.332E+01	2.908E-01 -2.908E-01	-2.200E+01 -8.060E+00	9.825E+01 1.777E+01
54	-3.127E+02 3.127E+02	-2.512E+00 2.512E+00	3.333E+01 -3.333E+01	6.892E-01 -6.892E-01	-5.261E-01 -6.806E+00	1.151E+01 -1.206E+01
55	-2.554E+02 2.554E+02	-6.010E+00 6.010E+00	-1.232E+01 1.232E+01	-1.278E-01 1.278E-01	6.075E+00 1.442E+00	1.106E+01 -1.472E+01
56	-3.127E+02 3.127E+02	-2.512E+00 2.512E+00	-3.333E+01 3.333E+01	-6.892E-01 6.892E-01	5.261E-01 6.806E+00	1.151E+01 -1.206E+01

Tabela 26 -5.5.:

Cargas nos elementos da estrutura basculante

Referência Carga Estr. Basculante	Forças ( N )			Momentos (N.m)		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
57	-2.554E+02 2.554E+02	-6.010E+00 6.010E+00	1.232E+01 -1.232E+01	1.278E-01 -1.278E-01	-6.075E+00 -1.442E+00	1.106E+01 -1.472E+01
58	-7.328E+01 7.328E+01	3.497E+00 -3.497E+00	-1.011E+00 1.011E+00	-4.038E-03 4.038E-03	7.310E-01 4.058E-01	1.294E+00 2.652E+00
59	-7.328E+01 7.328E+01	3.497E+00 -3.497E+00	1.011E+00 -1.011E+00	4.038E-03 -4.038E-03	-7.310E-01 4.058E-01	1.294E+00 2.652E+00
60	1.300E+02 -1.300E+02	-1.312E+01 1.312E+01	1.751E+00 -1.751E+00	2.882E-01 -2.882E-01	-1.154E+00 -1.801E-01	-9.961E+00 -3.412E-02
61	1.300E+02 -1.300E+02	-1.312E+01 1.312E+01	-1.751E+00 1.751E+00	-2.882E-01 2.882E-01	1.154E+00 1.801E-01	-9.961E+00 -3.412E-02
62	-9.623E+00 9.623E+00	-6.736E+01 6.736E+01	-3.630E+01 3.630E+01	-2.298E-01 2.298E-01	-1.630E+00 1.651E+01	-2.253E+00 -2.536E+01
63	4.173E+02 -4.173E+02	-2.512E+02 2.512E+02	1.969E-01 -1.969E-01	5.387E-02 -5.387E-02	1.787E+01 -1.793E+01	-5.920E+01 -2.119E+01
64	4.200E+02 -4.200E+02	-1.537E-07 1.537E-07	5.867E-08 -5.867E-08	-1.775E-09 1.775E-09	1.793E+01 -1.793E+01	1.925E+01 -1.925E+01
65	4.173E+02 -4.173E+02	2.512E+02 -2.512E+02	-1.969E-01 1.969E-01	-5.387E-02 5.387E-02	1.793E+01 -1.787E+01	2.119E+01 5.920E+01

Tabela 27 -5.5.:

Cargas nos elementos da estrutura basculante

Referência Carga Estr. Basculante	Forças ( N )			Momentos (N.m)		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
66	-9.623E+00 9.623E+00	6.736E+01 -6.736E+01	3.630E+01 -3.630E+01	2.298E-01 -2.298E-01	-1.651E+01 1.630E+00	2.536E+01 2.253E+00
67	-2.512E+02 2.512E+02	-2.635E+00 2.635E+00	1.969E-01 -1.969E-01	-2.128E-03 2.128E-03	-9.611E-02 -5.387E-02	-6.224E-02 -1.545E+00
68	-2.512E+02 2.512E+02	2.635E+00 -2.635E+00	1.969E-01 -1.969E-01	2.128E-03 -2.128E-03	-9.611E-02 -5.387E-02	6.224E-02 1.545E+00
69	2.254E+03 -2.254E+03	8.382E-09 -8.382E-09	6.519E-08 -6.519E-08	-2.245E-08 2.245E-08	-3.146E+01 3.146E+01	3.094E+01 -3.094E+01
70	5.093E+03 -5.093E+03	-1.936E+03 1.936E+03	6.242E+02 -6.242E+02	6.704E+00 -6.704E+00	4.481E+01 -1.799E+02	-1.976E+02 -2.215E+02
71	5.093E+03 -5.093E+03	-1.936E+03 1.936E+03	-6.242E+02 6.242E+02	-6.704E+00 6.704E+00	-4.481E+01 1.799E+02	-1.976E+02 -2.215E+02
72	4.854E+03 -4.854E+03	-3.539E-08 3.539E-08	3.015E-08 -3.015E-08	-9.764E-09 9.764E-09	-2.323E+01 2.323E+01	4.039E+01 -4.039E+01

Tabela 28 -5.5.:

Cargas nos elementos da estrutura basculante

Elem.	* Crítico		Perfil							Carreg.	Tensão máxima equival. (kgf/mm <sup>2</sup> )	Carga extr. fixa
	I	J	Tipo	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	J <sub>1</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	e (m)				
1	1	*3	8	0,484 10 <sup>-3</sup>	0,129 10 <sup>-7</sup>	0,768 10 <sup>-6</sup>	0,409 10 <sup>-5</sup>	0,953 10 <sup>-2</sup>	1	14,25	1	
1	1	*3	8	"	"	"	"	"	2	42,92	2	
1	1	*3	8	"	"	"	"	"	3	46,02	3	
1	1	*3	8	"	"	"	"	"	4	14,27	4	
1	*1	3	8	"	"	"	"	"	2	11,91	2	
1	*1	3	8	"	"	"	"	"	3	13,23	3	
2	2	*4	8	"	"	"	"	"	1	14,25	5	
2	2	*4	8	"	"	"	"	"	2	15,63	6	
2	2	*4	8	"	"	"	"	"	3	19,04	7	
2	2	*4	8	"	"	"	"	"	4	14,27	8	
2	*2	4	8	"	"	"	"	"	2	11,74	6	
2	*2	4	8	"	"	"	"	"	3	13,22	7	
3	3	*4	16	0,916 10 <sup>-3</sup>	0,680 10 <sup>-8</sup>	0,509 10 <sup>-4</sup>	0,639 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	3	1,49	9	
4	3	*5	4	0,991 10 <sup>-3</sup>	0,781 10 <sup>-8</sup>	0,355 10 <sup>-4</sup>	0,616 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	3	3,60	10	

Tabela 32 - 5,5, :

Tensões atuantes no modelo estrutural simulado



Elem.	* Crítico		Perfil							Carreg.	Tensão máxima equiv. (kgf/mm <sup>2</sup> )	Carga extr. fixa
	I	J	Tipo	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	J <sub>1</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	e (m)				
5	4	*6	4	0,991 10 <sup>-3</sup>	0,781 10 <sup>-8</sup>	0,355 10 <sup>-4</sup>	0,616 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	3	8,50	11	
6	5	*10	4	"	"	"	"	"	4	7,85	12	
7	6	*11	4	"	"	"	"	"	3	17,26	13	
8	*10	16	4	"	"	"	"	"	2	7,22	14	
9	*11	17	4	"	"	"	"	"	3	7,42	15	
10	*16	21	4	"	"	"	"	"	2	10,24	16	
11	*17	22	4	"	"	"	"	"	3	5,73	17	
12	5	*7	16	0,916 10 <sup>-3</sup>	0,680 10 <sup>-8</sup>	0,509 10 <sup>-4</sup>	0,639 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	4	2,85	18	
13	7	*9	16	"	"	"	"	"	4	5,67	19	
14	*9	8	16	"	"	"	"	"	3	8,91	20	
15	*8	6	16	"	"	"	"	"	3	5,57	21	
16	*16	18	16	"	"	"	"	"	4	6,74	22	
17	18	*20	16	"	"	"	"	"	4	14,00	23	
18	*20	19	16	"	"	"	"	"	2	14,02	24	

Tabela 33 -5.5.:

Tensões atuantes no modelo estrutural simulado

Elem.	* Crítico		Perfil							Carreg.	Tensão máxima equiv. kgf/mm <sup>2</sup>	Carga extr. fixa
	I	J	Tipo	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	J <sub>1</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	e (m)				
18	*20	19	16	0,916 10 <sup>-3</sup>	0,680 10 <sup>-8</sup>	0,509 10 <sup>-4</sup>	0,639 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	3	16,04	25	
18	*20	19	16	"	"	"	"	"	4	14,00	26	
19	*19	17	16	"	"	"	"	"	3	6,47	27	
20	*10	12	5	0,767 10 <sup>-3</sup>	0,613 10 <sup>-8</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,384 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	1	60,57	28	
20	*10	12	5	"	"	"	"	"	2	46,05	29	
20	*10	12	5	"	"	"	"	"	3	54,63	30	
20	*10	12	5	"	"	"	"	"	4	44,51	31	
21	*11	13	5	"	"	"	"	"	1	60,51	32	
21	*11	13	5	"	"	"	"	"	2	71,74	33	
21	*11	13	5	"	"	"	"	"	3	83,02	34	
21	*11	13	5	"	"	"	"	"	4	44,51	35	
24	3	*7	19	0,684 10 <sup>-3</sup>	0,532 10 <sup>-8</sup>	0,383 10 <sup>-4</sup>	0,342 10 <sup>-6</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	4	8,89	36	
25	*4	8	19	"	"	"	"	"	2	10,43	37	
25	4	*8	19	"	"	"	"	"	2	14,54	37	

Tabela 34 -5,5.:  
Tensões atuantes no modelo estrutural simulado

Elem.	* Crítico		Perfil							Carreg.	Tensão máxima equiv. (kgf/mm <sup>2</sup> )	Carga extr. fixa
	I	J	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	J <sub>1</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	e (m)					
25	*4	8	0,684 10 <sup>-3</sup>	0,532 10 <sup>-8</sup>	0,383 10 <sup>-4</sup>	0,342 10 <sup>-6</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	3	12,14	38		
25	4	*8	"	"	"	"	"	3	15,97	38		
26	5	*18	"	"	"	"	"	1	10,55	39		
26	*5	18	"	"	"	"	"	4	10,85	40		
26	5	*18	"	"	"	"	"	4	15,97	40		
27	6	*19	"	"	"	"	"	1	10,55	41		
27	6	*19	"	"	"	"	"	2	20,48	42		
27	*6	19	"	"	"	"	"	3	17,72	43		
27	6	*19	"	"	"	"	"	3	22,76	43		
27	*6	19	"	"	"	"	"	4	10,85	44		
27	6	*19	"	"	"	"	"	4	15,87	44		
28	9	*20	0,168 10 <sup>-2</sup>	0,334 10 <sup>-5</sup>	0,352 10 <sup>-4</sup>	0,354 10 <sup>-4</sup>	0,120 10 <sup>-1</sup>	3	2,56	45		
29	*10	23	0,767 10 <sup>-3</sup>	0,613 10 <sup>-8</sup>	0,211 10 <sup>-4</sup>	0,384 10 <sup>-5</sup>	0,476 10 <sup>-2</sup>	3	0,27	46		
30	*11	24	"	"	"	"	"	3	0,93	47		

Tabela 35-5.5 :

Tensões atuantes no modelo estrutural simulado

Elemento	Nó	X	Y	Z	XX	YY	ZZ
Basculante	Fixa	$R_x$	$R_y$	$R_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
1	21	$R_3$	$R_1$	$-R_2$	$M_3$	$M_1$	$-M_2$
2	22	$R_3$	$R_1$	$-R_2$	$M_3$	$M_1$	$-M_2$
13J	14	$-R_2$	$R_3$	$R_1$	$-M_2$	$M_3$	$M_1$
15I	14	$R_1$	$-R_3$	$-R_2$	$M_1$	$-M_3$	$-M_2$
14J	15	$-R_2$	$R_3$	$R_1$	$-M_2$	$M_3$	$M_1$
16I	15	$R_1$	$-R_3$	$-R_2$	$M_1$	$-M_3$	$-M_2$
1	21	$R_{3i}^1$	$R_{1i}^1$	$-R_{2i}^1$	$M_{3i}^1$	$M_{1i}^1$	$-M_{2i}^1$
2	22	$R_{3j}^2$	$R_{1j}^2$	$-R_{2j}^2$	$M_{3j}^2$	$M_{1j}^2$	$M_{2j}^2$
13J + 15I	14	$-R_{2j}^{15} + R_{1i}^{15}$	$R_{3j}^{15} - R_{3i}^{15}$	$R_{1j}^{15} - R_{2i}^{15}$	$-M_{2j}^{15} + M_{1i}^{15}$	$M_{3j}^{15} - M_{3i}^{15}$	$M_{1j}^{15} - M_{2i}^{15}$
14J + 16I	15	$-R_{2j}^{16} + R_{1i}^{16}$	$R_{3j}^{16} - R_{3i}^{16}$	$R_{1j}^{16} - R_{2i}^{16}$	$-M_{2j}^{16} + M_{3i}^{16}$	$M_{3j}^{16} - M_{3i}^{16}$	$M_{1j}^{16} - M_{2i}^{16}$

Tabela 36-5,5, : Composição de forças e momentos nos pontos de ligação entre a estrutura basculante e fixa.

NO	Caso	R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	R <sub>z</sub>	M <sub>x</sub> = M <sub>y</sub> = M <sub>z</sub>
9	1	0	0	-1,324 10 <sup>4</sup>	0
	2	0	0	-1,401 10 <sup>4</sup>	0
	3	0	0	-1,547 10 <sup>4</sup>	0
	4	0	0	-2,032 10 <sup>4</sup>	0
	5	0	0	-4,432 10 <sup>4</sup>	0
	6	0	0	-3,419 10 <sup>4</sup>	0
20	1	0	0	2,648 10 <sup>4</sup>	0
	2	0	0	2,802 10 <sup>4</sup>	0
	3	0	0	3,094 10 <sup>4</sup>	0
	4	0	0	4,064 10 <sup>4</sup>	0
	5	0	0	8,864 10 <sup>4</sup>	0
	6	0	0	6,838 10 <sup>4</sup>	0

Tabela 37-5.5 : Forças e momentos atuantes nos nós 9 e 20 da estrutura fixa.

NO	Caso	$R_x$	$R_y$	$R_z$	$M_x = M_y = M_z$
14	1	0	0	$-1,244 \cdot 10^4$	0
	2	0	0	$-9,468 \cdot 10^3$	0
	3	0	0	$-1,123 \cdot 10^4$	0
	4	0	0	$-9,150 \cdot 10^3$	0
	5	0	0	$-2,116 \cdot 10^3$	0
	6	0	0	$-2,650 \cdot 10^3$	0
15	1	0	0	$-1,244 \cdot 10^4$	0
	2	0	0	$-1,475 \cdot 10^4$	0
	3	0	0	$-1,707 \cdot 10^4$	0
	4	0	0	$-9,150 \cdot 10^3$	0
	5	0	0	$2,116 \cdot 10^3$	0
	6	0	0	$-2,650 \cdot 10^3$	0

Tabela 38-5.5.: Forças e momentos atuantes nos nós 14 e 15 da estrutura fixa.

NO	Caso	$R_x$	$R_y$	$R_z$	$M_x = M_y = M_z$
21	1	$-5,364 \cdot 10^{-7}$	$7,524 \cdot 10^2$	$2,666 \cdot 10^3$	0
	2	$1,409 \cdot 10^3$	$1,893 \cdot 10^3$	$-9,762 \cdot 10^2$	0
	3	$9,212 \cdot 10^1$	$1,998 \cdot 10^3$	$3,580 \cdot 10^1$	0
	4	- 3,0	$1,104 \cdot 10^3$	$-4,172 \cdot 10^3$	0
	5	$1,043 \cdot 10^{-5}$	$2,294 \cdot 10^3$	$-2,744 \cdot 10^4$	0
	6	- 4,0	$1,791 \cdot 10^3$	$-1,761 \cdot 10^4$	0
22	1	$-2,980 \cdot 10^{-7}$	$-7,524 \cdot 10^2$	$2,666 \cdot 10^3$	0
	2	$-1,411 \cdot 10^3$	$3,107 \cdot 10^2$	$4,852 \cdot 10^3$	0
	3	$-3,024 \cdot 10^3$	$4,385 \cdot 10^2$	$6,478 \cdot 10^3$	0
	4	- 3,0	$-1,104 \cdot 10^3$	$-4,172 \cdot 10^3$	0
	5	$-2,623 \cdot 10^{-5}$	$-2,294 \cdot 10^3$	$-2,744 \cdot 10^4$	0
	6	- 4,0	$-1,791 \cdot 10^3$	$-1,761 \cdot 10^4$	0

Tabela 39-5.5. : Forças e momentos atuantes nos nós 21 e 22 da estrutura fixa.

Pontos (nós)		9	14	15	20
Caso	$F_{\text{cabo}}$	$R_z$	$R_z$	$R_z$	$R_z$
1	158	-1524	-1244	-1244	2648
2	168	-1401	-947	-1475	2802
3	185	-1547	-1123	-1707	3094
4	243	-2032	-915	-915	4064

Tabela 40-5.5.: Forças atuantes nos nós da estrutura fixa.

Pontos (nós)		21			22		
Caso	$F_{\text{cabo}}$	$R_x$	$R_y$	$R_z$	$R_x$	$R_y$	$R_z$
1	158	0	75	267	0	-75	267
2	168	141	189	-98	-141	31	485
3	185	9	200	4	-302	44	648
4	243	0	110	-417	0	-110	-417

Tabela 41-5.5.: Força atuantes nos nós da estrutura fixa.



Referência Carga Estr. Fixa	Forças ( N )			Momentos ( N.m )		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
	2.037E+03 -2.037E+03	3.620E+03 -3.620E+03	4.818E+00 -4.818E+00	3.074E-01 -3.074E-01	3.560E-01 -3.908E-01	0. 5.611E+02
1.470E+03 -1.470E+03	8.280E+03 -8.280E+03	-1.097E+03 1.097E+03	-4.814E+00 4.814E+00	8.484E+01 8.518E+01	0. 1.283E+03	
2.445E+03 -2.445E+03	8.762E+03 -8.762E+03	-1.205E+03 1.205E+03	-5.310E+00 5.310E+00	9.338E+01 9.333E+01	0. 1.358E+03	
1.931E+03 -1.931E+03	3.628E+03 -3.628E+03	6.354E+00 -6.354E+00	3.039E-01 -3.039E-01	-4.939E-01 -4.910E-01	0. 5.623E+02	
2.037E+03 -2.037E+03	3.620E+03 -3.620E+03	-4.818E+00 4.818E+00	-3.074E-01 3.074E-01	3.560E-01 3.908E-01	0. 5.611E+02	
2.590E+03 -2.590E+03	-1.016E+03 1.016E+03	-1.107E+03 1.107E+03	-5.429E+00 5.429E+00	8.558E+01 8.598E+01	0. -1.575E+02	
3.683E+03 -3.683E+03	-1.514E+03 1.514E+03	-1.232E+03 1.232E+03	-6.014E+00 6.014E+00	9.505E+01 9.590E+01	0. -2.347E+02	
1.931E+03 -1.931E+03	3.628E+03 -3.628E+03	-6.354E+00 6.354E+00	-3.039E-01 3.039E-01	4.939E-01 4.910E-01	0. 5.623E+02	
7.282E+02 -7.282E+02	7.153E+01 -7.153E+01	-5.063E+02 5.063E+02	5.451E-01 -5.451E-01	1.640E+02 3.727E+02	3.310E+01 4.272E+01	

Tabela 42-5.5.:

Cargas nos elementos da estrutura fixa

Referência Carga Estr. Fixa	Forças ( N )			Momentos ( N.m )		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
	7.532E+03 -7.532E+03	2.113E+01 -2.113E+01	-2.117E+03 2.117E+03	-2.246E-01 2.246E-01	7.027E+02 9.700E+02	2.216E+01 -5.466E+00
3.046E+03 -3.046E+03	-6.092E+01 6.092E+01	4.678E+03 -4.679E+03	-5.780E-01 5.780E-01	-9.580E+02 -2.737E+03	-2.115E+01 -2.697E+01	
1.474E+04 -1.474E+04	3.051E+02 -3.051E+02	-2.887E+03 2.887E+03	-1.518E-01 1.518E-01	-4.086E+01 1.513E+03	2.710E+01 1.285E+02	
1.152E+04 -1.152E+04	9.385E+02 -9.385E+02	6.146E+03 -6.146E+03	1.439E+00 -1.439E+00	7.618E+02 -3.896E+03	1.658E+02 3.128E+02	
2.310E+03 -2.310E+03	1.719E+02 -1.719E+02	-2.023E+03 2.023E+03	8.921E-01 -8.921E-01	1.234E+03 -3.134E+02	2.153E+02 -1.371E+02	
-5.608E+03 5.608E+03	9.385E+02 -9.385E+02	-8.933E+02 8.933E+02	1.439E+00 -1.439E+00	7.885E+02 -3.821E+02	2.847E+02 1.423E+02	
1.297E+03 -1.297E+03	2.177E+03 -2.177E+03	-3.483E+02 3.483E+02	-6.781E-09 -6.781E-09	9.689E+01 6.631E-07	6.056E+02 3.353E-08	
-7.005E+03 7.005E+03	-9.175E+02 9.175E+02	-1.117E+03 1.117E+03	3.028E-08 -3.028E-08	3.197E+02 1.118E-07	-2.552E+02 -1.565E-07	
3.563E+03 -3.563E+03	-3.670E+02 3.670E+02	5.507E+00 -5.507E+00	6.341E-01 -6.341E-01	3.716E+02 -3.733E+02	-3.545E+00 -1.102E+02	

Tabela 43-5.5.:

Cargas nos elementos da estrutura fixa

Referência Carga Estr. Fixa	Forças (N)			Momentos (N.m)		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
	19	2.609E+03 -2.609E+03	1.975E+03 -1.975E+03	9.821E-01 -9.821E-01	-2.057E+00 2.057E+00	3.722E+02 -3.724E+02
20	1.143E+03 -1.143E+03	3.466E+03 3.466E+03	-9.155E+02 9.155E+02	4.330E+00 -4.330E+00	8.131E+02 -6.117E+02	-4.540E+02 -3.086E+02
21	3.042E+03 -3.042E+03	1.158E+03 -1.158E+03	5.859E+02 -5.859E+02	-1.736E+00 1.736E+00	6.142E+02 -7.959E+02	2.565E+02 1.026E+02
22	-7.989E+02 7.989E+02	-1.311E+03 1.311E+03	-9.560E+02 9.560E+02	1.960E-01 -1.960E-01	7.412E+01 2.987E+02	-2.451E+02 -2.662E+02
23	-4.659E+03 4.659E+03	8.101E+03 -8.101E+03	-9.821E-01 9.821E-01	1.109E+00 -1.109E+00	-2.981E+02 2.983E+02	3.157E+02 8.185E+02
24	-2.561E+03 2.561E+03	-8.115E+03 8.115E+03	6.867E+01 -6.867E+01	-4.644E+00 4.644E+00	-5.235E+02 5.139E+02	-8.025E+02 -3.337E+02
25	-2.664E+03 2.664E+03	-8.950E+03 8.950E+03	7.664E+01 -7.664E+01	-5.945E+00 5.945E+00	-8.664E+02 8.557E+02	-8.859E+02 -3.672E+02
26	-4.659E+03 4.659E+03	-8.101E+03 8.101E+03	9.820E-01 -9.820E-01	-1.109E+00 1.109E+00	-2.983E+02 2.981E+02	-8.185E+02 -3.157E+02
27	1.377E+03 -1.377E+03	8.169E+02 -8.169E+02	2.131E+03 -2.131E+03	-1.095E+00 1.095E+00	-8.589E+02 2.794E+01	2.947E+02 2.395E+01

Tabela 44-5.5.:

Cargas nos elementos da estrutura fixa

Referência Carga Estr. Fixa	Forças (N)			Momentos (N.m)		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
28	3.601E+03 -3.601E+03	-9.537E-07 9.537E-07	1.191E+04 -1.191E+04	4.168E+02 -4.168E+02	-2.265E+03 4.172E-07	-1.260E+02 1.260E+02
29	2.741E+03 -2.741E+03	-1.431E-06 1.431E-06	9.070E+03 -9.070E+03	3.172E+02 -3.172E+02	-1.724E+03 -5.513E-07	-9.587E+01 9.587E+01
30	3.250E+03 -3.250E+03	-2.384E-06 2.384E-06	1.076E+04 -1.076E+04	3.763E+02 -3.763E+02	-2.045E+03 -6.557E-07	-1.137E+02 1.137E+02
31	2.649E+03 -2.649E+03	-4.768E-07 4.768E-07	8.765E+03 -8.765E+03	3.066E+02 -3.066E+02	-1.666E+03 1.788E-07	-9.265E+01 9.265E+01
32	3.601E+03 -3.601E+03	0. 0.	-1.191E+04 1.191E+04	-4.168E+02 4.168E+02	2.265E+03 -5.960E-08	-1.260E+02 1.260E+02
33	4.269E+03 -4.269E+03	4.292E-06 -4.292E-06	-1.413E+04 1.413E+04	-4.942E+02 4.942E+02	2.686E+03 -2.384E-07	-1.493E+02 1.493E+02
34	4.940E+03 -4.940E+03	5.722E-06 -5.722E-06	-1.635E+04 1.635E+04	-5.719E+02 5.719E+02	3.108E+03 6.557E-07	-1.728E+02 1.728E+02
35	2.649E+03 -2.649E+03	-4.768E-07 4.768E-07	8.765E+03 8.765E+03	-3.066E+02 3.066E+02	1.666E+03 -4.172E-07	-9.265E+01 9.265E+01
36	-2.490E+03 2.490E+03	4.734E+01 -4.734E+01	4.525E+00 -4.525E+00	3.653E-02 -3.653E-02	-9.353E-01 -2.905E+00	1.105E+01 2.913E+01

Tabela 45-5.5.:

Cargas nos elementos da estrutura fixa

Referência Carga Estr. Fixa	Forças (N)			Momentos (N.m)		
	Axial R <sub>1</sub>	Cortante R <sub>2</sub>	Cortante R <sub>3</sub>	Torsor M <sub>1</sub>	Fletor M <sub>2</sub>	Fletor M <sub>3</sub>
37	-4.429E+03 4.429E+03	-8.567E+01 8.567E+01	-1.076E+03 1.076E+03	-1.777E-01 1.777E-01	9.173E+02 -3.960E+00	-2.525E+01 -4.745E+01
38	-4.960E+03 4.960E+03	-9.386E+01 9.386E+01	-1.501E+03 1.501E+03	-1.639E-01 1.639E-01	1.281E+03 -6.581E+00	-2.758E+01 -5.207E+01
39	-6.811E+03 6.811E+03	-4.975E+01 4.975E+01	9.394E+02 -9.394E+02	-1.890E-01 1.890E-01	-9.763E+02 -1.484E+00	-1.912E+01 -3.266E+01
40	-1.013E+04 1.013E+04	-6.985E+01 6.985E+01	9.550E+02 -9.550E+02	-1.923E-01 1.923E-01	-9.929E+02 -1.063E+00	-2.318E+01 -4.953E+01
41	-6.811E+03 6.811E+03	-4.975E+01 4.975E+01	-9.394E+02 9.394E+02	1.890E-01 -1.890E-01	9.763E+02 1.484E+00	-1.912E+01 -3.266E+01
42	-9.574E+03 9.574E+03	-9.353E+01 9.353E+01	-1.205E+03 1.205E+03	9.110E-01 -9.110E-01	1.250E+03 4.774E+00	-3.214E+01 -6.520E+01
43	-1.053E+04 1.053E+04	-1.045E+02 1.045E+02	-2.054E+03 2.054E+03	1.142E+00 -1.142E+00	2.132E+03 5.692E+00	-3.628E+01 -7.252E+01
44	-1.013E+04 1.013E+04	-6.985E+01 6.985E+01	-9.550E+02 9.550E+02	1.923E-01 -1.923E-01	9.929E+02 1.063E+00	-2.318E+01 -4.953E+01
45	-1.841E+04 1.841E+04	-1.060E+03 1.060E+03	-3.930E+00 3.930E+00	4.621E+02 -4.621E+02	7.837E+00 -4.045E+00	-4.860E+02 -5.366E+02

Tabela 46-5.5.:

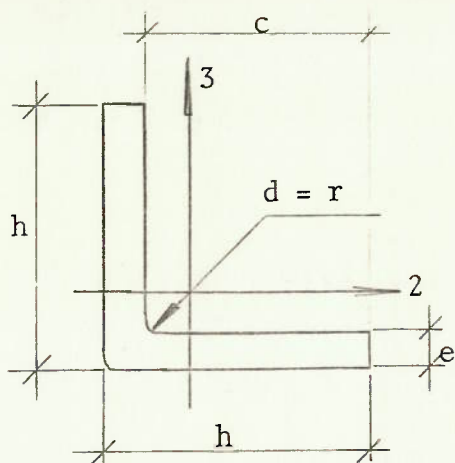
Cargas nos elementos da estrutura fixa

Referência Carga Estr. Fixa	Forças ( N )			Momentos (N.m)		
	Axial $R_1$	Cortante $R_2$	Cortante $R_3$	Torsor $M_1$	Fletor $M_2$	Fletor $M_3$
46	-2.021E+03 2.021E+03	-3.010E+00 3.010E+00	1.764E-05 -1.764E-05	9.913E-10 -9.913E-10	-1.550E-06 7.153E-07	-3.010E-01 0.
47	-7.039E+03 7.039E+03	-3.010E+00 3.010E+00	3.242E-05 -3.242E-05	-1.164E-10 1.164E-10	-9.835E-07 -5.290E-07	-3.010E-01 0.

Tabela 47-5.5.:

Cargas nos elementos da estrutura fixa.

Cantoneira 1" x 1" x 1/8"



$$c = 0,222 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$d = 0,318 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$e = 0,318 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$h = 0,254 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$r = 0,318 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$*A_1 = 0,148 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad [4]$$

$$A_2 = A_3 = 0 \text{ (efeito desprezado)}$$

$$J = J_1 + J_2 + \alpha d^4 \quad [6]$$

$$J_1 = h e^3 \left| \frac{1}{3} - 0,21 \frac{e}{h} \left( 1 - \frac{e^4}{12 h^4} \right) \right|$$

$$J_1 = 0,251 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$J_2 = c e^3 \left| \frac{1}{3} - 0,105 \frac{e}{c} \left( 1 - \frac{e^4}{192 c^4} \right) \right|$$

$$J_2 = 0,227 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$\alpha d^4 = \frac{e}{e} \left( 0,07 + 0,076 \frac{r}{e} \right) d^4$$

$$\alpha d^4 = 0,149 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$J = 0,493 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$I_2 = I_3 = 0,800 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \quad [4]$$

$$W_2 = W_3 = 0,490 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad [4]$$

Cantoneira 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"

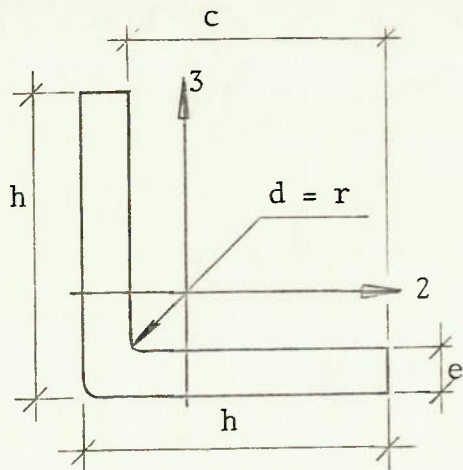
$$A_1 = 0,342 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \text{ (efeito desprezado)}$$

$$J = J_1 + J_2 + \alpha d^4$$

$$J_1 = h e^3 \left| \frac{1}{3} - 0,21 \frac{e}{h} \left( 1 - \frac{e^4}{12 h^4} \right) \right|$$

$$J_1 = 0,126 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$



$$c = 0,333 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$d = 0,476 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$e = 0,476 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$h = 0,381 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$r = 0,476 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$J_2 = c e^3 \left| \frac{1}{3} - 0,105 \frac{e}{c} \left( 1 - \frac{e^4}{192 c^4} \right) \right|$$

$$J_2 = 0,132 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\alpha d^4 = \frac{e}{e} \left( 0,07 + 0,076 \frac{r}{e} \right) d^4$$

$$\alpha d^4 = 0,750 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$J = 0,266 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

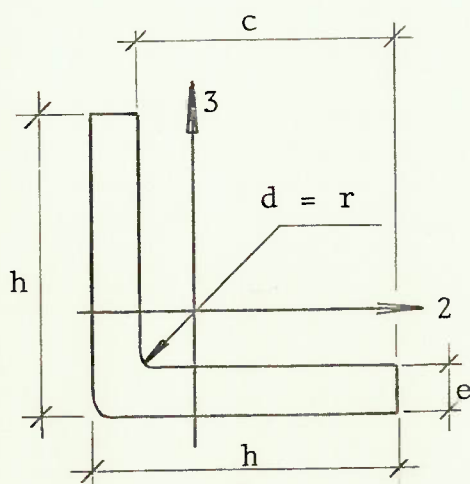
$$I_2 = I_3 = 0,460 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

[4]

$$W_2 = W_3 = 0,164 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

[4]

Cantoneira 2" x 2" x 3/16"



$$c = 0,460 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$d = 0,476 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$e = 0,476 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$h = 0,508 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$r = 0,476 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A_1 = 0,458 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

[4]

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$



$$J = J_1 + J_2 + \alpha d^4 \quad [6]$$

$$J_1 = h e^3 \left| \frac{1}{3} - 0,21 \frac{e}{h} \left( 1 - \frac{e^4}{12h^4} \right) \right|$$

$$J_1 = 0,172 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$J_2 = c e^3 \left| \frac{1}{3} - 0,105 \frac{e}{c} \left( 1 - \frac{e^4}{192 c^4} \right) \right|$$

$$J_2 = 0,160 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\alpha d^4 = \frac{e}{e} \left( 0,07 + 0,076 \frac{r}{e} \right) d^4$$

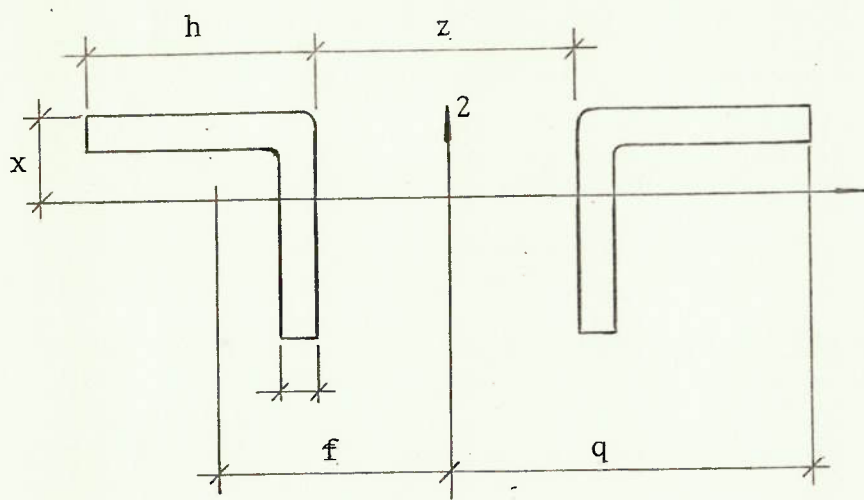
$$\alpha d^4 = 0,750 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$J = 0,340 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_2 = I_3 = 0,116 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \quad [4]$$

$$W_2 = W_3 = 0,311 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad [4]$$

Perfil composto de cantoneira (1" x 1" x 1/8")



$$e = 0,318 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$f = 0,711 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$h = 0,254 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$q = 0,889 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$x = 0,762 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$z = 0,127 \text{ m (projeto)}$$

Valores obtidos anteriormente:

$$A_1 = 0,148 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$J = 0,493 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$I_2 = I_3 = 0,8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$A_1^* = 2 A_1$$

$$A_1^* = 0,296 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

$$J^* \cong 2 J$$

$$J^* = 0,986 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$I_2^* = 2(I_2 + A_1 f^2)$$

[7]

$$I_2^* = 0,151 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_3^* \cong 2 I_3$$

$$I_3^* = 0,160 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_2^* = \frac{I_2^*}{q}$$

[7]

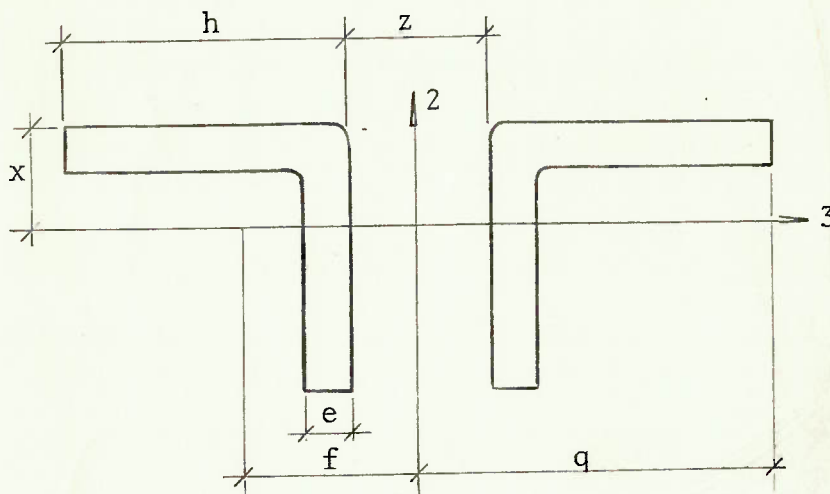
$$W_2^* = 0,170 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_3^* = \frac{I_3^*}{(h-x)}$$

[7]

$$W_3^* = 0,900 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Perfil composto de cantoneira (1 1/2" x 1 1/2" x 3/16")



$$e = 0,476 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$f = 0,747 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$h = 0,381 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$q = 0,102 \text{ m}$$

$$x = 0,112 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$z = 0,127 \text{ m (projeto)}$$

Valores obtidos anteriormente:

$$A_1 = 0,342 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$J = 0,266 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_2 = I_3 = 0,460 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$A_1^* = 2 A_1$$

$$A_1^* = 0,684 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \text{ (efeito desprezado)}$$

$$J^* \cong 2 J$$

$$J^* = 0,532 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

[7]

$$I_2^* = 2(I_2 + A_1 f^2)$$

$$I_2^* = 0,391 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_3^* \cong 2 I_3$$

$$I_3^* = 0,920 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_2^* = \frac{I_2^*}{q}$$

[7]

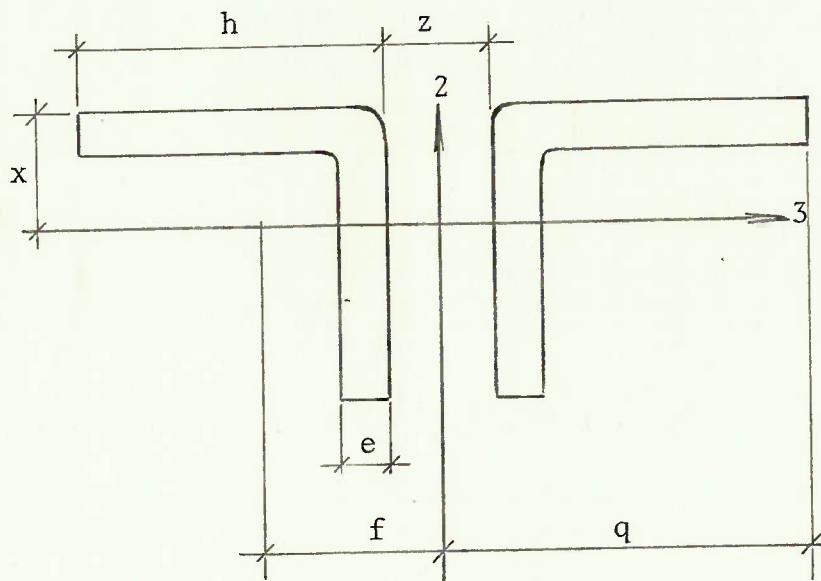
$$W_2^* = 0,383 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_3^* = \frac{I_3^*}{(h-x)}$$

[7]

$$W_3^* = 0,342 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Perfil composto de cantoneiras (2" x 2" x 3/16")



$$e = 0,476 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$f = 0,78 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$h = 0,508 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$q = 0,114 \text{ m}$$

$$x = 0,145 \cdot 10^{-1} \text{ m} [4]$$

$$z = 0,127 \text{ m (projeto)}$$

Valores obtidos

anteriormente:

$$A_1 = 0,458 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$J = 0,340 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_2 = I_3 = 0,116 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$A_1^* = 2 A_1$$

$$A_1^* = 0,916 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \text{ (efeito desprezado)}$$

$$J^* \cong 2 J$$

$$J^* = 0,680 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_2^* = 2(I_2 + A_1 f^2)$$

[7]

$$I_2^* = 0,580 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_3^* \equiv 2 I_3$$

$$I_3^* = 0,232 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_2^* = \frac{I_2^*}{q}$$

$$W_2^* = 0,509 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

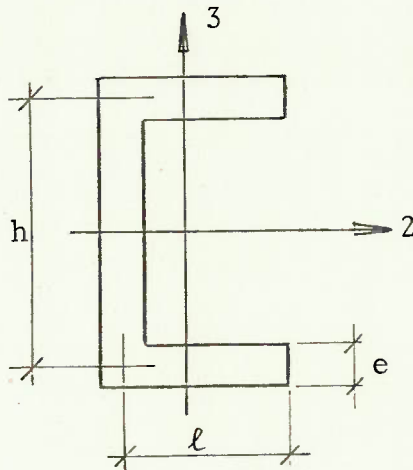
$$W_3^* = \frac{I_3^*}{(h-x)}$$

$$W_3^* = 0,639 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

[7]

[7]

Viga U 127 x 50 x 3/16"



$$e = 0,476 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$h = 0,122 \text{ m}$$

$$l = 0,476 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$A_1 = 0,991 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

[5]

$$A_2 = A_3 = 0 \text{ (efeito desprezado)}$$

$$J = \frac{e^3}{3} (h + 2l)$$

[6]

$$J = 0,781 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_2 = 0,226 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

[5]

$$I_3 = 0,227 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

[5]

$$W_2 = 0,355 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

[5]

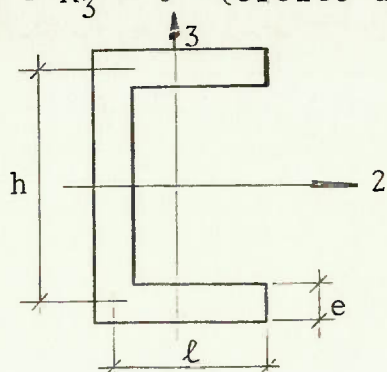
$$W_3 = 0,616 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

[5]

Viga U 100 x 40 x 3/16"

$$A_1 = 0,767 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$



$$e = 0,476 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$h = 0,952 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$l = 0,376 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$J = \frac{e^3}{3} (h + 2l) \quad [6]$$

$$J = 0,613 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

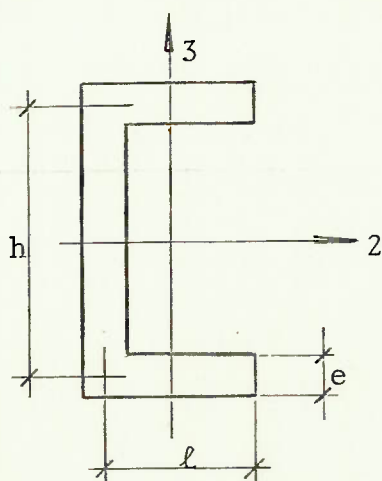
$$I_2 = 0,106 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \quad [5]$$

$$I_3 = 0,111 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \quad [5]$$

$$W_2 = 0,211 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad [5]$$

$$W_3 = 0,384 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad [5]$$

Viga U 75 x 40 x 3/16"



$$e = 0,476 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$h = 0,702 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$l = 0,376 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$A_1 = 0,648 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

$$J = \frac{e^3}{3} (h + 2\ell) \quad [6]$$

$$J = \frac{(0,476 \cdot 10^{-2})^3}{3} (0,702 \cdot 10^{-1} + 2 \cdot 0,376 \cdot 10^{-1})$$

$$J = 0,523 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

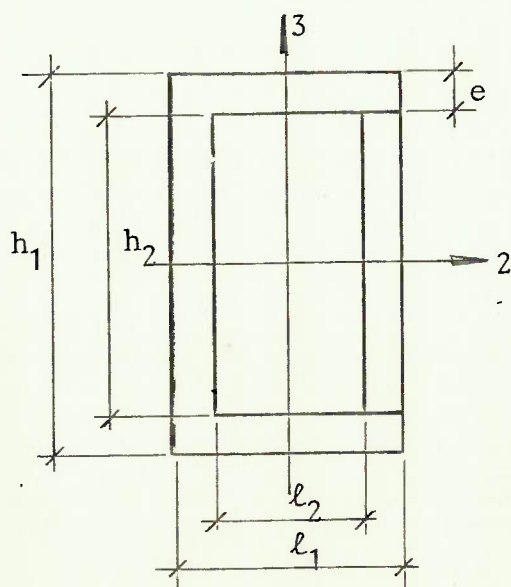
$$I_2 = 0,527 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \quad [5]$$

$$I_3 = 0,100 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \quad [5]$$

$$W_2 = 0,140 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad [5]$$

$$W_3 = 0,366 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad [5]$$

Perfil composto de viga U e ferro chato



$$h_1 = 0,100 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,905 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$l_1 = 0,400 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$l_2 = 0,305 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$e = 0,476 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A_1 = h_1 \ell_1 - h_2 \ell_2$$

$$A_1 = 0,124 \quad 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

$$J = \frac{2 e (h_1 - e)^2 (\ell_1 - e)^2}{h_1 + \ell_1 - 2e}$$

[6]

$$J = 0,822 \quad 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} (h_1^3 \ell_1 - h_2^3 \ell_2)$$

$$I_2 = 0,145 \quad 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_3 = \frac{1}{12} (h_1 \ell_1^3 - h_2 \ell_2^3)$$

$$I_3 = 0,319 \quad 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_2 = \frac{2 I_2}{h_1}$$

[6]

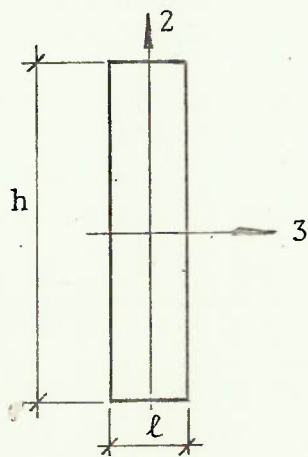
$$W_2 = 0,290 \quad 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_3 = \frac{2 I_3}{\ell_1}$$

[6]

$$W_3 = 0,160 \quad 10^{-4} \text{ m}^3$$

Ferro Chato 2" x 5/16"



$$h = 0,508 \quad 10^{-1} \text{ m}$$

$$\ell = 0,794 \quad 10^{-2} \text{ m}$$

$$A_1 = \ell h$$

$$A_1 = 0,403 \quad 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

$$J = h \ell^3 \left| \frac{1}{3} - 0,21 \frac{\ell}{h} \left( 1 - \frac{\ell^4}{12 h^4} \right) \right| \quad [6]$$

$$J = 0,764 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{h \ell^3}{12} \quad [6]$$

$$I_2 = 0,212 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_3 = \frac{\ell h^3}{12} \quad [6]$$

$$I_3 = 0,867 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

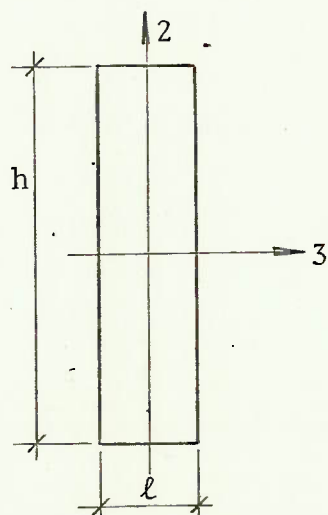
$$W_2 = \frac{2I_2}{\ell} \quad [6]$$

$$W_2 = 0,534 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_3 = \frac{2 I_3}{h} \quad [6]$$

$$W_3 = 0,341 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Ferro Chato 2" x 3/8"



$$h = 0,508 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$\ell = 0,953 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A_1 = \ell h$$

$$A_1 = 0,484 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$



$$J = h \ell^3 \left| \frac{1}{3} - 0,21 \frac{\ell}{h} \left( 1 - \frac{\ell^4}{12 h^4} \right) \right| \quad [6]$$

$$J = 0,129 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{h \ell^3}{12} \quad [6]$$

$$I_2 = 0,366 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

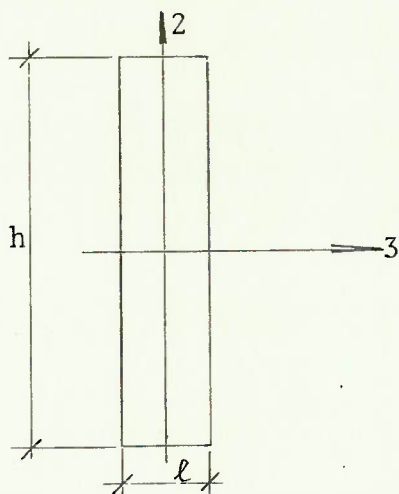
$$I_3 = \frac{\ell h^3}{12} \quad [6]$$

$$I_3 = 0,104 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_2 = 0,768 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_3 = 0,409 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Ferro Chato 3" x 3/8"



$$h = 0,762 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$\ell = 0,953 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A_1 = h \ell$$

$$A_1 = 0,726 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

$$J = h \ell^3 \left| \frac{1}{3} - 0,21 \frac{\ell}{h} \left( 1 - \frac{\ell^4}{12 h^4} \right) \right| \quad [6]$$

$$J = 0,203 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{h \ell^3}{12} \quad [6]$$

$$I_2 = 0,550 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

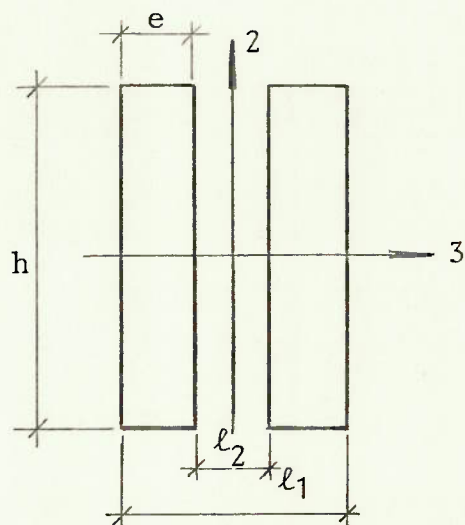
$$I_3 = \frac{\ell h^3}{12} \quad [6]$$

$$I_3 = 0,351 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_2 = 0,115 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_3 = 0,921 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Perfil composto de ferro chato (2" x 5/16")



$$e = 0,794 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$h = 0,508 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$\ell_1 = 0,479 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$\text{(projeto)} \quad \ell_2 = 0,321 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$q = 0,240 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

Valor obtido anteriormente:

$$A_1 = 0,403 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_1^* = 2 A_1 = 0,807 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2^* = A_3^* = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

$$J^* = h \ell_1^3 \left| \frac{1}{3} - 0,21 \frac{\ell_1}{h} \left( 1 - \frac{\ell_1^4}{12 h^4} \right) \right| -$$

$$+ h \ell_2^3 \left| \frac{1}{3} - 0,21 \frac{\ell_2}{h} \left( 1 - \frac{\ell_2^4}{12 h^4} \right) \right| \quad [6]$$

$$J^* = 0,488 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_2^* = \frac{h(\ell_1^3 - \ell_2^3)}{12} \quad [6]$$

$$I_2^* = 0,325 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_3^* = \frac{(\ell_1 - \ell_2) h^3}{12} \quad [6]$$

$$I_3^* = 0,173 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

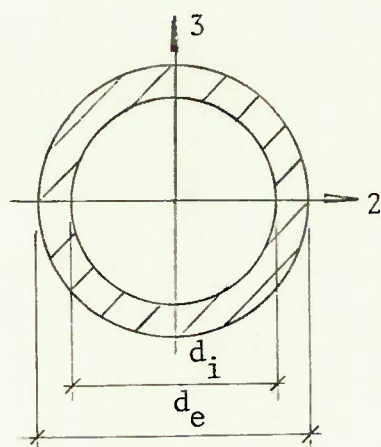
$$W_2^* = \frac{I_2^*}{q} \quad [7]$$

$$W_2^* = 0,135 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_3^* = \frac{2 I_3^*}{h} \quad [7]$$

$$W_3^* = 0,681 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Tube  $d_e = 26,7 \text{ mm}$   $d_i = 23,8 \text{ mm}$



$$d_e = 0,0267 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$d_i = 0,0238 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$e = 0,00290 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (d_e^2 - d_i^2)$$

$$A_1 = 0,115 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

$$J = \frac{\pi}{32} (d_e^4 - d_i^4) \quad [6]$$

$$J = 0,184 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

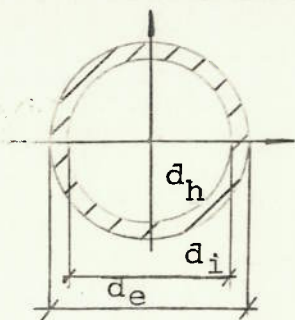
$$I_2 = I_3 = \frac{\pi}{64} (d_e^4 - d_i^4) \quad [6]$$

$$I_2 = I_3 = 0,920 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_2 = W_3 = \frac{2 I_2}{d_e} \quad [7]$$

$$W_2 = W_3 = 0,138 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Tubo  $d_e = 88 \text{ mm}$        $d_i = 80 \text{ mm}$



$$\begin{aligned} d_e &= 0,88 \quad 10^{-1} \text{ m} \\ d_i &= 0,80 \quad 10^{-1} \text{ m} \\ e &= 0,80 \quad 10^{-2} \text{ m} \end{aligned}$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (d_e^2 - d_i^2) = 0,106 \quad 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

$$J = \frac{\pi}{32} (d_e^4 - d_i^4)$$

$$J = 0,187 \quad 10^{-5} \text{ m}^4$$

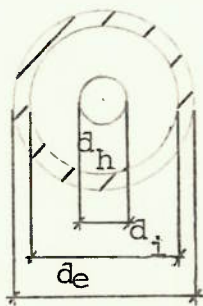
$$I_2 = I_3 = \frac{\pi}{64} (d_e^4 - d_i^4) \quad [6]$$

$$I_2 = I_3 = 0,933 \quad 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_2 = W_3 = \frac{2I}{d_e} \quad [7]$$

$$W_2 = W_3 = 0,212 \quad 10^{-4} \text{ m}^3$$

Pistão



$$d_e = 0,480 \quad 10^{-1} \text{ m}$$

$$d_i = 0,400 \quad 10^{-1} \text{ m}$$

$$d_h = 0,254 \quad 10^{-1} \text{ m}$$

$$e = 0,800 \quad 10^{-2} \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} d_h^2 = 0,507 \quad 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

$$J = 0 \quad (\text{a haste pode girar dentro do cilindro})$$

$$I_2 = I_3 = I \text{ cilindro externo}$$

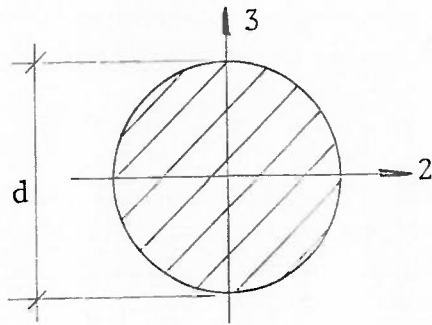
$$I_2 = I_3 = \frac{\pi}{64} (d_e^4 - d_i^4) \quad [6]$$

$$I_2 = I_3 = 0,135 \quad 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_2 = W_3 = \frac{2 I}{d_e} \quad [7]$$

$$W_2 = W_3 = 0,563 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Eixo  $d = 35 \text{ mm}$



$$d = 0,350 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$A_1 = 0,962 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

$$J = \frac{\pi}{32} d^4 \quad [6]$$

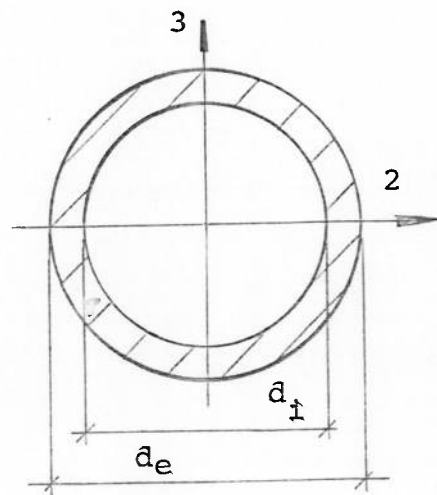
$$J = 0,147 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_2 = I_3 = \frac{\pi}{64} d^4 \quad [6]$$

$$I_2 = I_3 = 0,737 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_2 = W_3 = 0,421 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Tubo  $d_e = 95 \text{ mm}$   $d_i = 83 \text{ mm}$



$$d_e = 0,950 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$d_i = 0,830 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$e = 0,120 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (d_e^2 - d_i^2)$$

$$A_1 = 0,168 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

$$J = \frac{\pi}{32} (d_e^4 - d_i^4) \quad [6]$$

$$J = 0,334 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

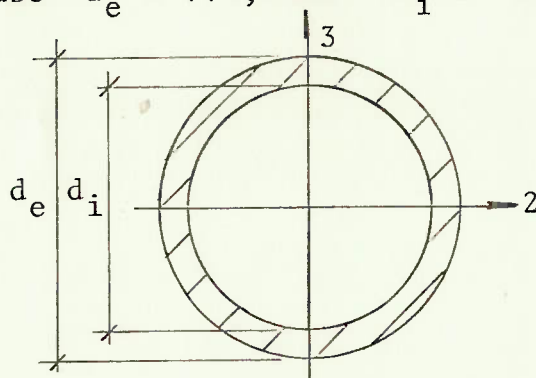
$$I_2 = I_3 = \frac{\pi}{64} (d_e^4 - d_i^4) \quad [6]$$

$$I_2 = I_3 = 0,167 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_2 = W_3 = \frac{2I}{d_e} \quad [7]$$

$$W_2 = W_3 = 0,352 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Tubo  $d_e = 113,5 \text{ mm}$   $d_i = 100 \text{ mm}$



$$d_e = 0,1135 \text{ m}$$

$$d_i = 0,100 \text{ m}$$

$$e = 0,135 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (d_e^2 - d_i^2)$$

$$A_1 = 0,226 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

$$J = \frac{\pi}{32} (d_e^4 - d_i^4) \quad [6]$$

$$J = 0,647 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

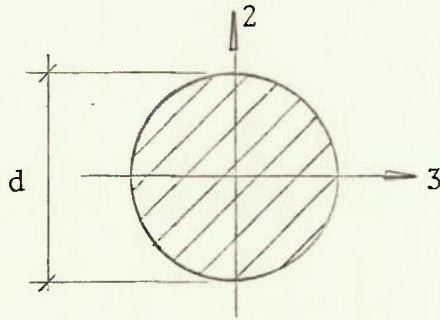
$$I_2 = I_3 = \frac{\pi}{64} (d_e^4 - d_i^4) \quad [6]$$

$$I_2 = I_3 = 0,324 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_2 = W_3 = \frac{2 I}{d_e} \quad [7]$$

$$W_2 = W_3 = 0,571 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Eixo  $d = 20 \text{ mm}$



$$d = 0,200 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$A_1 = 0,314 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad [4]$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

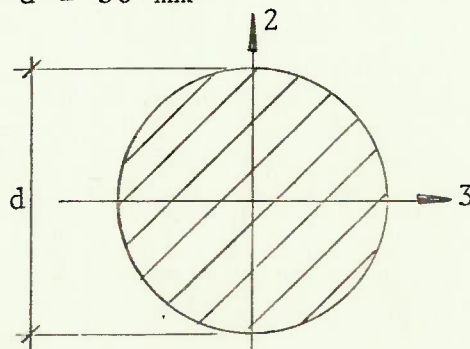
$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad [6]$$

$$J = 0,157 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_2 = I_3 = 0,785 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \quad [4]$$

$$W_2 = W_3 = 0,785 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Eixo  $d = 30 \text{ mm}$



$$d = 0,300 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$A_1 = 0,707 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad [4]$$

$$A_2 = A_3 = 0 \quad (\text{efeito desprezado})$$

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad [6]$$

$$J = 0,795 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_2 = I_3 = 0,398 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 \quad [4]$$

$$W_2 = W_3 = 0,265 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIVROS:

- [1] - AMARO, Antonio A.. Aspectos Econômicos da Citricultura Paulista. Citricultura Brasileira. São Paulo, Fundação Cargil, 1980. v.1, cap. 1, p.31-52.
- [2] - CAETANO, Aparecido Antonio. Tratos Culturais. Citricultura Brasileira. São Paulo, Fundação Cargil, 1980. v.2, cap.16, p.431-444.
- [3] - FERRARESI, Dino; RUFFINO, Rosalvo T.. Exercícios Sobre Aparelhos de Elevação e Transporte. 3ª edição. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 1974.
- [4] - FIGUEIREDO, José Orlando de. Variedades - Copa de Valor Comercial. Citricultura Brasileira. São Paulo, Fundação Cargil, 1980, v.1, cap.10, p.243-278.
- [5] - GIACOMETTI, Dalmo C.. Taxonomia e Nomenclatura dos Citros. Citricultura Brasileira. São Paulo, Fundação Cargil, 1980. v.1, cap.7, p.185-194.
- [6] - MONTENEGRO, Heitor W.S.. Clima e Solo. Citricultura Brasileira. São Paulo, Fundação Cargil, 1980. v.1, cap.9, p.227-239.
- [7] - MOREIRA, S.. História da Citricultura no Brasil. Rodrigues, O.; Viegas, F.. Citricultura Brasileira. São Paulo, Fundação Cargil, 1980. v.1, cap.11, p.3-28.

- [8] - NASH, William A.. Resistência dos Materiais. Rio de Janeiro, McGraw-Hill do Brasil Ltda., 1973.
- [9] - NIEMANN, Gustav. Elementos de Máquinas. São Paulo, - Editora Edgard Blucher Ltda., 1971.
- [10] - ROBINSON, J. Lister. Mechanics of Materials. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1969.
- [11] - SANCHES, Antonio Celso.. Planejamento, Plantio e Condução Inicial de Pomar de Citros. Citricultura Brasileira São Paulo, Fundação Cargil, 1980, v.1, cap.14, p.337-383.
- [12] - SPOTTS, M.F.. Design of Machine Elements. 3 ed. Prentice-Hall, Inc., 1964.

REVISTAS:

- [13] - O uso de máquinas na citricultura. //Revista Citrus.// São Paulo: 17-20, março/1983.
- [14] - Sete Lagoas: Uma empresa agrícola. //Revista Citrus.// São Paulo: 26-30, junho/1979.
- [15] - WILSON, William C.; COPPOCK, Glenn E.. Recoleccion de Cítricos. Los Cítricos, Ciba-Geigy Ltda., Basilea, Suiza, 1975: 67-71.
- [16] - WOLF, Jürgen. El Mercado Mundial de Cítricos y su Problemática. Los Cítricos, Ciba-Geigy Ltda., Basilea, Suiza, 1975: 72-80.

CATÁLOGOS:

- [17] - Aços Tietê S.A., Catálogo Geral.  
Av. Dr. Cardoso de Mello, 1686 - V.Olimpia  
CEP 04548 - São Paulo - SP.
- [18] - Cerello, Indústria e Comércio Ltda., Catálogo Geral  
C-10/81, 1981  
Rua Camaragibe, 197 -  
CEP 01154 - São Paulo - SP.
- [19] - CIMAF, Companhia Industrial e Mercantil de Artefatos  
de Ferro, Catálogo C-7, 1982  
Av. Higienópolis, 720 - C.P. 30510  
São Paulo -SP.
- [20] - Coferraço - Perfis Metálicos, Catálogo Geral.  
Estrada do IBC, 300  
CEP 06400 - Barueri - SP
- [21] - Hidrover, Equipamentos Oleodinâmicos S.A., Cilindros  
Hidráulicos CHD.  
Av. Rossetti, 490  
CEP 95100 - Caxias do Sul - RS.
- [22] - SKF Rolamentos S.A., Catálogo Geral 3000 PB, 1977.  
Rodov. Presidente Dutra, km 388  
CEP 01000 - Guarulhos - S.P.