

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

**PONTE DE MADEIRA COM VIGAS PRINCIPAIS
EM TRELIÇA CONTÍNUA**

ENG^o CARLOS ALBERTO SZÜCS

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA
A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE "MESTRE EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS"

COMISSÃO EXAMINADORA

PROF. DR. JOÃO CESAR HELLMEISTER - ORIENTADOR (EESC-USP)

PROF. DR. RÉGIS LATORRACA RIBEIRO LIMA (EESC-USP)

PROF. DR. ALUÍSIO FONTANA MARGARIDO (EPUSP)



SÃO CARLOS, JULHO DE 1979

À Carolina e Bárbara.

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. João Cesar Hellmeister por ter mostrado dedicação ímpar, em todos os momentos em que foi necessária sua orientação, para o perfeito desenvolvimento deste trabalho.

Ao Eng^o Ivar Ribeiro Hortegal, pelo acompanhamento e colaboração no decorrer do trabalho.

Aos colegas e funcionários do LaMEM, pelo incentivo constante, dedicação e amizade.

Ao Centro de Processamento de Dados da Escola de Engenharia de São Carlos, pelas horas de utilização de seus equipamentos.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao PICD/UFSC, pela cobertura financeira em todo o decorrer do mestrado.

À Rosana e Angela, pelo trabalho de datilografia e revisão.

À minha esposa e filha, Carolina e Bárbara, pelo carinho e alegria nos momentos mais difíceis.

RESUMO

A construção de pontes no Brasil, utilizando a madeira como material de construção, sempre esteve limitada pelos pequenos vãos, pela durabilidade e até mesmo pela tradição.

Nos dias de hoje, existem produtos de proteção da madeira, com as mais variadas funções, além de estar em desenvolvimento uma tecnologia de utilização da madeira em grandes estruturas, capaz de superar inclusive os velhos preconceitos.

Com essa nova mentalidade é apresentada, através da aplicação da forma treliçada para as vigas principais, o estudo de uma ponte classe 36 contínua e com vão total de 40m, dos quais 20m são livres.

Na determinação dos esforços é feita a utilização do programa "STRESS" do computador IBM-1130.

Os problemas surgidos nas ligações são resolvidos neste estudo, empregando-se uma tecnologia pouco divulgada no Brasil mas bastante conhecida e aplicada em outros países, que é a realização das ligações através de anéis metálicos.

Para melhor entendimento da construção, são apresentados capítulos contendo ilustrações de cada nó e o processo de montagem, com a sequência de colocação dos elementos da treliça, intercalados pelos anéis metálicos.

ABSTRACT

The construction of bridges in Brazil by using timber has always been restricted to small spans, for the durability of this material and even for tradition matter.

Nowadays there are wood preservatives with the most varied functions, besides a new technology has been developed for the utilization of timber on large structures, a technology even able to surpass the old prejudices about the use of this material.

By having that in mind, it is presented through the application of a truss for the main beams, the study of a bridge class 36 (Brazilian standard NB-6) with a continuous beam which total span is 40m and a unsupported span of 20m.

On the determination of stresses it is utilized the "STRESS" program used in IBM-1130 computer.

The problems developed in the joints are solved in this study by using a technology almost unknown in Brazil but largely used in other countries, that is the fabrication of joints with metal rings.

For a better construction understanding, chapters are presented having illustrations of each joint and the assembling process, with the order location of the truss elements between the metal rings.

SIMBOLOGIA

Dimensões lineares:

- b - largura da seção retangular de peças, ou largura da seção resistente do tabuleiro
- d - altura total da seção transversal das vigas de seção retangular simples ou composta
- e - espessura de peças de seção transversal delgada
- f - flecha total, na flexão
- \bar{f} - flecha admissível, na flexão
- f_a - flecha (carga acidental), na flexão
- f_p - flecha (carga permanente), na flexão
- h - altura de anéis metálicos
- l - comprimento/vão teórico
- l_{fl} - comprimento de flambagem
- y - distância da linha neutra à borda comprimida da seção transversal
- ϕ - diâmetro de parafusos ou anéis metálicos

Áreas:

- S - área da seção transversal de uma peça simples, ou soma das áreas das seções transversais de todos os elementos de uma peça múltipla

Esforços solicitantes:

C - máximo esforço de compressão

F, P - carga concentrada

F_H - máximo esforço horizontal

\bar{F}_n - esforço admissível de cisalhamento, normal às fibras, dentro dos anéis

\bar{F}_N - esforço admissível normal às fibras, nas ligações com parafuso

\bar{F}_p - esforço admissível de cisalhamento paralelo às fibras, dentro dos anéis

\bar{F}_θ - esforço admissível de cisalhamento, inclinado às fibras, dentro dos anéis

M - momento fletor total

M_a - momento fletor (carga acidental)

M_p - momento fletor (carga permanente)

N_a - máximo esforço provocado pela carga acidental

N_p - máximo esforço provocado pela carga permanente
 p, q - cargas uniformemente distribuídas
 Q - esforço cortante total
 Q_a - esforço cortante (carga acidental)
 Q_p - esforço cortante (carga permanente)
 R - reações de apoio
 T - máximo esforço de tração

Tensões:

$\bar{\sigma}_c$ - tensão admissível na madeira, na compressão simples, paralela às fibras, em peças curtas
 σ_f - tensão normal de compressão, na borda comprimida da seção transversal, devido apenas à flexão
 $\bar{\sigma}_f$ - tensão admissível na madeira, na flexão simples na borda comprimida da seção transversal
 $\bar{\sigma}_{fl}$ - tensão admissível na madeira, na compressão simples de peças esbeltas
 σ_t - tensão normal máxima de tração verificada na seção transversal
 $\bar{\sigma}_t$ - tensão admissível na madeira, na tração paralela às fibras
 τ_f - tensão de cisalhamento, na flexão
 $\bar{\tau}_f$ - tensão de cisalhamento paralela às fibras admissível na madeira, na flexão simples
 $\bar{\tau}_l$ - tensão de cisalhamento nas ligações, paralela às fibras admissível na madeira

Abreviações:

AN - anel
BI - banzo inferior
BS - banzo superior
CM - chapa metálica
D - diagonal
E - enchimento
M - montante
t - treliça

Diversos:

E_a - módulo de elasticidade (madeira verde) usado para cargas acidentais, na flexão

E_p - módulo de elasticidade usado para cargas permanentes, na flexão

J - momento de inércia da seção transversal de uma peça simples ou múltipla

M_s - momento estático em relação à linha neutra da parte da seção transversal acima do plano horizontal no qual se está calculando a tensão de cisalhamento

γ - peso específico do material

λ - índice de esbeltez

φ - coeficiente de impacto

θ - ângulo entre duas direções

Í N D I C E

<u>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</u>	12
I.1 - Considerações iniciais	13
I.2 - A madeira	13
I.3 - Pontes existentes	14
I.4 - Ponte em viga treliçada contínua	14
<u>CAPÍTULO II - ANTEPROJETO</u>	17
II.1 - Concepção da estrutura	19
II.2 - Tabuleiro	21
II.2.1 - Carga permanente	21
II.2.2 - Carga acidental	22
II.2.3 - Verificações	23
II.3 - Transversinas	26
II.3.1 - Carga permanente	26
II.3.2 - Carga acidental	27
II.3.3 - Verificações	28
II.4 - Viga treliçada	31
II.4.1 - Hipóteses simplificadoras	31
II.4.2 - Carga permanente	32
II.4.3 - Carga acidental	32
II.4.4 - Reações de apoio	33
II.4.5 - Processo gráfico de Cremona	36
II.5 - Avaliação preliminar das seções dos elementos da viga treliçada	37
II.6 - Resumo das seções a serem adotadas	39
<u>CAPÍTULO III - DIMENSIONAMENTO DEFINITIVO</u>	41
III.1 - Configuração geométrica da estrutura	43

III.2 - Passarela	46
III.2.1 - Configuração geométrica	47
III.3 - Tabuleiro	48
III.3.1 - Carga permanente	49
III.3.2 - Carga acidental	50
III.3.3 - Verificações	54
III.3.4 - Solidarização do concreto com o tablado	55
III.3.5 - Montagem do tablado	56
III.4 - Transversinas	57
III.4.1 - Carga permanente	58
III.4.2 - Carga acidental	60
III.4.3 - Verificações	64
III.4.4 - Conclusão	67
III.5 - Treliça	67
III.5.1 - Carga permanente	68
III.5.2 - Carga acidental	69
III.5.3 - Resumo do carregamento	76
III.5.4 - Programa "STRESS"	78
III.5.5 - Linhas de influência	80
III.5.6 - Efeito horizontal da força longitudinal	116
III.5.7 - Resumo dos esforços	125
III.5.8 - Dimensionamento dos elementos da viga treli çada	126
III.6 - Dimensionamento das ligações	133
III.6.1 - Roteiro de dimensionamento	133
III.6.2 - Verificação das placas de ligação com os a- néis soldados	177

III.7 - Flecha da estrutura	178
III.7.1 - Carregamento	178
III.7.2 - Linhas de influência	178
III.7.3 - Verificação	178
<u>CAPÍTULO IV - APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA</u>	181
<u>CAPÍTULO V - PROCESSO DE MONTAGEM DA PONTE EM VIGA TRELIÇADA</u>	187
V.1 - Peças de ligação	189
V.2 - Seqüência de montagem	210
<u>CAPÍTULO VI - CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	213
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	217

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO I

Introdução

I.1 - Considerações iniciais

A idéia de desenvolver um trabalho em nível bastante amplo, a respeito de pontes de madeira, surgiu da necessidade premente no Brasil, de estradas de rodagem que interliguem as várias regiões agrícolas com os centros consumidores, a fim de favorecer o escoamento da produção dessas regiões.

Deve ficar claro que o objetivo final deste trabalho não é a construção de pontes nas principais rodovias do país, e sim, a construção dessas pontes em vias secundárias ou vicinais, que geralmente são de reduzida intensidade de tráfego, mas que atendem basicamente a caminhões pesados.

Para a solução desse problema, procurou-se empregar um material de fácil manuseio, de custos compatíveis com sua finalidade e que possibilitasse relativa rapidez à execução da obra.

No Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos, USP, encontra-se em franca atividade a pesquisa da madeira e das estruturas de madeira. Estuda-se portanto, o comportamento do material, madeira, e também o seu comportamento como componente de uma estrutura, na qual aparecem outros fatores, como: ligações, regiões de esforços máximos, acomodação e outros.

I.2 - A madeira

O Brasil dispõe de grande reserva florestal nativa, chamada "Floresta de terra firme". O clima tropical dessas regiões, devidamente florestadas, oferece condições de elevada intensidade de crescimento das árvores. Isso deve possibilitar o emprego racional da madeira, sem a destruição da floresta. Como exemplo, pode ser citado o corte seletivo de árvores adultas. {⁵}*

Entretanto, mesmo na região amazônica, existem intensas áreas com recobrimento florestal de menor intensidade e valor, amplamente adequadas ao reflorestamento industrializado, para produção de carvão, celulose, chapas de fibra, chapas de madeira aglomerada, tanto quanto de madeiras para uso estrutural.

Este reflorestamento tem ocorrido em todo o país, em áreas florestais devastadas no passado e praticamente inservíveis para a agricultura convencional atual.

Entre as espécies de reflorestamento, cita-se o Eucalipto Citriodora, madeira de alta densidade, de elevada resistência mecânica, susceptível de tratamento contra o apodrecimento,^[4.50] é de origem australiana, mas amplamente disseminado no Brasil, apresenta crescimento extremamente rápido para madeiras de suas características excepcionais. Tem-se pois assegurada a existência de madeira, para a utilização em estruturas.

Para a construção das pontes de madeira, são indicadas as madeiras convencionais nativas, como: Arceira, Massaranduba, Cabreúva, Faveiro, Ipê, Pau D'arco, Peroba Rosa e outras.

Neste trabalho, pensou-se na utilização da Peroba Rosa, madeira de excelentes qualidades, conhecida e disponível em quase todo o país. Isso não limita entretanto o projeto, pois o mesmo pode ser adaptado ao emprego de qualquer outra madeira adequada.

I.3 - Pontes existentes

O vão convencional das pontes de madeira, no Brasil, é geralmente muito pequeno. Todavia, tem-se intensificado nos últimos anos, no LaMEM, o estudo de pontes de madeira com vãos maiores.

Já foram estudadas as pontes de Eucalipto Citriodora em vigas simples, em vigas contínuas, em pórtico, em treliça com tabuleiro superior, que se mostraram bastante satisfatórias, mas limitadas por um vão total máximo de 20m.

O interesse de se ter vãos maiores, conduziu ao estudo das pontes em treliça, formada por peças serradas.

I.4 - Ponte em viga treliçada contínua

Fazendo-se uma pesquisa bibliográfica da formação das estruturas em treliça e levando-se em consideração os grandes vãos das vigas principais, associadas à utilização da madeira, encontrou-se como forma mais adequada, a treliça plana contínua, constituída por elementos capazes de resistir aos esforços internos (apenas esforços axiais), permitindo maior eficiência estrutural que a das vigas de alma cheia, de mesmo consumo de material.

Estes fatores levam à economia de material e à redução da carga permanente, além de fornecer uma estrutura mais rígida, uma vez que a viga apresenta uma altura consideravelmente grande, o que ocasionará flechas

reduzidas. { 6.582 } / { 24.41 } / { 17.169 }**

Um outro ponto de vista do maior interesse, diretamente associado ao menor peso da estrutura e de seus elementos constituintes, está na facilidade da sua montagem.

Devido à altura da estrutura, optou-se pelo carregamento através dos nós do banzo inferior ficando, portanto, maior altura livre sob a ponte.

Para se chegar à concepção geométrica adotada para a viga treliçada contínua foram verificadas, através do processo gráfico de Cremona, treliças de formas geométricas variadas. Todas as treliças, tinham as mesmas dimensões de vãos e foram submetidas a um mesmo carregamento por nó. Com isso pôde ser estabelecido um termo de comparação entre os esforços surgidos em cada elemento de cada treliça.

Observando a forma que teve seus elementos dispostos de maneira a oferecer menores esforços internos, passou-se a aprimorar a disposição dos elementos nessa forma, a fim de se conseguir os menores esforços possíveis.

Feito isso chegou-se a uma treliça com elementos em posição e dimensões tais, que deram forma a uma estrutura sujeita a menores esforços, leve, racional e estética.

Tal concepção geométrica encontra-se na figura 1, e é a respeito dessa estrutura que se desenvolverá o presente trabalho.

* O número entre chaves, indica a referência bibliográfica.

** Os números entre chaves, indicam a referência bibliográfica e página da citação, respectivamente.

CAPÍTULO II

ANTEPROJETO

CAPÍTULO II

AnteprojetoII.1 - Concepção da estrutura

O presente trabalho consta de projeto e cálculo de uma ponte classe 36, com uma faixa de tráfego, para ser empregado na construção de obras de arte em rodovias de menor densidade de tráfego.

São estudados os problemas que surgem na composição da superestrutura da ponte, a fim de proporcionar o dimensionamento final das vigas principais.

Elementos estudados:

- Tabuleiro - Será constituído de peças de madeira apoiadas sobre as transversinas. O tabuleiro receberá uma camada de concreto simples, protegida por uma camada de concreto asfáltico, tendo em vista melhor distribuição de cargas e maior regularização da pista.

- Transversinas - Serão apoiadas nos nós do banzo inferior da viga treliçada.

- Duas vigas principais - Serão contínuas, em forma de treliça, destinadas a transmitir as cargas para os pilares e encontros.

A seguir, são apresentados alguns dados básicos da estrutura da ponte, esquematizada na figura 1.

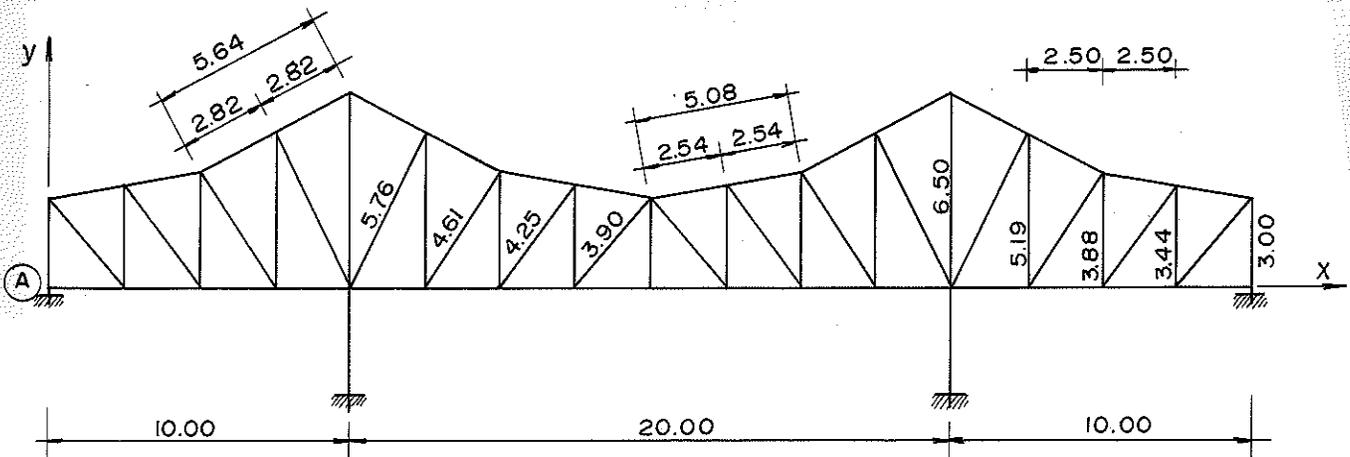
- Ponte classe 36
- Uma faixa de tráfego
- Vão total - 40m
- Vão central - 20m
- Vãos laterais - 10m
- Distância horizontal entre os nós - 2,50m
- Distância entre as vigas principais - 3,80m
- Madeira a ser utilizada - Peroba Rosa ($\gamma = 0,9\text{g/cm}^3$)
- Equação da parábola para a formação geométrica do banzo superior. Os eixos coordenados estão indicados na figura 1a. A equação é para valores de "x" e "y" em metros.

$$y = 0,035x^2 + 3$$

A equação anterior é empregada para "x" variando entre 0 e 10m. O restante do banzo superior é construído simetricamente, conforme a figura 1a.

A figura 1a, mostra ainda que o banzo superior não fica exatamente com o formato curvo da parábola, pois é composto de peças retas de ma

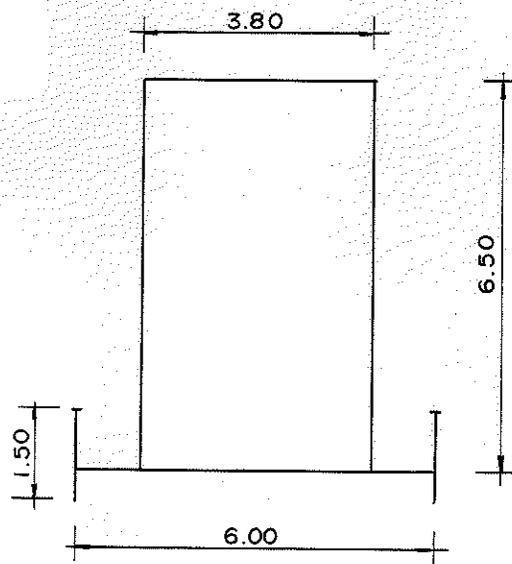
deira que passam por três nós consecutivos, encontrando-se apenas o primeiro e o último sobre a parábola.



a - seção longitudinal

-escala 1 : 250

-unidades (m)



b - seção transversal

-escala 1 : 125

-unidades (m)

FIG. 1

II.2 - Tabuleiro

O tabuleiro é constituído por um tablado de peças longitudinais de madeira, com uma camada de concreto e outra de asfalto, colocadas sobre o mesmo, para regularização, acabamento e melhor distribuição da carga das rodas.

As peças de madeira são simplesmente apoiadas sobre as transversinas, de acordo com a NB - 11, art. 17 {^{2.6}}

II.2.1 - Carga permanente

Para efeito de anteprojeto, foi considerada como largura de distribuição da roda, uma projeção em 45°, 20cm abaixo da pista de rolamento, conforme figura 2, na qual :

- b - largura de distribuição da roda
- a - largura de contato da roda (45cm) {³}
- d - profundidade da projeção (20cm), segundo experiência de

pontes construídas pelo LaMEM.

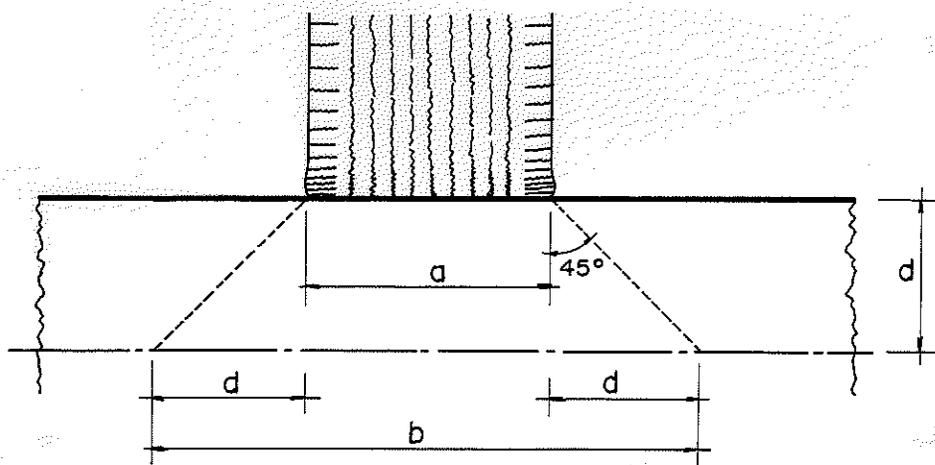


FIG. 2

$$b = a + 2d$$

$$b = 45 + 2 \cdot 20 = 85\text{cm}$$

A largura de distribuição da roda, "b", define a largura máxima da seção resistente do tabuleiro.

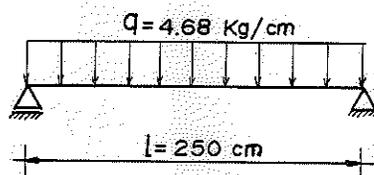
O peso próprio do tabuleiro é estimado, segundo experiência de pontes construídas pelo LaMEM, em 550kg/m^2 . Nestas condições, o peso próprio por metro de tabuleiro é:

$$q = 550 \cdot b$$

$$q = 550 \cdot 0,85 = 468\text{kg/m}$$

$$q = 4,68\text{kg/cm}$$

- Carregamento permanente do tabuleiro:



- Momento fletor:

$$M_P = \frac{q \ell^2}{8} = \frac{4,68 \cdot 250^2}{8} = 36563\text{kgcm}$$

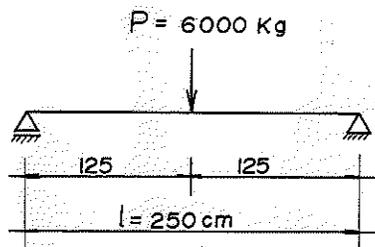
- Esforço cortante:

$$Q_P = \frac{q \ell}{2} = \frac{4,68 \cdot 250}{2} = 585\text{kg}$$

II.2.2 - Carga acidental

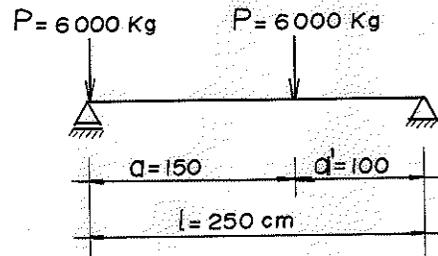
Tendo em vista a definição adotada para o tabuleiro e a carga acidental para ponte classe 36, pode-se fixar o esquema de carregamento, conforme a seguir.

- Carregamento acidental máximo para momento fletor:



$$M_a = \frac{P \ell}{4} = \frac{6000 \cdot 250}{4} = 375000\text{kgcm}$$

- Carregamento acidental máximo para esforço cortante:



$$Q_a = P + \frac{P a'}{l}$$

$$Q_a = 6000 \cdot \left(1 + \frac{100}{250}\right) = 8400 \text{ kg}$$

II.2.3 - Verificações

A seção resistente do tabuleiro é composta por "n" peças de Peroba Rosã de seção transversal $d \times d$, conforme a figura 3.

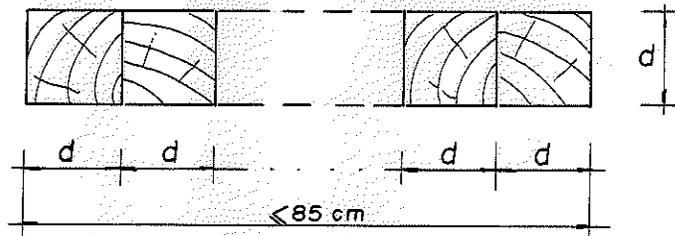


FIG. 3

- Características da seção resistente:

$$J = \frac{85 \cdot d^3}{12}$$

$$M_s = \frac{85 \cdot d^2}{8}$$

$$y = \frac{d}{2}$$

$$b = 85 \text{ cm}$$

- Verificação quanto à flexão:

$$\sigma_f = \frac{My}{J} \leq \bar{\sigma}_f$$

onde:

$$M = M_a + M_p = 411563 \text{ kg cm}$$

$$\bar{\sigma}_f = 135 \text{ kg/cm}^2 \quad \{ 2.21 \}$$

$$\frac{411563 \cdot d \cdot 12}{85 \cdot d^3 \cdot 2} \leq 135$$

$$d \geq 14,7 \text{ cm}$$

- Verificação quanto ao cisalhamento:

$$\tau_f = \frac{Q M_s}{b J} \leq \bar{\tau}_f$$

onde:

$$Q = Q_p + Q_a = 8985 \text{ kg}$$

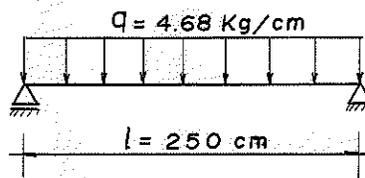
$$\bar{\tau}_f = 12,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{8985 \cdot 85 \cdot d^2 \cdot 12}{85 \cdot 8 \cdot 85 \cdot d^3} \leq 12,1$$

$$d \geq 13,1 \text{ cm}$$

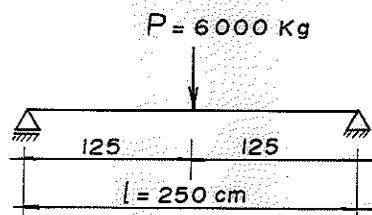
- Verificação da flecha:

Carga permanente:



$$f_P = \frac{5 q l^4}{384 E_p J} \quad \{ 1.6-21 \}$$

Carga acidental:



$$f_a = \frac{P \ell^3}{48 E_a J} \quad \{ 1.6-23 \}$$

$$f = f_a + f_p \leq \bar{f}$$

$$\bar{f} = \frac{\ell}{350} \quad (\text{NB - 11, Art. 69b}) \quad \{ 2.20 \}$$

onde:

$$E_a = 94100 \text{Kg/cm}^2$$

$$E_p = \frac{2}{3} \cdot E_a = 62700 \text{kg/cm}^2 \quad (\text{NB - 11, Art. 69a}) \quad \{ 2.20 \}$$

$$\frac{5 \cdot 4,68 \cdot 250^4 \cdot 12}{384 \cdot 62700 \cdot 85 \cdot d^3} + \frac{6000 \cdot 250^3 \cdot 12}{48 \cdot 94100 \cdot 85 \cdot d^3} \leq \frac{250}{350}$$

$$d \geq 16,9 \text{cm}$$

Adota-se portanto para o tablado do tabuleiro, peças de Peroba Rosa com seção transversal quadrada, de 17cm de lado, ficando a seção resistente constituída por cinco peças, conforme figura 4.

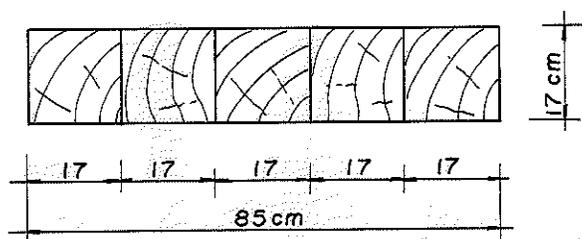


FIG. 4 - seção resistente do tabuleiro

II.3 - Transversinas

As transversinas são elementos transversais à ponte, que recebem o carregamento do tabuleiro e o transmitem para as vigas treliçadas. A madeira utilizada para as transversinas, será também a Peroba Rosa.

II.3.1 - Carga permanente

Em relação ao peso próprio do tabuleiro, é transmitida para a transversina uma carga de:

$$q_1 = 550 \cdot 2,50 = 1375 \text{ kg/m}$$

Em relação à própria transversina, o peso próprio, por metro, é de:

$$q_2 = S \cdot 100 \text{ cm} \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$$

A área da seção transversal "S" está na figura 5.

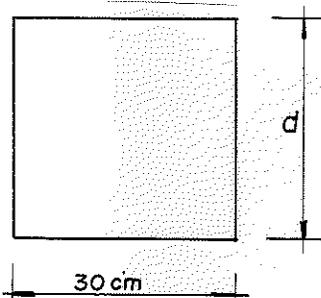


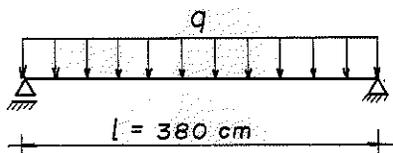
FIG. 5

$$q_2 = 30 \cdot d \cdot 100 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} = (2,7 \cdot d) \text{ kg/m}$$

- Carregamento permanente da transversina:

$$q = q_1 + q_2$$

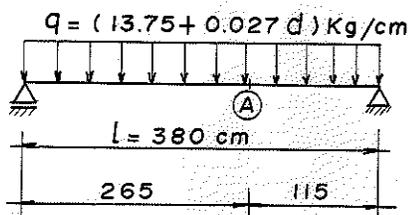
$$q = (13,75 + 0,027d) \text{ kg/cm}$$



- Momento fletor:

Os carregamentos, acidental e permanente, proporcionam momentos fletores máximos, em pontos diferentes.

Para se ter o ponto onde o momento fletor "total" é máximo, foi feita uma pesquisa somando-se, em seção por seção da viga, o momento fletor da carga acidental com o momento fletor da carga permanente, dando como ponto de momento fletor "total" máximo, o ponto "A", indicado nos esquemas de carregamento para momento fletor, a seguir.



$$M_p = \frac{q \ell}{2} \cdot 115 - \frac{q \cdot 115^2}{2} = \frac{q \cdot 115}{2} (\ell - 115)$$

$$M_p = \frac{(13,75 + 0,027d) \cdot 115}{2} \cdot 265 = (209516 + 412d) \text{ kgcm}$$

- Esforço cortante:

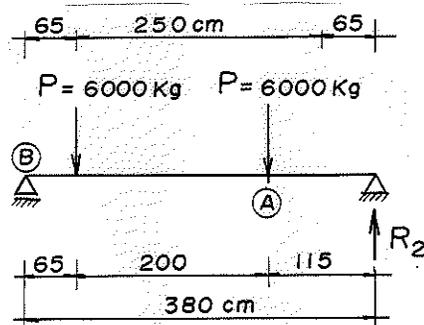
$$Q_p = \frac{q \ell}{2}$$

$$Q_p = \frac{(13,75 + 0,027d) \cdot 380}{2} = (2613 + 5,13d) \text{ kg}$$

II.3.2 - Carga acidental

O veículo do trem-tipo da NB - 6 é posicionado sobre a transversina, conforme esquema a seguir.

- Carregamento acidental:



A cota 250cm compreende a largura da pista de rolamento, entre os guarda-rodas.

- Momento fletor:

O momento fletor "total" máximo, ocorre no ponto "A".

$$M_a = R_2 \cdot 115$$

$$M_a = 6000 \cdot \frac{(265 + 65)}{380} \cdot 115 = 599210 \text{ kgcm}$$

- Esforço cortante:

O esforço cortante máximo ocorre no ponto "B".

$$Q_a = 6000 \cdot \left(\frac{315 + 115}{380} \right) = 6789 \text{kg}$$

II.3.3 - Verificações

As verificações são feitas, considerando-se, a seção das transversais, conforme figura 5.

- Características da seção:

$$J = \frac{30 \cdot d^3}{12}$$

$$M_s = \frac{30 \cdot d^2}{8}$$

$$y = \frac{d}{2}$$

$$b = 30 \text{cm}$$

- Verificação quanto à flexão:

$$\sigma_f = \frac{M \cdot y}{J} \leq \bar{\sigma}_f$$

onde:

$$M = M_a + M_p = (808726 + 412d) \text{kgcm.}$$

$$\bar{\sigma}_f = 135 \text{kg/cm}^2 \quad \{1,21\}$$

$$\frac{(808726 + 412d) \cdot d \cdot 12}{30 \cdot d^3 \cdot 2} \leq 135$$

$$675d^2 - 412d - 808726 \geq 0$$

$$d^2 - 0,61d - 1198 \geq 0$$

$$d \geq \frac{0,61 + 69,23}{2} = 34,9 \text{cm.}$$

- Verificação quanto ao cisalhamento:

$$\tau_f = \frac{Q M_s}{b J} \leq \bar{\tau}_f$$

onde:

$$Q = Q_a + Q_p = (9402 + 5,13d) \text{ kg}$$

$$\bar{\tau}_f = 12,1 \text{ kg/cm}^2 \quad \{ 2.21 \}$$

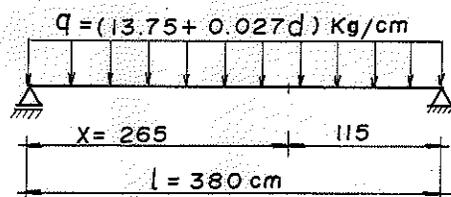
$$\frac{(9402 + 5,13d) \cdot 30 \cdot d^2 \cdot 12}{30 \cdot 8 \cdot 30 \cdot d^3} \leq 12,1$$

$$\frac{38,85}{d} + 0,02 \leq 1$$

$$d \geq 39,6 \text{ cm}$$

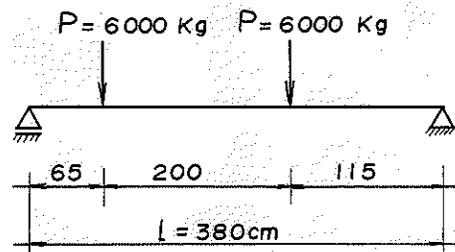
- Verificação da flecha:

Carga permanente:



$$f_p = \frac{q x}{24 E_p J} \cdot (l^3 - 2lx^2 + x^3) \quad \{ 1.6-21 \}$$

Carga acidental:



$$f_{a1} = \frac{P b x}{6 E_a J l} \cdot (l^2 - b^2 - x^2) \quad \{ 1.6-23 \}$$

onde:

$$b = 65\text{cm}$$

$$x = 115\text{cm}$$

$$l = 380\text{cm}$$

$$f_{a_2} = \frac{P a^2 b^2}{3 E_a J l} \quad \{ 1.6-23 \}$$

onde:

$$b = 115\text{cm}$$

$$a = 265\text{cm}$$

$$l = 380\text{cm}$$

$$f = f_p + f_{a_1} + f_{a_2} \leq \bar{f}$$

$$\bar{f} = \frac{l}{350} \quad (\text{NB - 11, Art. 69b}) \quad \{ 2.20 \}$$

$$f_p = \frac{(13,75 + 0,027d) \cdot 265 \cdot 12}{24 \cdot 62700 \cdot 30 \cdot d^3} \cdot (380^3 - 2 \cdot 380 \cdot 265^2 + 265^3)$$

$$f_p = \frac{19478,49 + 38,25d}{d^3}$$

$$f_{a_1} = \frac{6000 \cdot 65 \cdot 115 \cdot 12}{6 \cdot 94100 \cdot 30 \cdot d^3 \cdot 380} \cdot (380^2 - 65^2 - 115^2)$$

$$f_{a_1} = \frac{10615,26}{d^3}$$

$$f_{a_2} = \frac{6000 \cdot 265^2 \cdot 115^2 \cdot 12}{3 \cdot 94100 \cdot 30 \cdot d^3 \cdot 380}$$

$$f_{a_2} = \frac{20778,02}{d^3}$$

$$\frac{19478,49 + 38,25d + 10615,26 + 20778,02}{d^3} \leq \frac{380}{350}$$

$$d^3 - 35,23d - 46855,58 \geq 0$$

$$d \geq 36,4\text{cm}$$

Serão adotadas portanto, para as transversinas, vigas de Peroba Rosa, com seção transversal de (30 x 40)cm, cuja composição será estudada no dimensionamento definitivo, capítulo III.

II.4 - Viga treliçada

O cálculo da viga treliçada é feito, neste anteprojeto, de maneira simplificada, mas compatível com o sistema de carregamento, mais crítico.

II.4.1 - Hipóteses simplificadoras

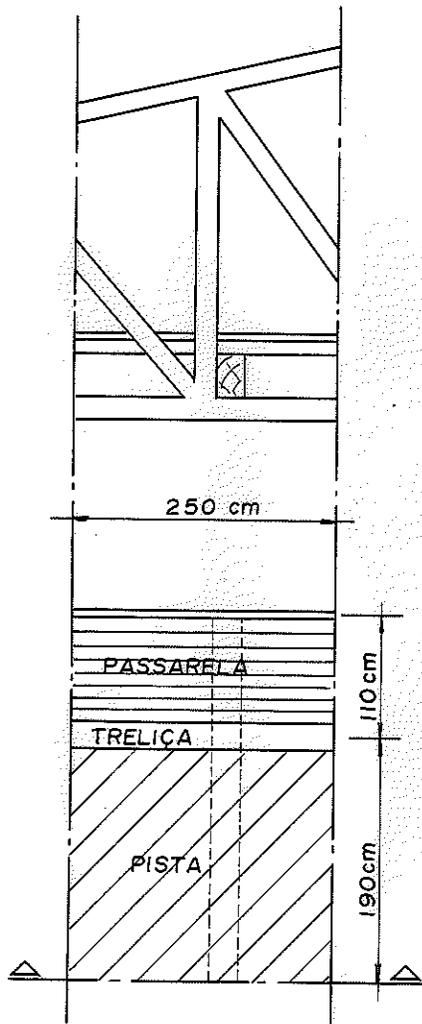
A - A carga atuante máxima (permanente mais acidental) é admitida igual em todos os nós. Para tal, o cálculo será feito levando-se em consideração um nó genérico, representativo dos demais.

B - As reações de apoio são calculadas, considerando-se a treliça como uma viga contínua, de "EJ" constante, com carregamento uniformemente distribuído em toda a sua extensão.

C - Os esforços, nos elementos da viga treliçada, são avaliados através do processo gráfico de Cremona. O carregamento é aplicado em cada nó do banzo inferior.

II.4.2 - Carga permanente

Contribuição do tabuleiro, passarela e transversina, para um nó genérico, conforme figura 6.



Carga permanente total:

- passarela: 80kg/m^2
- pista: 550kg/m^2
- transversina: $(30 \cdot 40 \cdot 100) \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}\text{kg/cm}^3 = 108\text{kg/m}$

$$P_1 = (2,50 \cdot 1,10) \cdot 80 + (2,50 \cdot 1,90) \cdot 550 + 3,00 \cdot 108$$

$$P_1 = 3157\text{kg}$$

FIG. 6

- Contribuição da viga treliçada

Adotando uma seção média de $(28 \times 28\text{cm})$ para os elementos da treliça, conforme figura 6, a contribuição será de:

$$P_2 = 1000\text{kg/nó}$$

II. 4.3 - Carga acidental

Para cada nó, será considerada a carga de uma roda do veículo (6000kg) e mais a carga uniformemente distribuída na passarela (300kg/m^2) ^{ 3 }

$$P_3 = 6000 + 300 \cdot (1,10 \cdot 2,50) = 6825\text{kg}$$

II.4.4 - Reações de apoio

Será considerado como carregamento total, a carga uniformemente distribuída em toda a extensão da viga contínua, conforme figura 7.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \approx 11000 \text{ kg/nó}$$

Distribuindo em 2,50m, região de influência de um nó, tem-se a carga uniformemente distribuída em toda a viga.

$$q = \frac{P_T}{250} = \frac{11000}{250} = 44 \text{ kg/cm}$$

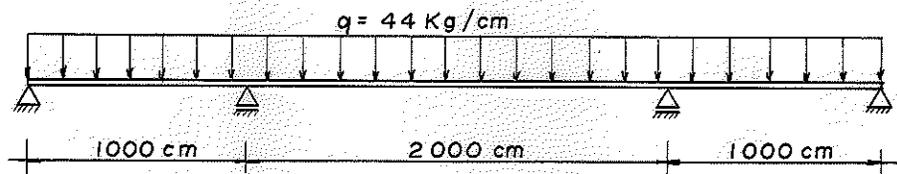


FIG. 7

A viga contínua (hiperestática) da figura 7 será decomposta em dois esquemas isostáticos, valendo a superposição de efeitos, conforme a figura 8.

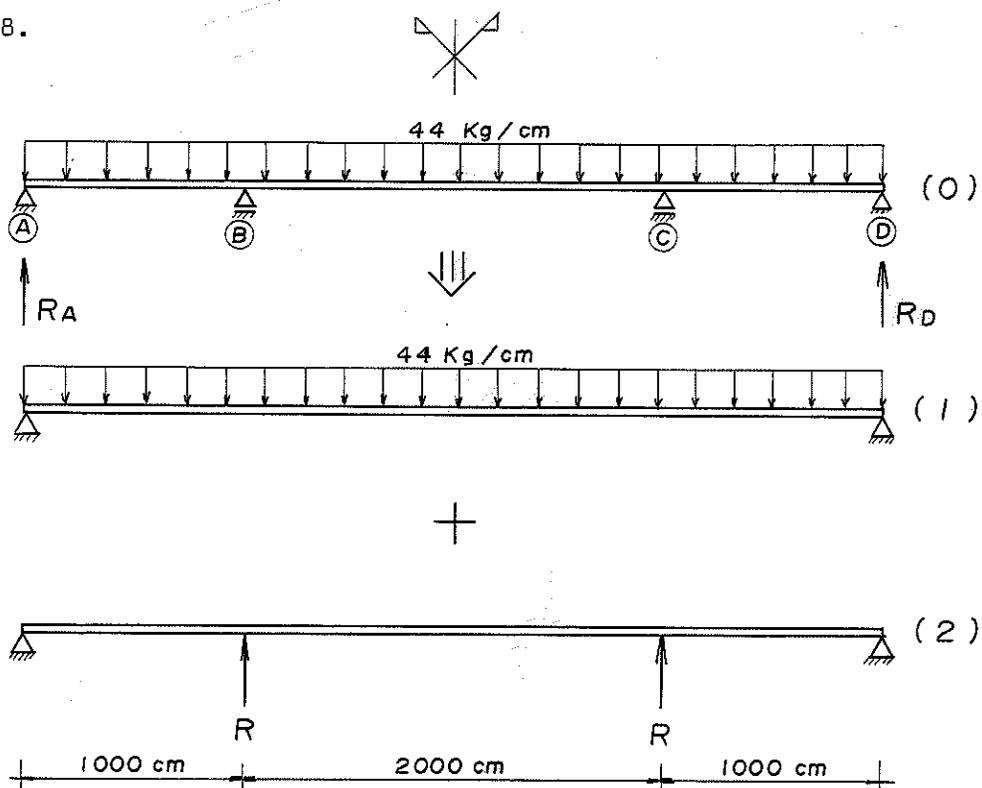


FIG. 8

Como a viga é simétrica, deve ser adotada como reação de apoio dos pontos "B" e "C", a força "R".

- Pela superposição dos efeitos:

$$(0) = (1) + (2)$$

O esquema estático da viga mostra que os deslocamentos verticais do caso (0) em "B" e "C" são nulos. Portanto:

$$f_{B,C}^{(0)} = f_{B,C}^{(1)} - f_{B,C}^{(2)} = 0$$

- Equação da flecha para os casos (1) e (2)

$$f_B^{(1)} = \frac{q \cdot x}{24 E J} (l^3 - 2lx^2 + x^3) \quad \{1.6-21\}$$

$$f_B^{(2)} = \frac{R \cdot x}{6 E J} (3la - 3a^2 - x^2) \quad \{1.6-23\}$$

$$f_B^{(1)} = \frac{44 \cdot 1000}{24 E J} (4000^3 - 2 \cdot 4000 \cdot 1000^2 + 1000^3)$$

$$f_B^{(2)} = \frac{R \cdot 1000}{6 E J} (3 \cdot 4000 \cdot 1000 + 3 \cdot 1000^2 - 1000^2)$$

como:

$$f_B^{(1)} - f_B^{(2)} = 0$$

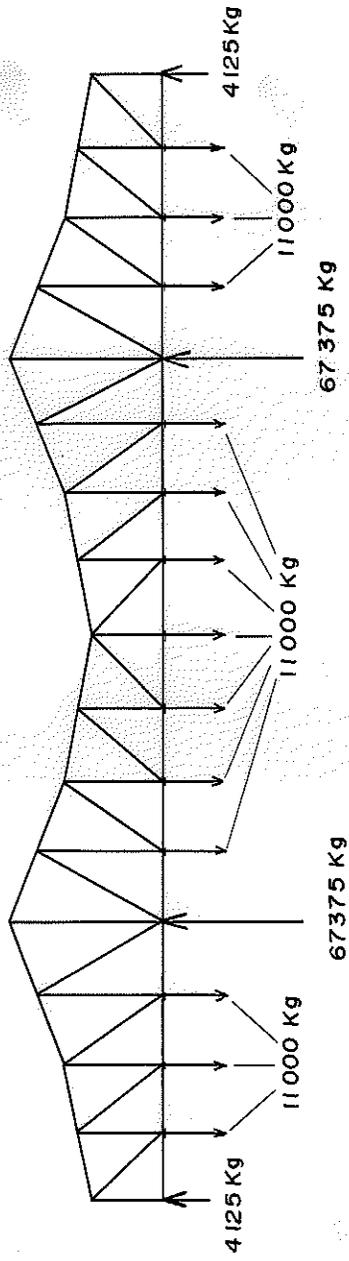
resultará:

$$R = 78375 \text{kg}$$

Substituindo $R = 78375 \text{kg}$ em (0) e fazendo o equilíbrio das cargas verticais, $\sum F_v = 0$, resulta:

$$R_A = R_D = 9625 \text{kg}$$

Resumo do carregamento e reações para aplicação
do processo gráfico de Cremona



II.4.5 - Processo gráfico de Cremona

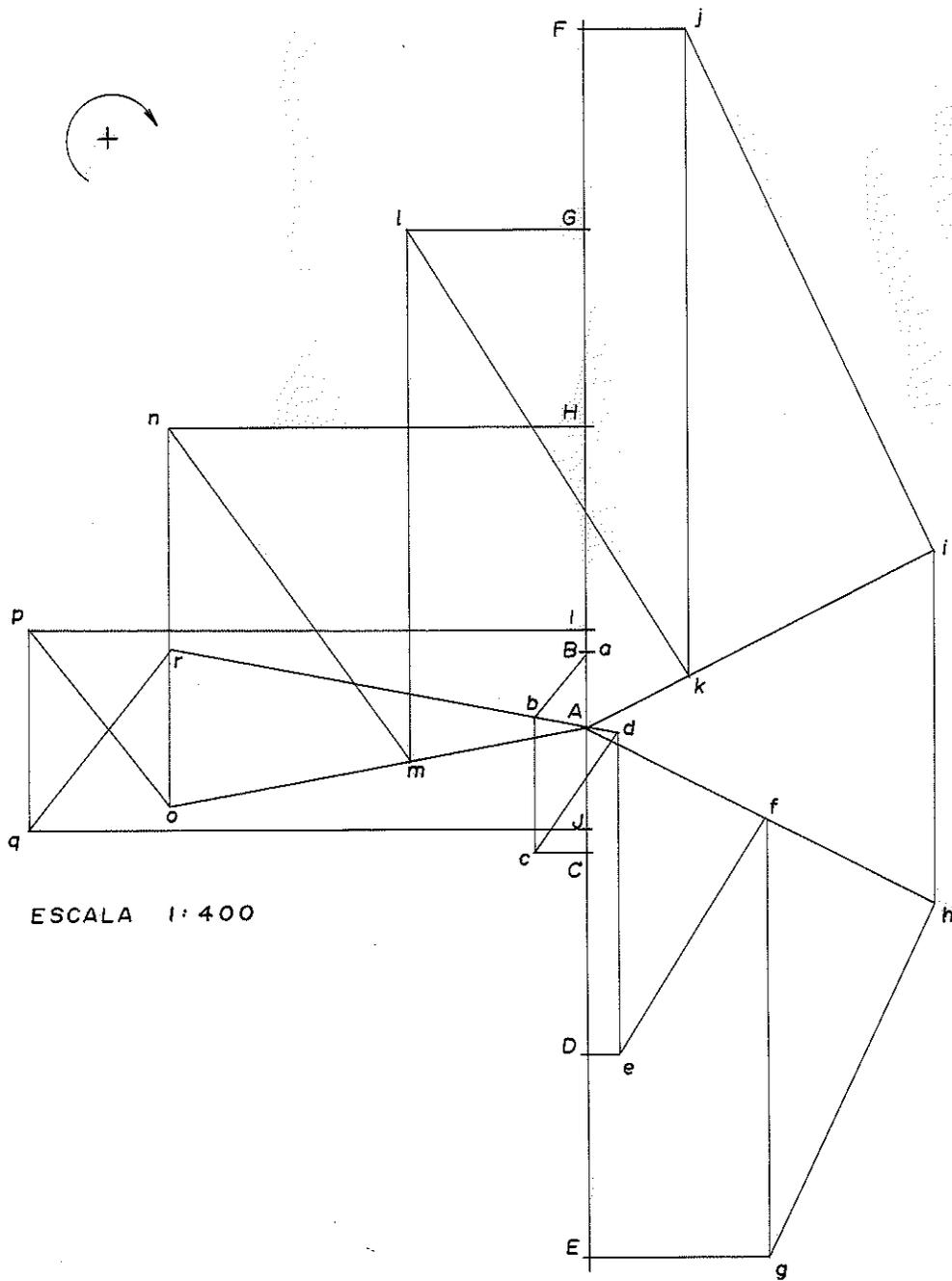
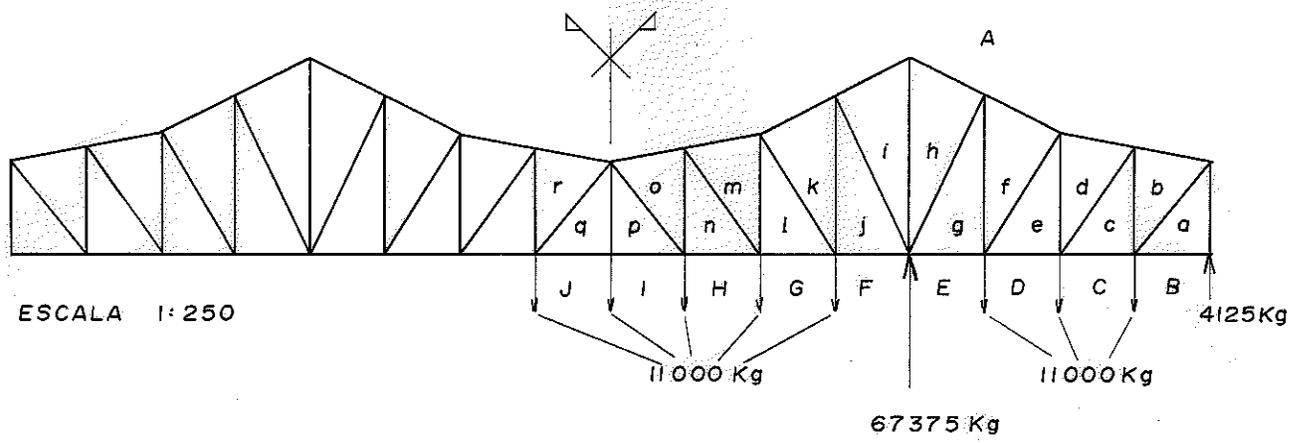


FIG. 9

Resumo dos esforços, nos elementos da viga treliçada, obtidos através do processo gráfico de Cremona (figura 10).

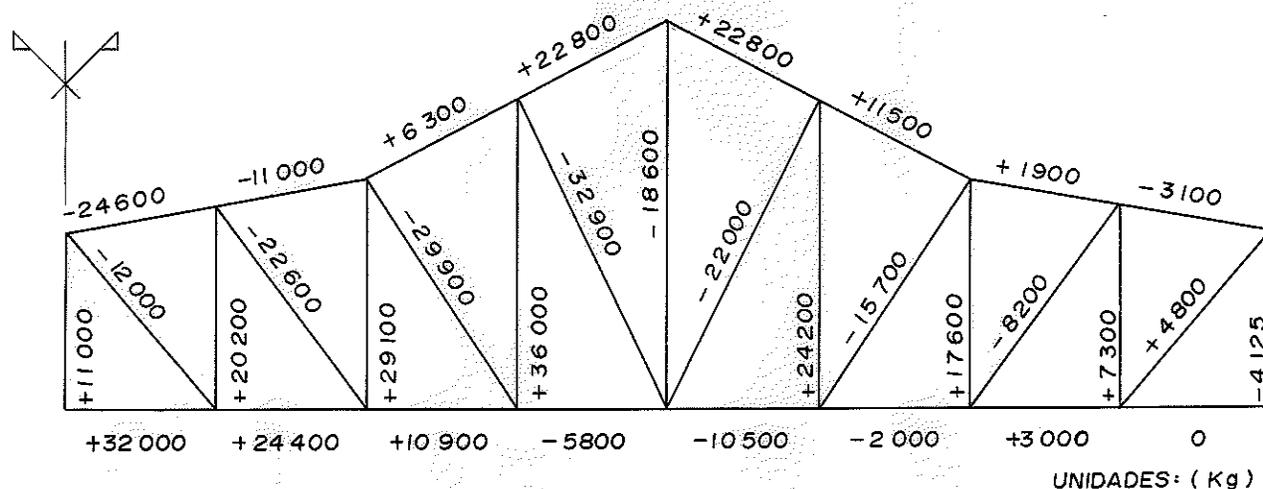


FIG. 10

II.5 - Avaliação preliminar das seções dos elementos da viga treliçada

A seção transversal dos elementos da viga treliçada, é avaliada a partir dos esforços máximos encontrados.

- Banzo superior

Seção transversal a ser verificada (24 x 16)cm

Maior esforço de tração: 22800kg

$$\frac{22800}{24 \cdot 16} = 59 < 135 \text{kg/cm}^2$$

24 . 16

Maior esforço de compressão: 24600kg

$$l_{fl} = 254 \text{cm}$$

$$\lambda = \frac{254}{\sqrt{\frac{24 \cdot 16^3}{12 \cdot 16 \cdot 24}}} = 55 \rightarrow \bar{\sigma}_{fl} = 67 \text{kg/cm}^2$$

{ 2.15 }
{ 10.13 }

$$\bar{P} = (16 \cdot 24) \cdot 67 = 25728 \text{kg} > 24600 \text{kg}$$

- Banzo inferior

Seção transversal a ser verificada (24 x 16)cm

Maior esforço de tração: 32000kg

$$\frac{32000}{24 \cdot 16} = 84 < 135 \text{kg/cm}^2$$

Maior esforço de compressão: 10500kg

$$l_{fl} = 250 \text{cm}$$

$$\lambda = \frac{250}{\sqrt{\frac{24 \cdot 16^3}{12 \cdot 16 \cdot 24}}} = 54 \rightarrow \bar{\sigma}_{fl} = 68 \text{kg/cm}^2$$

$\frac{\{ 2.15 \}}{\{ 10.13 \}}$

$$\bar{P} = (24 \cdot 16) \cdot 68 = 26112 \text{kg} > 10500 \text{kg}$$

- Montantes

Seção transversal a ser verificada (24 x 16)cm

Maior esforço de tração: 36000kg

$$\frac{36000}{24 \cdot 16} = 94 < 135 \text{kg/cm}^2$$

Maior esforço de compressão: 18600kg

Montante do apoio interno: $l_{fl} = 650 \text{cm}$

Seção transversal a ser verificada (24 x 32)cm

$$\lambda = \frac{650}{\sqrt{\frac{32 \cdot 24^3}{12 \cdot 32 \cdot 24}}} = 94 \rightarrow \bar{\sigma}_{fl} = 26 \text{kg/cm}^2$$

$\frac{\{ 2.15 \}}{\{ 10.13 \}}$

$$\bar{P} = (24 \cdot 32) \cdot 26 = 19968 \text{kg} > 18600 \text{kg}$$

- Diagonais

Seção transversal a ser verificada (26 x 32)cm

Maior esforço de tração: 4800kg (insignificante)

Maior esforço de compressão: 32900kg

$$l_{fl} = 576 \text{cm}$$

$$\lambda = \frac{576}{\sqrt{\frac{32 \cdot 26^3}{12 \cdot 32 \cdot 26}}} = 76 \rightarrow \bar{\sigma}_{fl} = 40 \text{kg/cm}^2$$

$\frac{\{ 2.15 \}}{\{ 10.13 \}}$

$$\bar{P} = (26 \cdot 32) \cdot 40 = 33280 \text{kg} > 32900 \text{kg}$$

II.6 - Résumé das seções a serem adotadas

- Tabuleiro: (17 x 17)cm
- Transversina: (30 x 40)cm
- Banzo superior: (24 x 16)cm
- Banzo inferior: (24 x 16)cm
- Diagonais: (32 x 26)cm
- Montantes: (24 x 16)cm
- Montante do apoio interno: (32 x 24)cm

CAPÍTULO III

DIMENSIONAMENTO DEFINITIVO

CAPÍTULO III

Dimensionamento definitivo

Para o dimensionamento definitivo, serão computados os carregamentos, permanente e acidental, pesquisando-se sempre a condição que provoque as solicitações mais desfavoráveis da estrutura.

Para serem avaliadas estas condições, optou-se pela análise através do programa "STRESS" do computador IBM 1130^{ 13 },^{ 21.4-01 }. Tendo a geometria da estrutura e fazendo aplicação sucessiva de carga unitária em cada nó da estrutura, obtém-se a propagação da solicitação desta carga, para todos os elementos da viga treliçada.

Desta maneira, poderão ser compostas linhas de influência para cada elemento da viga treliçada.

Com o carregamento a ser adotado, e tendo as linhas de influência, serão avaliados os máximos esforços de tração e de compressão a que cada elemento da viga treliçada está submetido.

Para ser iniciado um estudo voltado para a utilização da madeira, consultou-se na bibliografia, a respeito da madeira como material da natureza, verificando seu comportamento como material estrutural.^{ 7 }.....
^{ 14 },^{ 19 },^{ 23 }.

III.1 - Configuração geométrica da estrutura

Nas duas páginas seguintes, encontram-se as vistas longitudinal e transversal da estrutura, figuras 11 e 12.

Na figura 12, seção transversal, a dimensão da largura da pista está com a medida mínima necessária, exigida pela NB-6, ou seja 250cm, que são os 200cm entre centro de rodas mais 45cm(22,5cm+22,5cm) referente à largura da roda.

(*)Em termos de projetos posteriores, é aconselhável que essa dimensão seja aumentada para 300cm, pois na prática, dá maior liberdade de espaço lateral para quem está dirigindo um veículo. Entretanto essa dimensão não deve ser aumentada de maneira a permitir que o motorista sinta que o espaço lateral comporte dois veículos.

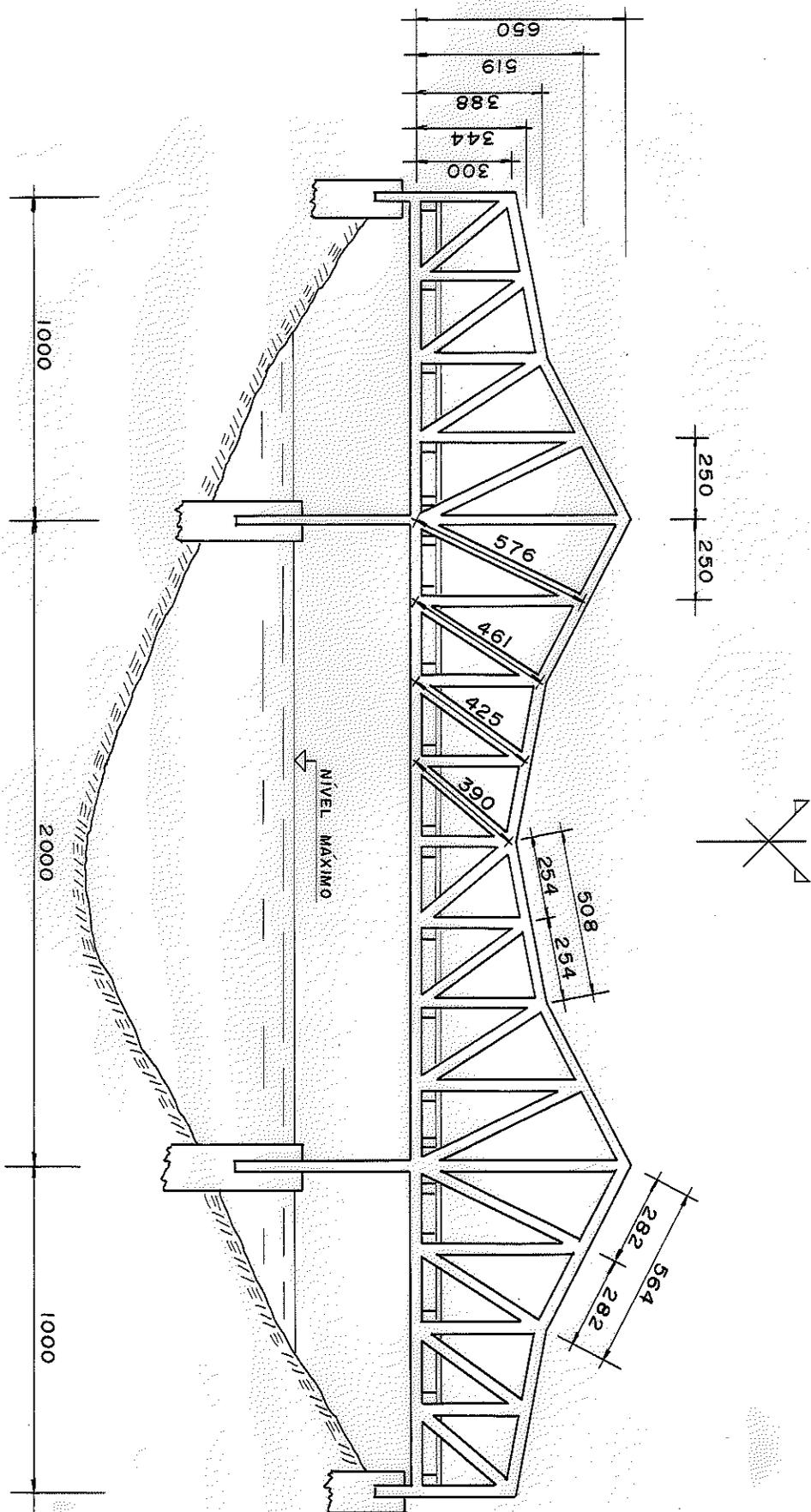


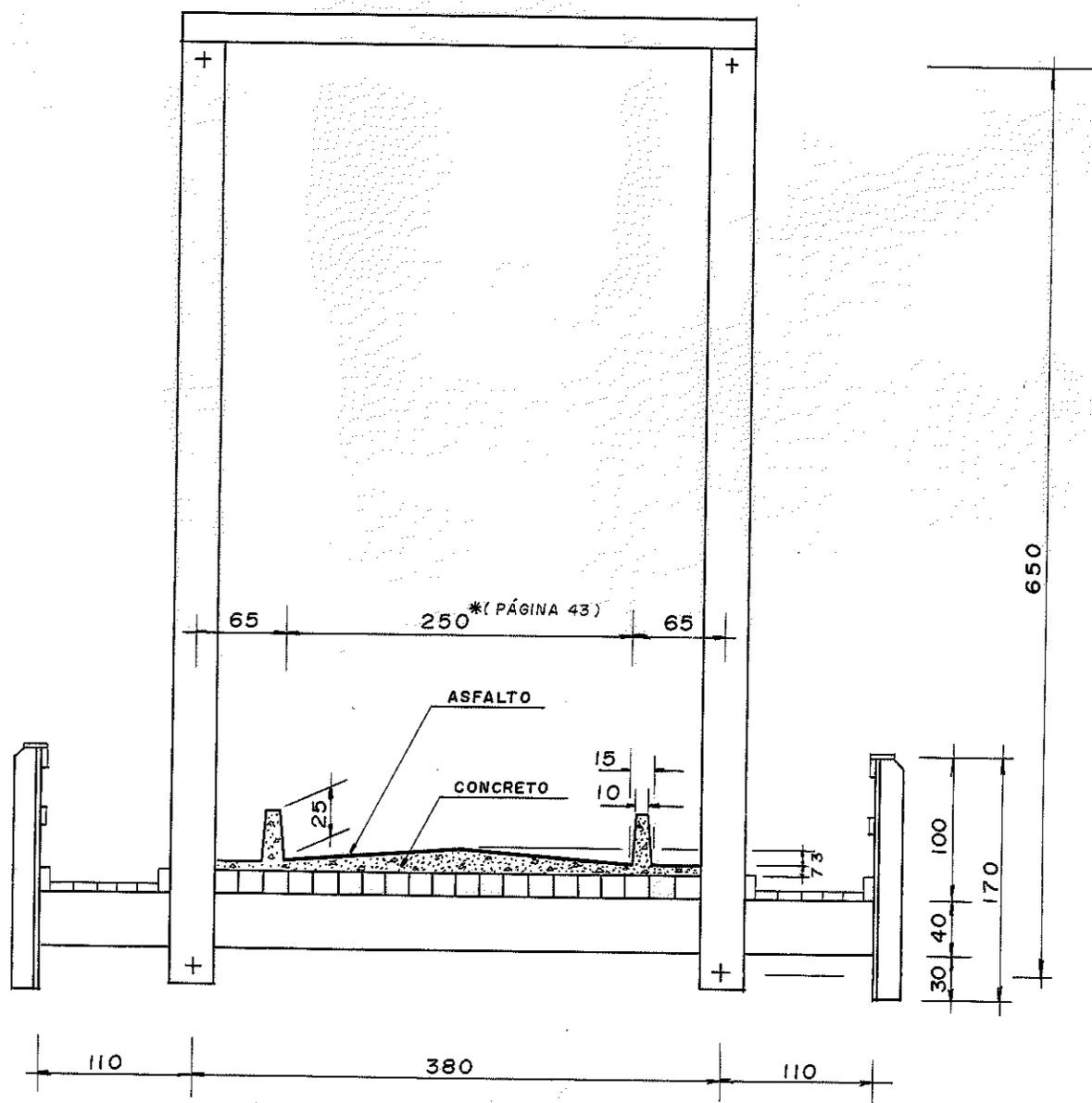
FIG. 11 - seção longitudinal

-escala 1 : 200
-unidades (cm)

FIG. 12 - seção transversal

-escala 1 : 50

-unidades (cm)



III.2 - Passarela

A passarela é montada sobre a continuação das transversinas, conforme figura 12.

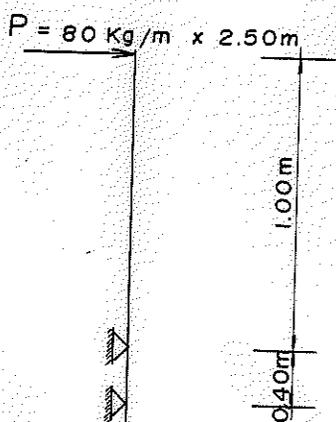
O soalho da passarela, é composto de peças 6 x 16 de Peroba Rosa, interligadas por sarrafos 3 x 12 a cada 1/3 do vão, conforme indica a figura 13.

O cálculo do soalho foi feito de acordo com a NB - 11, artigos 13 e 14 {2.6} :

O guarda-corpo é fixado na extremidade da transversina, através de cantoneiras, conforme indica a figura 13.

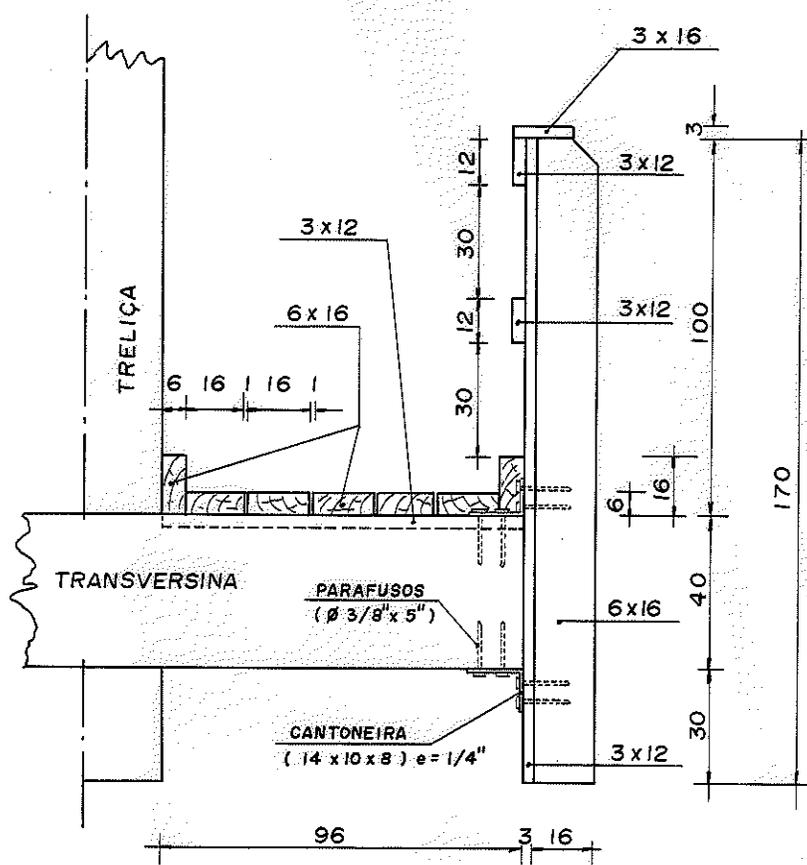
O cálculo do guarda-corpo foi feito conforme a NB - 11, art. 12 {2.5}, ou seja, para resistir a um esforço horizontal de 80kg/m, aplicado no corrimão.

O esquema estático para o cálculo do guarda-corpo é o seguinte:

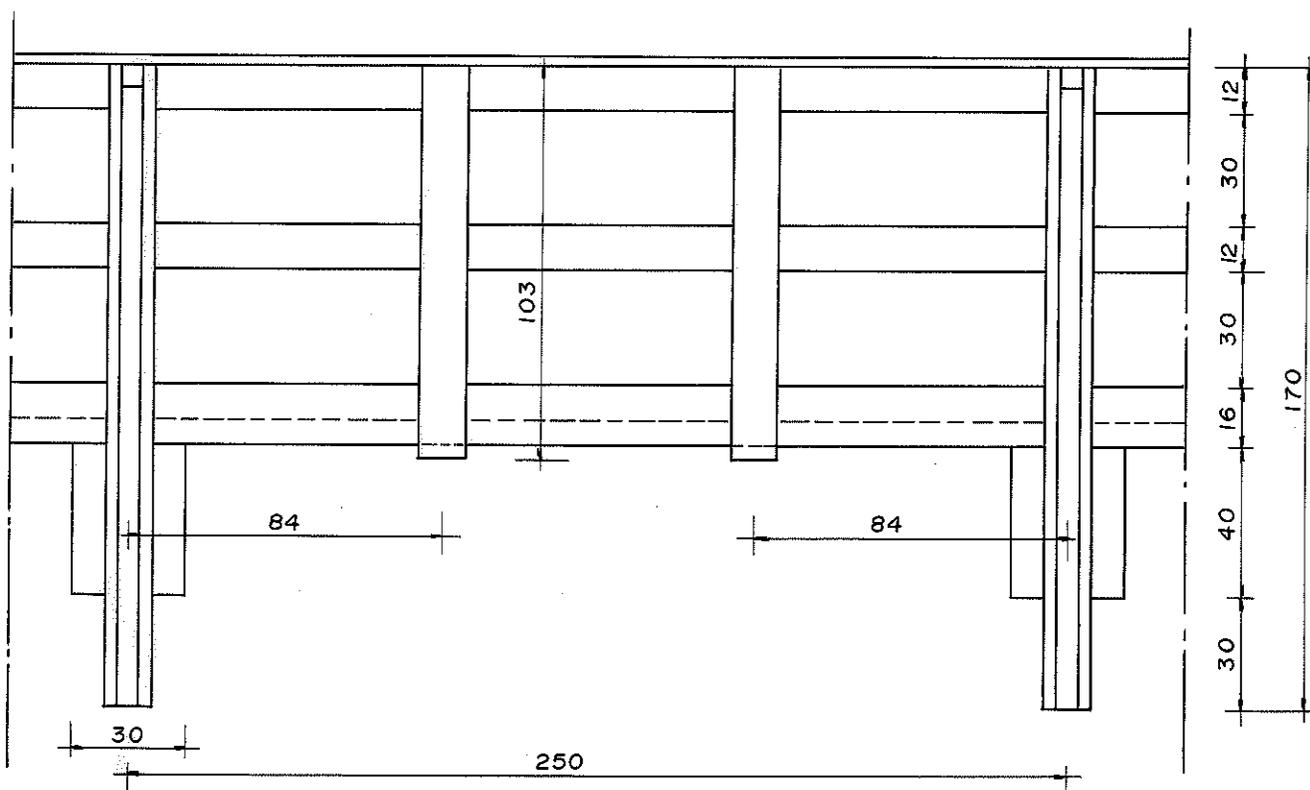


A seguir, no item III.2.1, está representada a composição geométrica da passarela, calculada conforme a exposição feita anteriormente.

III.2.1 - Configuração geométrica



a - SECÇÃO TRANSVERSAL ESCALA 1:20
UNIDADES (cm)



b - VISTA LATERAL ESCALA 1:20
UNIDADES (cm)

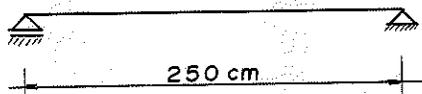
FIG. 13

III.3 - Tabuleiro

As peças de madeira do tablado, são calculadas conforme a NB -11, Artigos 15 a 17 { 2.6 }

Com o esquema estático abaixo é computado todo o carregamento, permanente e acidental, com o qual será pesquisada a condição mais crítica.

Esquema estático:



Da NB - 11, Art. 15, tem-se para largura resistente do tabuleiro

$b \leq a'' + 2e' + d$, onde a'' é a largura da roda, e e' , d , b , encontram-se representados na figura 14.

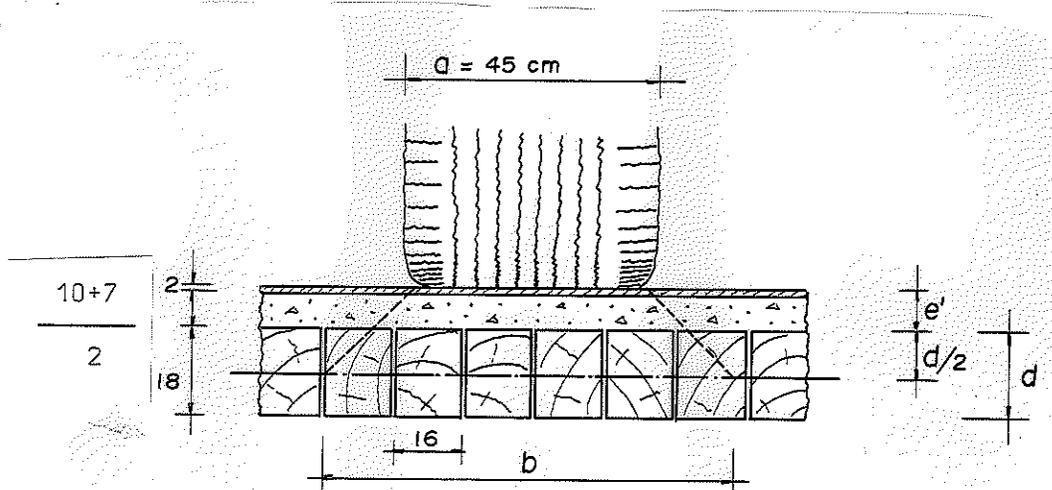


FIG. 14

$$b \leq 45 + 2 \cdot 10,5 + 18$$

$$b \leq 84 \text{ cm}$$

No anteprojeto ficou definido um tablado composto por postes de seção 17 x 17 cm.

No presente capítulo é verificada uma seção de 16 x 18 cm. Assim sendo, é possível um maior aproveitamento de material, pois 5 peças de 16 cm de largura darão uma largura resistente de 80 cm, bem próxima portanto dos 84 cm limite.

Com seção 16 x 18 cm, as peças poderão ser maciças (peça única), ou construídas em madeira laminada colada, composta por seis tábuas de seção 3 x 16 cm, portanto é outra vantagem de se trabalhar com seção 16x18 cm.

O estudo da madeira laminada está em desenvolvimento no LaMEM, já contando com um trabalho a nível de mestrado { 22 }. Pode se encontrar tam

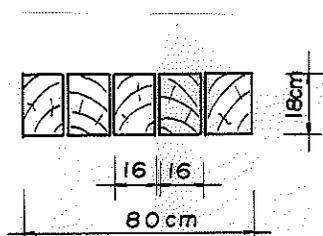
bém, a respeito de madeira laminada no manual do "AITC" {¹ }.

O número de postes necessários para a composição da seção resistente do tablado depende de sua largura, neste caso, tem-se:

$$\text{Número de postes} = \frac{84}{16} = 5,25$$

Será verificado, a seguir, se 5 postes de 16 x 18cm suportam as cargas aplicadas ao tabuleiro.

Características da seção resistente do tablado:



$$J = \frac{80 \times 18^3}{12} = 38880 \text{ cm}^4$$

$$M_s = 80 \cdot \frac{18^2}{8} = 3240 \text{ cm}^3$$

$$y = 9 \text{ cm}$$

$$b = 80 \text{ cm}$$

III.3.1 - Carga permanente

- Asfalto ($\gamma = 2 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$)

$$p_1 = 2 \cdot (250 \cdot 250) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 250 \text{ kg}$$

- Guarda-rodas de concreto armado ($\gamma = 2,4 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$)

$$p_2 = 2 \cdot \left(\frac{10 + 15}{2} \cdot 25 \cdot 250 \right) \cdot 2,4 \cdot 10^{-3} = 375 \text{ kg}$$

- Concreto de distribuição ($\gamma = 2,2 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$)

$$p_3 = \left(\frac{10+7}{2} \cdot 250 \cdot 380 \right) \cdot 2,2 \cdot 10^{-3} = 1777 \text{ kg}$$

- Vigas de Peroba Rosa ($\gamma = 0,9 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$)

$$p_4 = (18 \cdot 380 \cdot 250) \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} = 1540 \text{ kg}$$

- Ligações e eventuais (de 5 a 10% do total) NB - 11, Art. 51

$$p_5 = 0,10 \cdot (p_1 + p_2 + p_3 + p_4) = 390 \text{ kg}$$

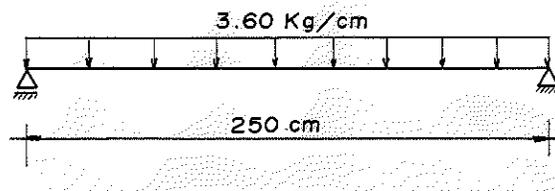
- Carga permanente, total, distribuída:

$$q' = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5}{2,50 \cdot 3,80} \approx 450 \text{ kg/m}^2$$

Por metro de seção resistente do tabuleiro, tem-se:

$$q = 450 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,80 \text{ m} = 360 \text{ kg/m}$$

Carga permanente:



- Momento fletor:

$$M_p = \frac{q l^2}{8} = \frac{3,60 \cdot 250^2}{8} = 28125 \text{ kgcm}$$

- Esforço cortante:

$$Q_p = \frac{q l}{2} = \frac{3,60 \cdot 250}{2} = 450 \text{ kg}$$

III.3.2 - Carga acidental

O estudo da carga acidental é feito com a aplicação do trem-tipo da norma {³ }.

Serão pesquisadas as condições mais críticas, levando-se em consideração:

- Impacto vertical (NB - 11, Art. 7) {^{2.4} }
- Força longitudinal (NB - 11, Art. 9d, e) {^{2.4} }
- Carga de vento (NB - 11, Art. 11) {^{2.5} }

- Impacto vertical

É considerada a influência do impacto vertical somente nas peças metálicas das ligações ou tirantes. Considera-se o coeficiente de impacto " φ ", de acordo com a NB - 11, Art. 7.

$$\varphi = 1 + \frac{\alpha}{40 + l}$$

para $\alpha = 12$, sendo " l ", o vão do trecho em consideração, daí resultando um coeficiente de impacto para cada vão.

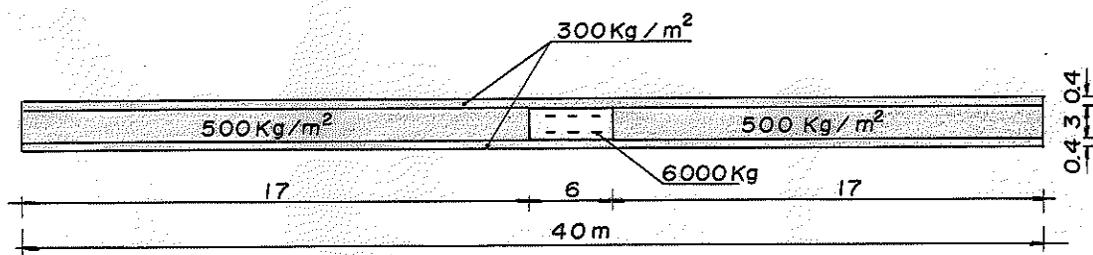
No caso dos vãos não se diferenciarem em mais de 30%, pode ser tomado um " ψ " médio. Para o caso da viga em questão, será considerado, a favor da segurança, o " ψ " para $\ell = 10\text{m}$.

$$\psi = 1 + \frac{12}{40 + 10} = 1,24$$

- Força longitudinal:

Devem ser examinados dois casos:

a) 5% do carregamento total do tabuleiro, com carga móvel uniformemente distribuída.



$$F_{5\%} = 0,05 \cdot [(0,40 \cdot 40 \cdot 300) \cdot 2 + (3 \cdot 17 \cdot 500) \cdot 2 + 6 \cdot 6000] = 4830\text{kg}$$

b) 30% do peso do veículo da Norma, para cada via de tráfego.

$$F_{30\%} = 0,30 \cdot 6 \cdot 6000 = 10800\text{kg}$$

Para efeito de cálculo, adota-se o maior dos dois valores. Portanto:

$$F_L = 10800\text{kg}$$

Esta força longitudinal é aplicada, sem impacto, a 1,20m acima da superfície de rolamento e seu efeito, na madeira, é dividido por dois.

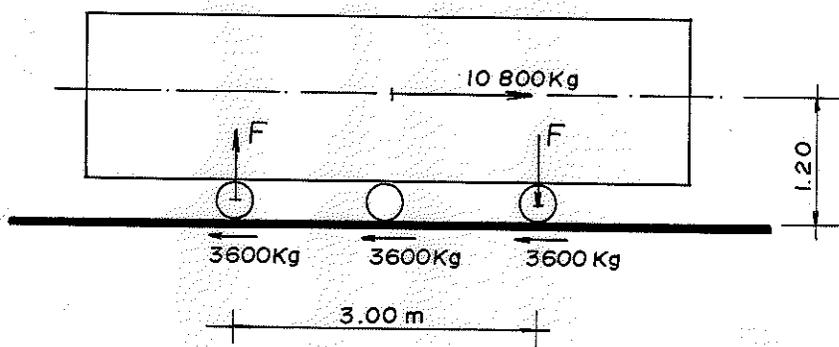


FIG. 15

A força longitudinal não é utilizada diretamente nos cálculos. Sua ação pode ser transformada nas componentes de atrito e num binário que atua nos eixos extremos do veículo (figura 15).

$$10800 \cdot 1,20 = F \cdot 3,00$$

$$F = 4320\text{kg}$$

Na figura 16 está representada a metade do veículo. Além disso, os efeitos da força longitudinal foram divididos por dois, pela característica da madeira ter resistência elevada, quando submetida a cargas rápidas.

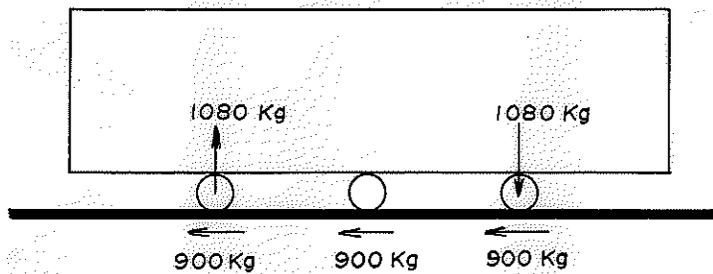


FIG. 16

- Carga de vento:

Será considerada a atuação do vento, incidindo na parte exposta da estrutura com o carregamento horizontal indicado abaixo:

- Ponte carregada = $100\text{kg}/\text{m}^2$
- Ponte descarregada = $150\text{kg}/\text{m}^2$
- No veículo = $200\text{kg}/\text{m}$ (aplicada $1,20\text{m}$ acima da superfície de rolamento)

Fazendo uma avaliação de toda a superfície da estrutura, tem-se a área de:

$$S \approx 80\text{m}^2$$

No veículo estação atuando $200\text{kg}/\text{m}$, numa extensão de 6m , resultando numa carga de 1200kg (figura 17).

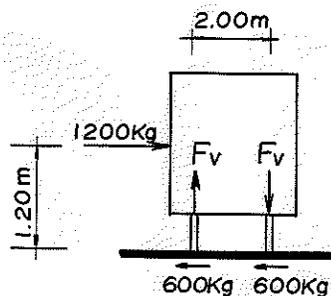


FIG. 17

Fazendo o equilíbrio de momentos das cargas da figura 17, tem-se:

$$1200 \cdot 1,20 = F_v \cdot 2,00$$

$$F_v = 720\text{kg}$$

$$\text{- Ponte carregada} = (100\text{kg/m}^2 \times 80\text{m}^2) + 1200\text{kg} = 9200\text{kg}$$

$$\text{- Ponte descarregada} = (150\text{kg/m}^2 \times 80\text{m}^2) = 12000\text{kg}$$

Portanto, a condição mais crítica é quando a ponte está descarregada.

Levando-se em consideração que são duas vigas principais a suportar este esforço, tem-se, por metro de ponte.

$$q_v = \frac{\frac{1200}{2}}{40} = 150\text{kg/m}$$

Devido à alta resistência da madeira às cargas rápidas:

$$q_v = \frac{150}{2} = 75\text{kg/m}$$

Podemos concluir, portanto, que o efeito horizontal da ação do vento é desprezível para a estrutura em questão, toda contraventada, nos nós sob o tabuleiro, fazendo com que este contraventamento, trabalhe como uma viga deitada. Contraventados os nós do banzo inferior, resta uma parcela de carga bastante pequena para os nós do banzo superior. Como uma sugestão inicial, podem ser contraventados apenas os nós dos montantes dos apoios internos, devendo todavia ser verificado se este contraventamento é suficiente.

A ação vertical do vento será verificada para $F_v = 720\text{kg}$.

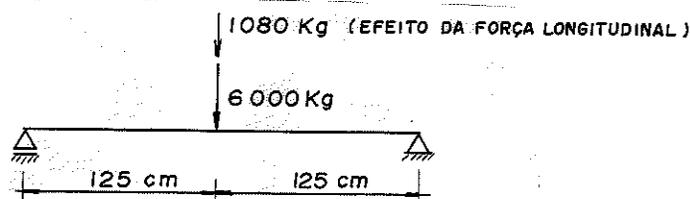
Como são três rodas: $\frac{720}{3} = 240\text{kg/roda}$.

Dividindo por 2, pela alta resistência da madeira a cargas rápidas, tem-se 120kg/roda.

Verifica-se que este efeito representa 2% da carga de cada roda, o que é desprezível, art. 11 da NB-11.

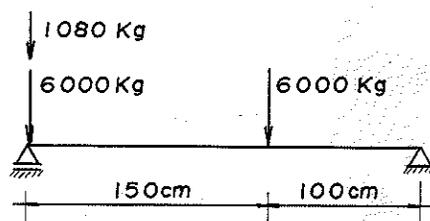
Com isso, pode ser concluído que o efeito do vento, na estrutura, pode ser totalmente desprezado.

- Carregamento acidental máximo, para momento fletor:



$$M_a = \frac{P \ell}{4} = \frac{7080 \cdot 250}{4} = 442500\text{kgcm}$$

- Carregamento acidental máximo, para esforço cortante:



$$Q_a = \frac{6000 \cdot 100}{250} + 7080 = 9480 \text{ kg}$$

III.3.3 - Verificações

Conforme a NB - 11, Art. 15, obteve-se um tabuleiro cuja seção resistente é composta por 5 postes de Peroba Rosa de 16 x 18cm, cada.

- Verificação quanto à flexão:

$$\sigma_f = \frac{M y}{J} \leq \bar{\sigma}_f$$

onde:

$$M = M_a + M_p = 470625 \text{ kgcm}$$

$$\bar{\sigma}_f = 135 \text{ kg/cm}^2 \quad \{ 2.21 \}$$

$$\frac{470625 \cdot 9}{38880} = 109 < 135 \text{ kg/cm}^2$$

- Verificação quanto ao cisalhamento:

$$\tau_f = \frac{Q M_s}{b J} \leq \bar{\tau}_f$$

onde:

$$Q = Q_a + Q_p = 9930 \text{ kg}$$

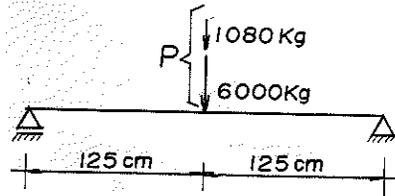
$$\bar{\tau}_f = 12,1 \text{ kg/cm}^2 \quad \{ 2.21 \}$$

$$\frac{9930 \cdot 3240}{80 \cdot 38880} = 10,3 < 12,1 \text{ kg/cm}^2$$

- Verificação quanto à flecha:

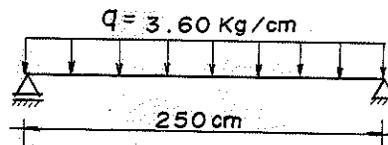
Carga permanente:

$$f_p = \frac{5 q \ell^4}{384 E_p J} \quad \{ 1.6-21 \}$$



Carga acidental:

$$f_a = \frac{P \ell^3}{48 E_a J} \quad \{ 1.6-23 \}$$



$$f = f_a + f_p \leq \bar{f}$$

$$\bar{f} = \frac{\ell}{350} \quad (\text{NB - 11, Art. 69b}) \quad \{ 2.20 \}$$

onde:

$$E_a = 94100 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_p = 62700 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{5 \cdot 3,60 \cdot 250^4}{384 \cdot 62700 \cdot 38880} + \frac{7080 \cdot 250^3}{48 \cdot 94100 \cdot 38880} \leq \frac{250}{350}$$

$$0,70 < 0,71$$

III.3.4 - Solidarização do concreto com o tablado

A solidarização do concreto de distribuição com as peças de madeira, do tablado, é feita através de sarrafos de seção 3 x 6cm. Esses sarrafos têm a finalidade de evitar o deslizamento do concreto sobre as peças do tablado, durante a frenagem de um veículo.

O dimensionamento será feito através da força longitudinal, mostrada na figura 16.

Pode ser colocado um sarrafo a cada 125cm, ao longo de todo o tabuleiro. Logo, cada sarrafo absorve praticamente a transmissão da força de atrito de um eixo do veículo.

A ligação desses sarrafos com os postes do tablado é feita através de pregos, conforme a NB - 11, Art. 68, { 2.20 } e Hellmeister { 10.53 }.

Com estas observações, chega-se à solução apresentada na figura 18.

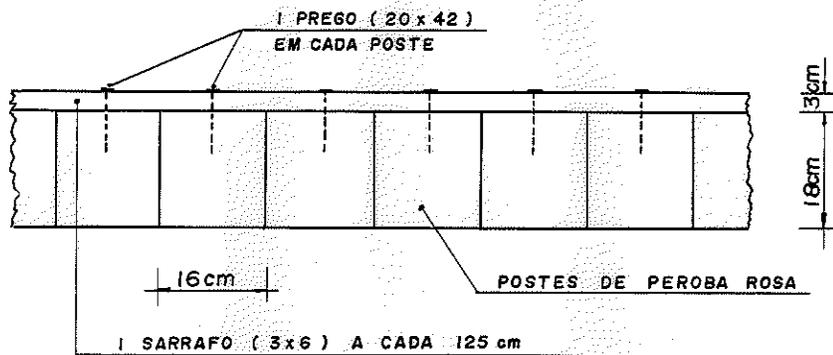


FIG. 18

III.3.5 - Montagem do tablado

O tablado é construído por postes de madeira de seção transversal 16 x 18 cm, com 500 cm de comprimento, de maneira que o encontro de topo entre dois postes se dê sobre as transversinas, alternadamente, conforme a figura 19.

Caso haja dificuldade em encontrar postes com dimensões 16 x 18 x 500 cm, o tablado poderá ser composto por madeira laminada { 22 }.

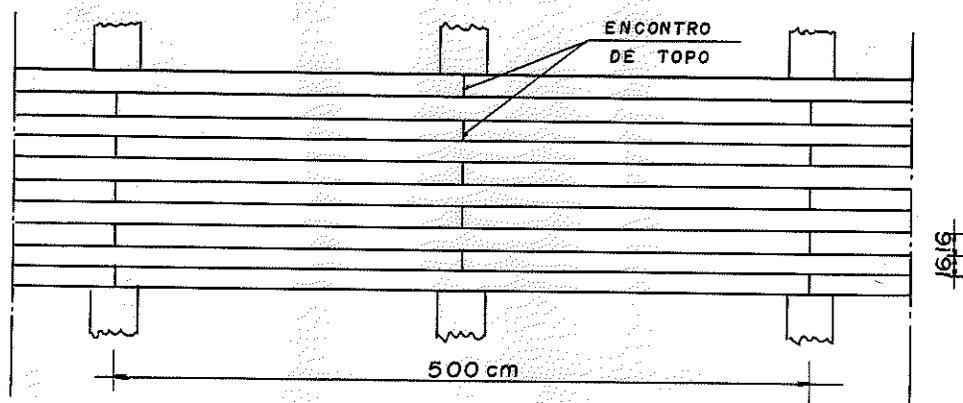


FIG. 19 - vista superior parcial, do tabuleiro

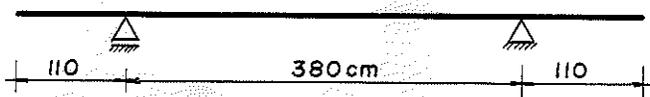
III.4 - Transversinas

As transversinas são calculadas de acordo com a NB - 11, Art. 15, 16 e 17 {^{2.6} }.

Serão apoiadas no banzo inferior, junto aos montantes. Dessa maneira, pode-se considerar as reações de apoio das transversinas agindo diretamente sobre os nós da treliça, admitindo-se como desprezível o efeito da excentricidade (figura 20).

A seção da transversina, obtida no anteprojeto, é verificada neste capítulo utilizando-se o esquema estático a seguir com as cargas permanentes e acidentais do projeto definitivo.

Esquema estático:



No anteprojeto, ficou definida uma seção de 30 x 40cm para as transversinas, dispostas de acordo com a figura 20.

Para o presente cálculo, após uma verificação preliminar, adotou-se a seção 30 x 44cm.

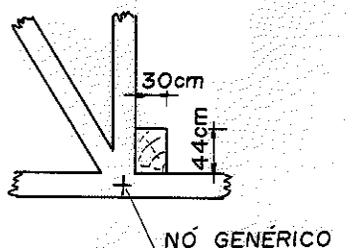
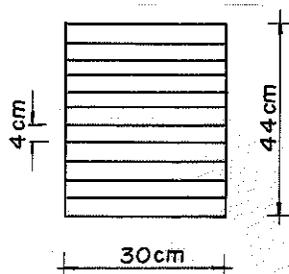


FIG. 20

Algumas características da seção transversal.



$$J = \frac{30 \cdot 44^3}{12} = 212960 \text{cm}^4$$

$$M_s = 30 \cdot \frac{44^2}{8} = 7260 \text{cm}^3$$

$$y = 22 \text{cm}$$

$$b = 30 \text{cm}$$

Como a transversina possui a seção transversal bastante grande, para ser feita de uma só peça de madeira, uma das alternativas é a constru

ção da mesma em madeira laminada, com 11 pranchas de 4 x 30cm, coladas umas às outras {²² }.

Dependendo das possibilidades do local, pode ser adotada também a solução de ligação por conectores, desenvolvida no LaMEM {¹¹ }, {¹⁵ }.

As Normas Americanas e Inglesas, recomendam uma redução das tensões admissíveis da madeira, quando a altura da viga ultrapassa 30cm. No caso das transversinas em estudo, o fator de redução é $0,93^{18.56}$ ou $0,96^{1.2-35}$, bastante próximo de 1, não sendo portanto tomado em consideração.

III.4.1 - Carga permanente

Será computada toda a carga permanente, referente ao tabuleiro e às passarelas, que contribui para o carregamento de uma transversina.

A carga permanente do tabuleiro é 450kg/m^2 , conforme item III.3.1.

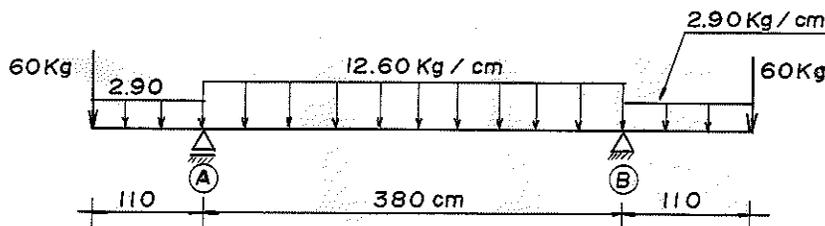
Nestas condições, tem-se a carga permanente por metro de transversina:

- Tabuleiro: $450 \times 2,50$	= 1125kg/m
- Transversina: $30 \times 44 \times 100 \times 0,9 \times 10^{-3}$	= 120kg/m
- Ligações eventuais da transversina	= 15kg/m
- Carga permanente, por metro	1260kg/m
	ou $12,60\text{Kg/cm}$

Com relação à passarela, considerando-se o soalho, a transversina e eventuais (figura 13), obtém-se $2,90\text{kg/cm}$.

O peso próprio de 250cm do guarda-corpo é estimado em 60kg , aplicado nas extremidades da transversina.

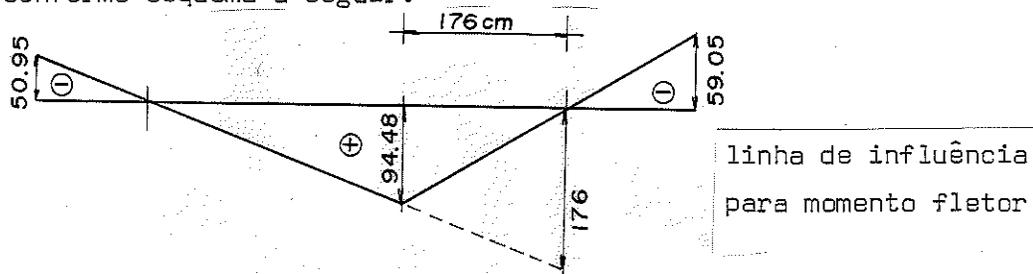
- Resumo do carregamento permanente:



- Momento fletor:

Foi pesquisado o ponto onde o momento fletor total é máximo, valendo as mesmas considerações do cálculo do momento fletor, do item II.3.1.

No presente caso, o momento fletor "total" máximo ocorre a 176cm do apoio, conforme esquema a seguir.



$$M_p = 12,60 \cdot \left[\frac{380 \cdot 94,48}{2} \right] + 2,90 \cdot \left[\frac{110}{2} \cdot (50,95 + 59,05) \right] - 60 \cdot (50,95 + 59,05)$$

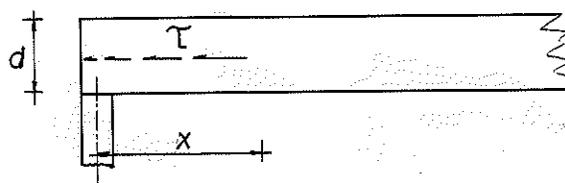
$$M_p = 202050 \text{ cm}$$

- Esforço cortante:

As tensões de cisalhamento na flexão, em peças de madeira, são calculadas com minoração, junto aos apoios, função do valor $x/3d$, para $0 \leq x \leq 3d$.

$$\tau = \frac{Q \cdot M_s}{b \cdot J} \cdot \frac{x}{3d} \quad (\text{NB - 11, Art. 24}) \quad \{ 2.^\circ \}$$

A madeira só admite cisalhamento ao longo das fibras.



Esta minoração pode ser compreendida admitindo-se a majoração de resistência da madeira ao cisalhamento, junto aos apoios, por causa da compressão normal às fibras, provocadas pelas reações de apoio.

A reação de apoio, dada à natureza da madeira, não provoca ação vertical de cisalhamento, mas é considerada para o dimensionamento das áreas de contato entre viga e apoio.

Encontra-se na figura 21 o Diagrama de esforço cortante, sendo que até a distância $(3d)$ do apoio o esforço cortante foi minorado de $x/3d$.

O Diagrama de esforço cortante está representado em apenas metade da viga e somente a parte entre os apoios, que é onde se verifica o maior esforço cortante.

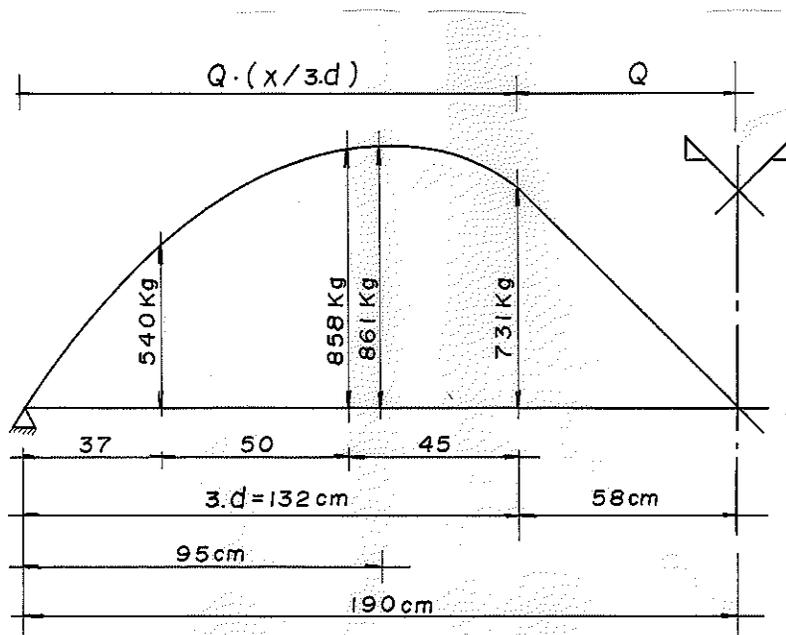


FIG. 21 - diagrama de esforço cortante para carga permanente

O esforço cortante máximo devido à carga permanente " Q_p ", ocorre na seção a 95cm do apoio, mas o esforço cortante "total" máximo, $Q_p + Q_a$, pode não ocorrer nesta seção. Será verificado no item seguinte.

III.4.2 - Carga acidental

O efeito da carga acidental, na transversina, será estudado utilizando-se como carregamento o trem-tipo para ponte classe 36, que é normalizado pela NB - 6 {³ }.

O posicionamento do trem-tipo sobre o tabuleiro deverá ser tal que dê a transmissão mais crítica, de esforços, para a transversina.

Inicialmente, pode-se observar que a condição mais crítica para momento fletor e flecha, ocorre quando se carrega somente a partir da pista, sem considerar o carregamento distribuído nas passarelas.

O esforço cortante máximo, junto a um dos apoios, ocorre quando além de se carregar a pista, considera-se também a carga distribuída na passarela, vizinha ao apoio.

Na figura 22 está a composição da carga transmitida para a transversina.

A colocação do eixo central do veículo sobre a transversina, oferece a condição crítica de carregamento.

A carga referente à força longitudinal dá um efeito nulo para a transversina, pois carregaria de um lado, mas descarregaria do outro em ... 1080kg:

$$1080\text{kg} \cdot 0,40 - 1080\text{kg} \cdot 0,40 = 0$$

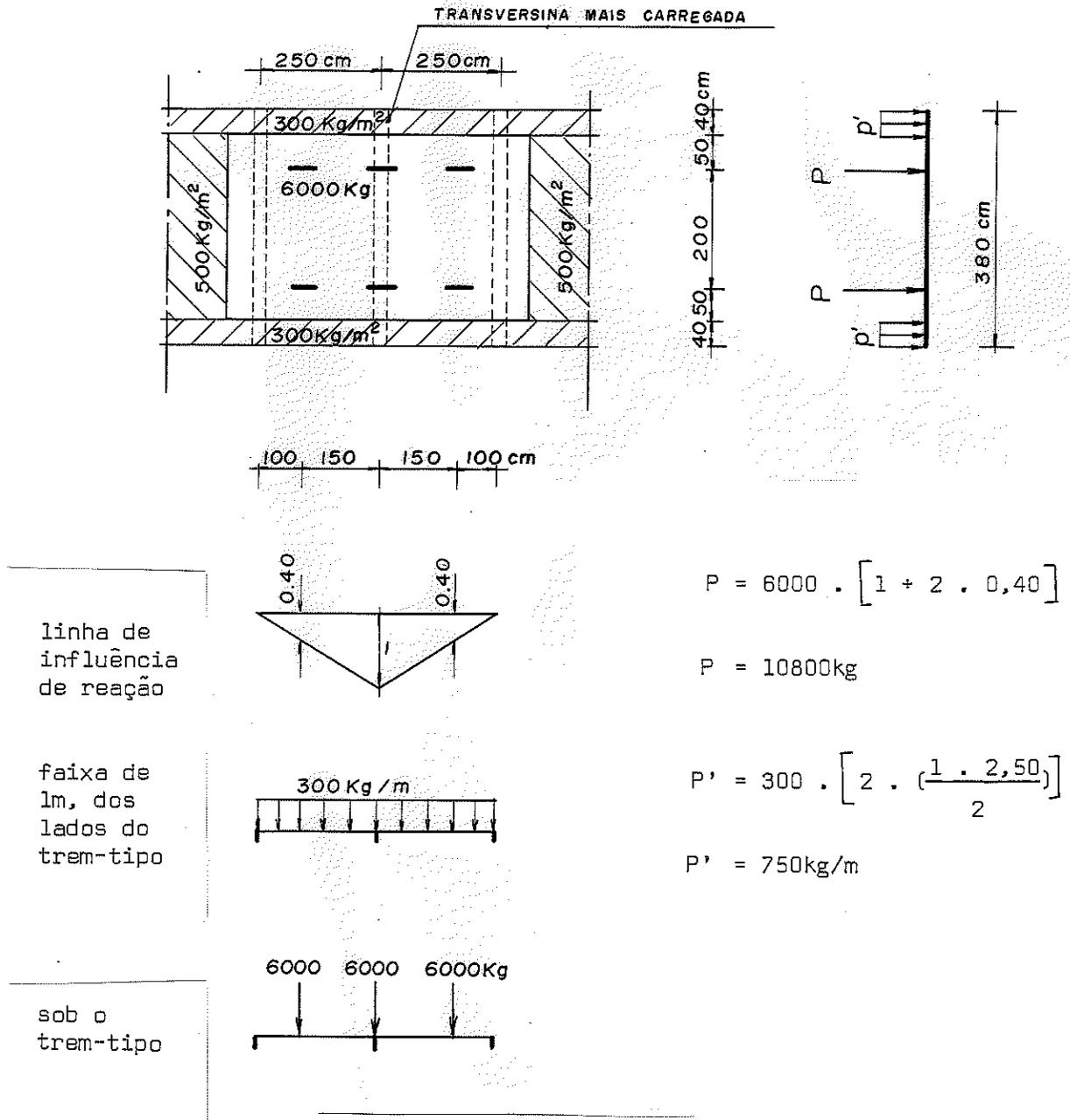
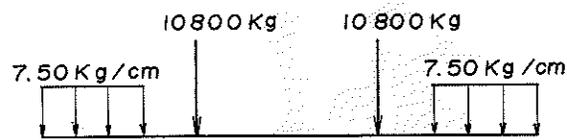


FIG. 22

O carregamento acidental para a transversina, se encontra no esquema a seguir:



A colocação das rodas do veículo, junto ao guarda-rodas (figura 23), oferece a condição mais crítica de carregamento da transversina.

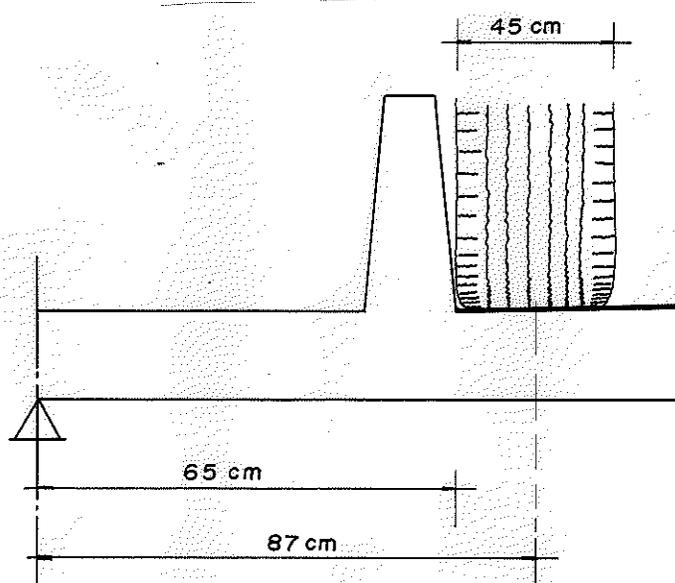
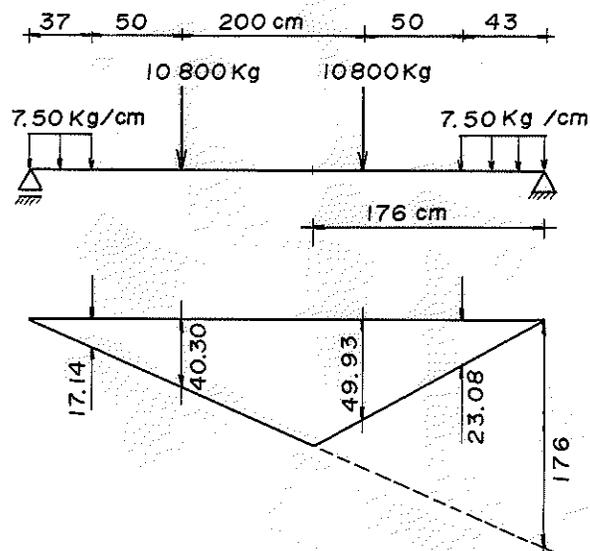


FIG. 23

-Momento fletor:



linha de influência
de momento fletor

O ponto de momento fletor "total" máximo, ocorre a 176cm do apoio.

Portanto:

$$M_a = 1080 \cdot (40,30 + 49,93) + \frac{7,50}{2} \cdot [(37 \cdot 17,14) + (43 \cdot 23,08)]$$

$$M_a = 980580 \text{ kg}$$

Logo:

$$M = M_a + M_p = 1182630 \text{ kgcm}$$

- Esforço cortante:

O carregamento acidental encontra-se a seguir, tendo logo abaixo o Diagrama de esforço cortante, para meia transversina, sendo representada só a parte da pista onde se encontra o maior esforço cortante (figura 24). Notar a posição da carga das rodas do veículo, encostadas ao guarda-rodas, a 87cm do apoio.

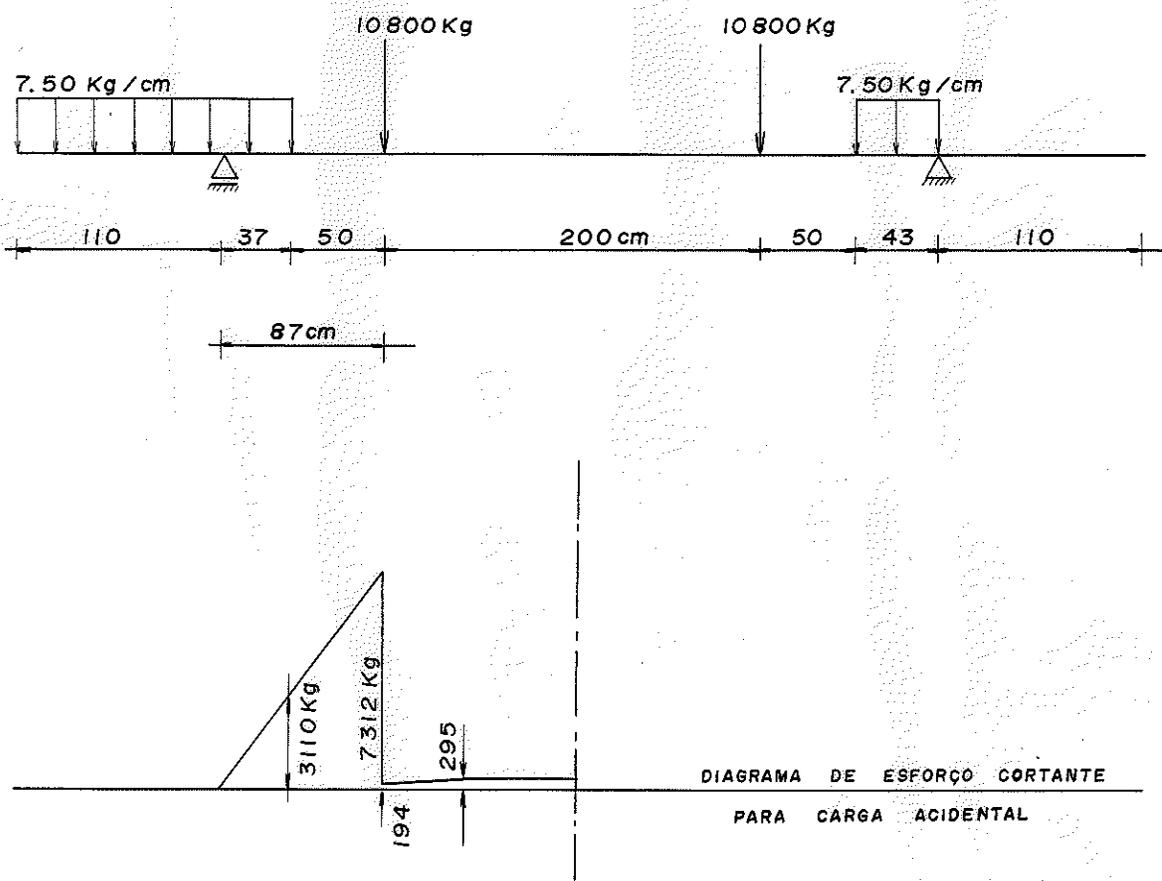


FIG. 24

$$Q_a = 7312 \text{ kg}$$

$$Q_a = 7312 \text{ kg}$$

O esforço cortante devido às cargas acidentais é muito maior que o devido à carga permanente. Nestas condições, o esforço cortante "total" máximo, $Q_a + Q_p$, ocorre na seção a 87 cm do apoio.

Para esta seção, à vista da figura 21, tem-se $Q_p = 858 \text{ kg}$. Portanto:

$$Q = Q_a + Q_p = 8170 \text{ kg}$$

III.4.3 - Verificações

- Verificação quanto à flexão:

$$\sigma_f = \frac{M y}{J} \leq \bar{\sigma}_f$$

onde:

$$M = 1182630 \text{ kgcm}$$

$$\bar{\sigma}_f = 135 \text{ kg/cm}^2 \quad \{ 2.21 \}$$

$$\frac{1182630 \cdot 22}{212960} = 122 < 135 \text{ kg/cm}^2$$

- Verificação quanto ao cisalhamento:

$$\tau_f = \frac{Q M_s}{b J} \leq \bar{\tau}_f$$

onde:

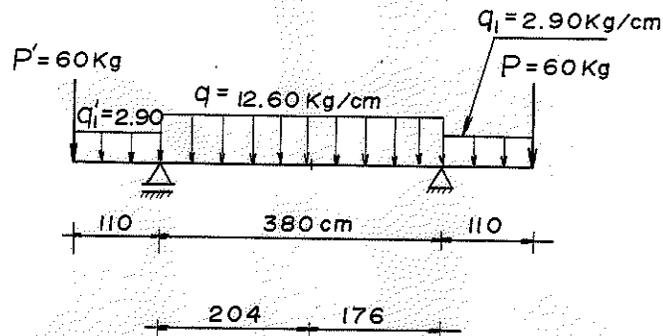
$$Q = 8170 \text{ kg}$$

$$\bar{\tau}_f = 12,1 \text{ kg/cm}^2 \quad \{ 2.21 \}$$

$$\frac{8170 \cdot 7260}{30 \cdot 212960} = 9,3 < 12,1 \text{ kg/cm}^2$$

- Verificação quanto à flecha:

Carregamento permanente:

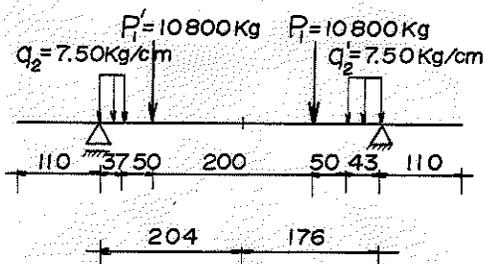


$$f_1 = \frac{q \cdot x}{24 E_p J} \cdot (\ell^3 - 2\ell x^2 + x^3) \quad \{1.6-21\}$$

$$f_2 = \frac{q_1 \cdot a^2 \cdot x}{12 E_p J \ell} \cdot (\ell^2 - x^2) \quad \{1.6-21\}$$

$$f_3 = \frac{P \cdot a \cdot x}{6 E_p J \ell} \cdot (\ell^2 - x^2) \quad \{1.6-23\}$$

Carregamento acidental:



$$f_4 = \frac{P_1 \cdot b \cdot x}{6 E_a J \ell} \cdot (\ell^2 - b^2 - x^2) \quad \{1.6-23\}$$

$$f_5 = \frac{q_2 \cdot a^2 \cdot (\ell - x)}{24 E_a J \ell} \cdot (4 \times \ell - 2x^2 - a^2) \quad \{1.6-21\}$$

onde:

$$E_p = 62700 \text{ kg/cm}$$

$$E_a = 94100 \text{ kg/cm}^2$$

- Aplicação das equações:

$$f_1 = \frac{12,6 \cdot 204}{24 \cdot 62700 \cdot 212960} (380^3 - 2 \cdot 380 \cdot 204^2 + 204^3) = 0,255$$

$$f_2 = \frac{2,9 \cdot 110^2 \cdot 204}{12 \cdot 62700 \cdot 212960 \cdot 380} (380^2 - 204^2) = 0,012$$

$$f_2' = \frac{29 \cdot 110^2 \cdot 176}{12 \cdot 62700 \cdot 212960 \cdot 380} (380^2 - 176^2) = 0,012$$

$$f_3 = \frac{60 \cdot 110 \cdot 204}{6 \cdot 62700 \cdot 212960 \cdot 380} (380^2 - 204^2) = 0,005$$

$$f_3' = \frac{60 \cdot 110 \cdot 176}{6 \cdot 62700 \cdot 212960 \cdot 380} (380^2 - 176^2) = 0,004$$

$$f_4 = \frac{10800 \cdot 93 \cdot 204}{6 \cdot 94100 \cdot 212960 \cdot 380} (380^2 - 93^2 - 204^2) = 0,422$$

$$f_4' = \frac{10800 \cdot 87 \cdot 176}{6 \cdot 94100 \cdot 212960 \cdot 380} (380^2 - 87^2 - 176^2) = 0,383$$

$$f_5 = \frac{7,50 \cdot 37^2 \cdot (380 - 204)}{24 \cdot 94100 \cdot 212960 \cdot 380} (4 \cdot 204 \cdot 380 - 2 \cdot 204^2 - 37^2)$$

$$= 0,002$$

$$f_5' = \frac{7,50 \cdot 43^2 \cdot (380 - 176)}{24 \cdot 94100 \cdot 212960 \cdot 380} (4 \cdot 176 \cdot 380 - 2 \cdot 176^2 - 43^2)$$

$$= 0,003$$

Pela superposição de efeitos:

$$f = f_1 - f_2 - f_2' - f_3 - f_3' + f_4 + f_4' + f_5 + f_5' = 1,03 \text{ cm}$$

$$\text{Deve-se ter } f \leq \bar{f} = \frac{l}{350} \quad (\text{NB - 11, Art. 69b}) \quad \{ 2.2^{\circ} \}$$

mas,

$$\bar{f} = 1,09 \text{ cm}$$

portanto:

$$f < \bar{f}$$

$$1,03 < 1,09$$

III.4.4 - Conclusão

No anteprojeto, Capítulo II, foi definida uma seção transversal de 30 x 40cm para a transversina.

Ficou verificado no dimensionamento definitivo, Capítulo III, que a seção transversal necessária é de 30 x 44cm, (figura 25).

Admitindo-se que a transversina seja executada em madeira laminada, composta por peças de 4 x 30cm, teremos a seção transversal da transversina, conforme figura 25.

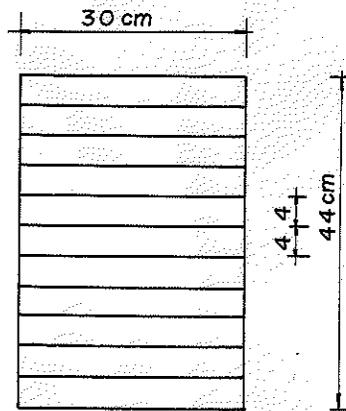


FIG. 25 - seção da transversina

III.5 - Treliça

A viga treliçada, a ser verificada no presente Capítulo, de dimensionamento definitivo, está representada na figura 11.

Para se obter o peso próprio, os elementos da treliça são considerados com seção transversal, obtida no anteprojeto, ou seja: 24 x 16cm.... 32 x 26cm e 32 x 24cm.

Para efeito de carregamento acidental, são estudadas as posições críticas de contribuição para cada nó, utilizando-se o trem-tipo indicado na NB - 6, referente à ponte classe 36. { 3 }

A pesquisa das posições críticas está no item III.5.2.

Estabelecido o carregamento permanente e acidental para cada nó da treliça, será estudado, através do programa "STRESS" do computador IBM-1130, a propagação de esforços nos elementos da treliça, pela aplicação sucessiva de carga unitária em cada nó da estrutura. Utilizando esses resultados, serão montadas linhas de influência para cada elemento da viga treliçada. { 13 }

Obtidas estas linhas de influência, serão posicionados os carregamentos, a fim de se ter os máximos esforços de compressão e/ou de tração para cada um desses elementos.

Com estes esforços, pode ser feito o dimensionamento definitivo dos elementos.

III.5.1 - Carga permanente

- Tabuleiro: (obtido no item III.3.1)

$$450\text{kg/m}^2$$

Largura da pista: 380cm

Comprimento de influência de um nó: 250cm

$$\overline{P'_1} = 450 \cdot \left(\frac{3,80}{2} \cdot 2,50 \right) = 2137\text{kg/nó}$$

- Transversina: (obtido no item III.4.1) + 10% para ligações e eventuais.

$$120\text{kg/m} \times 1,10 = 132\text{kg/m}$$

Contribui para cada nó da treliça, um comprimento de $\frac{600\text{cm}}{2} = 300\text{cm}$

$$\overline{P'_2} = 132 \cdot 3,00 = 396\text{kg/nó}$$

- Passarela: Computando o carregamento conforme a figura 13, e acrescentando-se 10% para ligações e eventuais, tem-se:

$$\overline{P'_3} = 237\text{kg/nó}$$

- Treliça: Computando o carregamento, conforme a figura 11 e seções obtidas em anteprojeto e acrescentando-se 10% para ligações e eventuais, tem-se:

$$\overline{P'_4} = 770\text{kg/nó}$$

Fazendo a soma das parcelas anteriores, tem-se a carga permanente, denominada "P₁":

$$P_1 = P'_1 + P'_2 + P'_3 + P'_4 = 3540\text{kg}$$

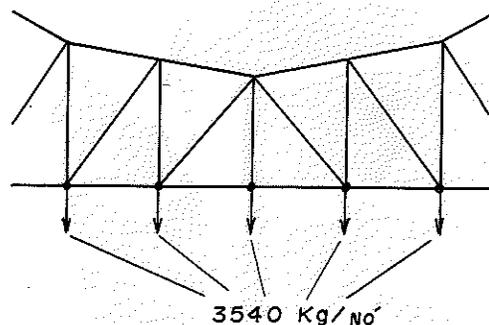


FIG. 26 - carga permanente por nó

III.5.2 - Carga accidental

O trem-tipo será localizado no tabuleiro de maneira a transferir, através das transversinas, o carregamento mais crítico para os nós da viga treliçada.

Para isso, quatro condições de carregamento devem ser estudadas e são elas:

A - O eixo do meio do veículo será posicionado sobre uma transversina. Conseqüentemente, verifica-se que parte do carregamento vai para a transversina sob o eixo, e parte para as duas transversinas próximas, que sofrem influência do veículo.

B - Um dos eixos extremos do veículo, será posicionado sobre uma transversina. Conseqüentemente, verifica-se que parte do carregamento vai para a transversina sob o eixo, e parte para as duas transversinas próximas, que sofrem influência do veículo.

C - Será verificado o carregamento para as transversinas que ficam na frente e atrás do veículo.

D - Será verificado o efeito da força longitudinal do veículo, transmitido para os nós da viga treliçada. Ocorrem dois casos neste efeito:

- Um atuando conjuntamente com o caso "A"
- Outro atuando conjuntamente com o caso "B"

Essas quatro condições de carregamento, estão estudadas nas figuras 27 a 31.

A - O eixo do meio do trem-tipo, posicionado sobre uma transversina.

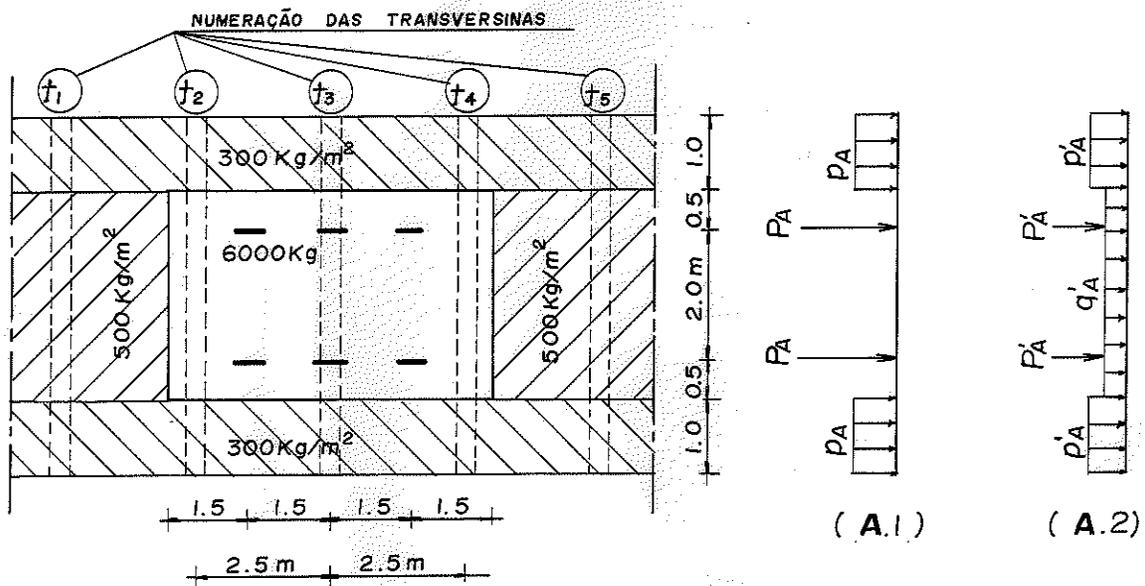


FIG. 27

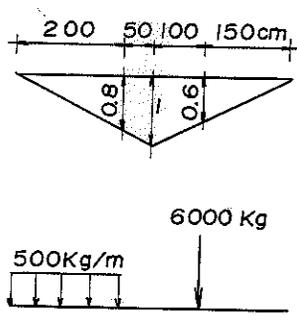
A.1 - Carregamento da transversina (t_3)

Já calculado na figura 22, onde:

$$P_A = 10800 \text{ kg}$$

$$p_A = 7,50 \text{ kg/cm}$$

A.2 - Carregamento das transversina (t_2) e (t_4)



linha de influência de reação para (t_2)

faixa de 1m, sob o trem-tipo

p'_A - Já calculado na fig. 22 e vale: $7,50 \text{ kg/cm}$

$$P'_A = 6000 \cdot 0,8 = 3600 \text{ kg}$$

$$q'_A = 500 \cdot \left[\frac{2,00 \cdot 0,8}{2} \right] = 400 \text{ kg/m}$$

$$q'_A = 4 \text{ kg/cm}$$

OBS.: As transversinas (t_1) e (t_5), serão estudadas mais adiante, no caso "C".

B - Com um dos eixos extremos, sobre a transversina

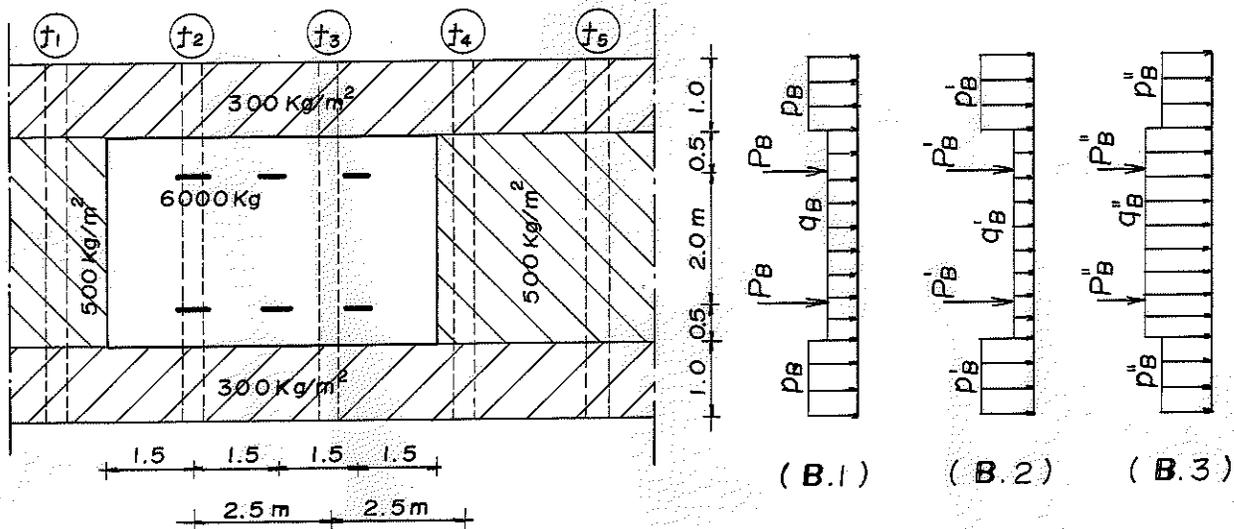
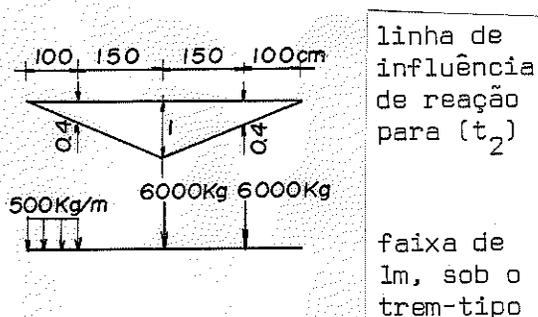


FIG. 28

B.1 - Carregamento da transversina (t_2)



$$\bar{p}_B = 7,50 \text{ kg/cm (ver fig. 22)}$$

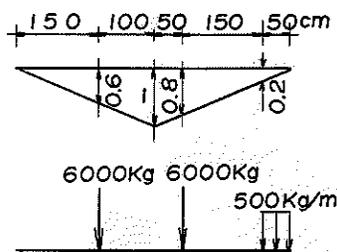
$$q_B = 500 \cdot \left[\frac{1,0 \cdot 0,4}{2} \right] =$$

$$100 \text{ kg/m} = 1 \text{ kg/cm}$$

$$P_B = 6000 \cdot (1 + 0,4) = 8400 \text{ kg}$$

B.2 - Carregamento da transversina (t_3)

linha de influência de reação para (t_3)



faixa de 1m, sob o trem-tipo

$$\bar{p}'_B = 7,50 \text{ kg/cm (ver fig. 22)}$$

$$q'_B = 500 \cdot \left[\frac{0,5 \cdot 0,2}{2} \right] =$$

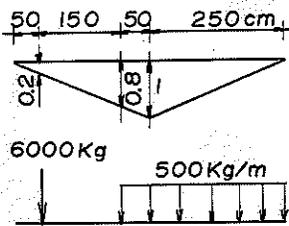
$$25 \text{ kg/m} = 0,25 \text{ kg/cm}$$

$$P'_B = 6000 \cdot (0,8 + 0,6) = 8400 \text{ kg}$$

B.3 - Carregamento da transversina (t_4)

linha de influência de reação para (t_4)

faixa de 1m, sob o trem-tipo



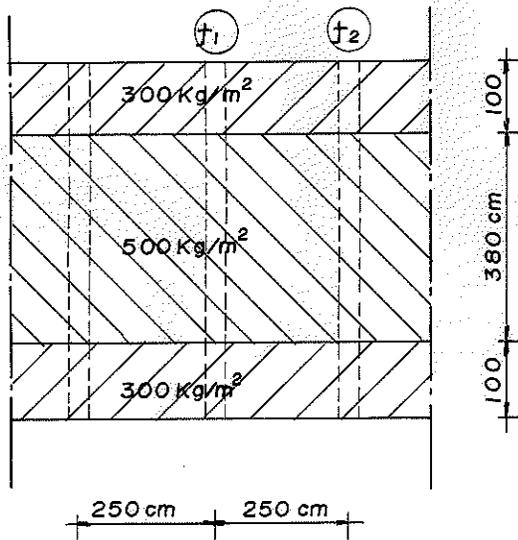
$$P''_B = 7,50 \text{ kg/cm (ver fig. 22)}$$

$$q''_B = 500 \cdot \left[\frac{(1,0 + 0,8)}{2} \cdot 0,50 + \frac{1 \cdot 2,5}{2} \right] = 850 \text{ kg/m} = 8,50 \text{ kg/cm}$$

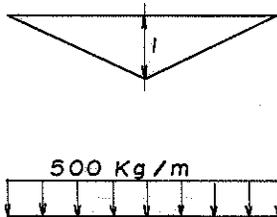
$$P''_B = 6000 \cdot 0,2 = 1200 \text{ kg}$$

OBS.: As transversinas (t_1) e (t_5) serão estudadas mais adiante no caso "C".

C - Carregamento das transversinas que ficam na frente e atrás do caminhão-tipo:



(C)



linha de influência de reação para (t_1)

faixa de 1m, na frente ou atrás do caminhão-tipo

$$P_c = 7,50 \text{ kg/cm (ver fig. 22)}$$

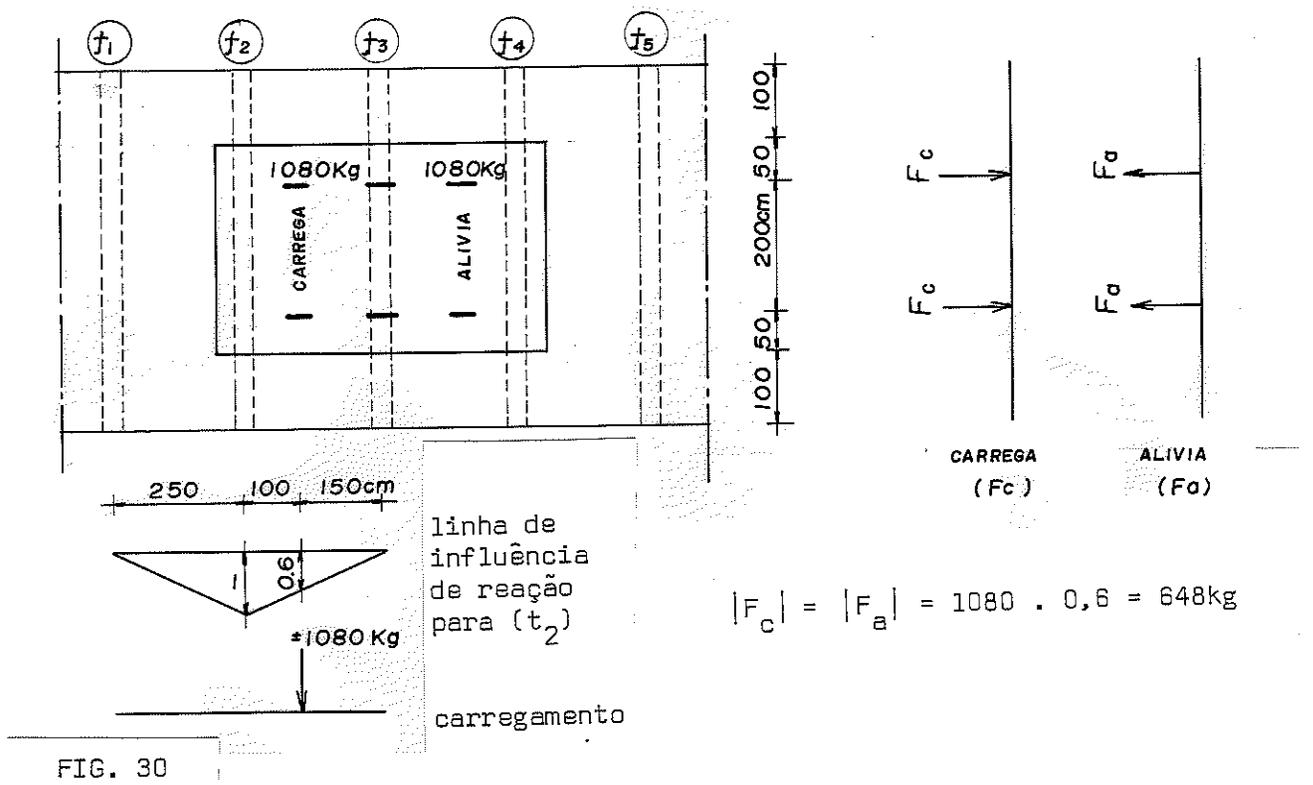
$$q_c = 500 \cdot \frac{1,0 \cdot 5,0}{2} = 1250 \text{ kg/m}$$

$$q_c = 12,50 \text{ kg/cm}$$

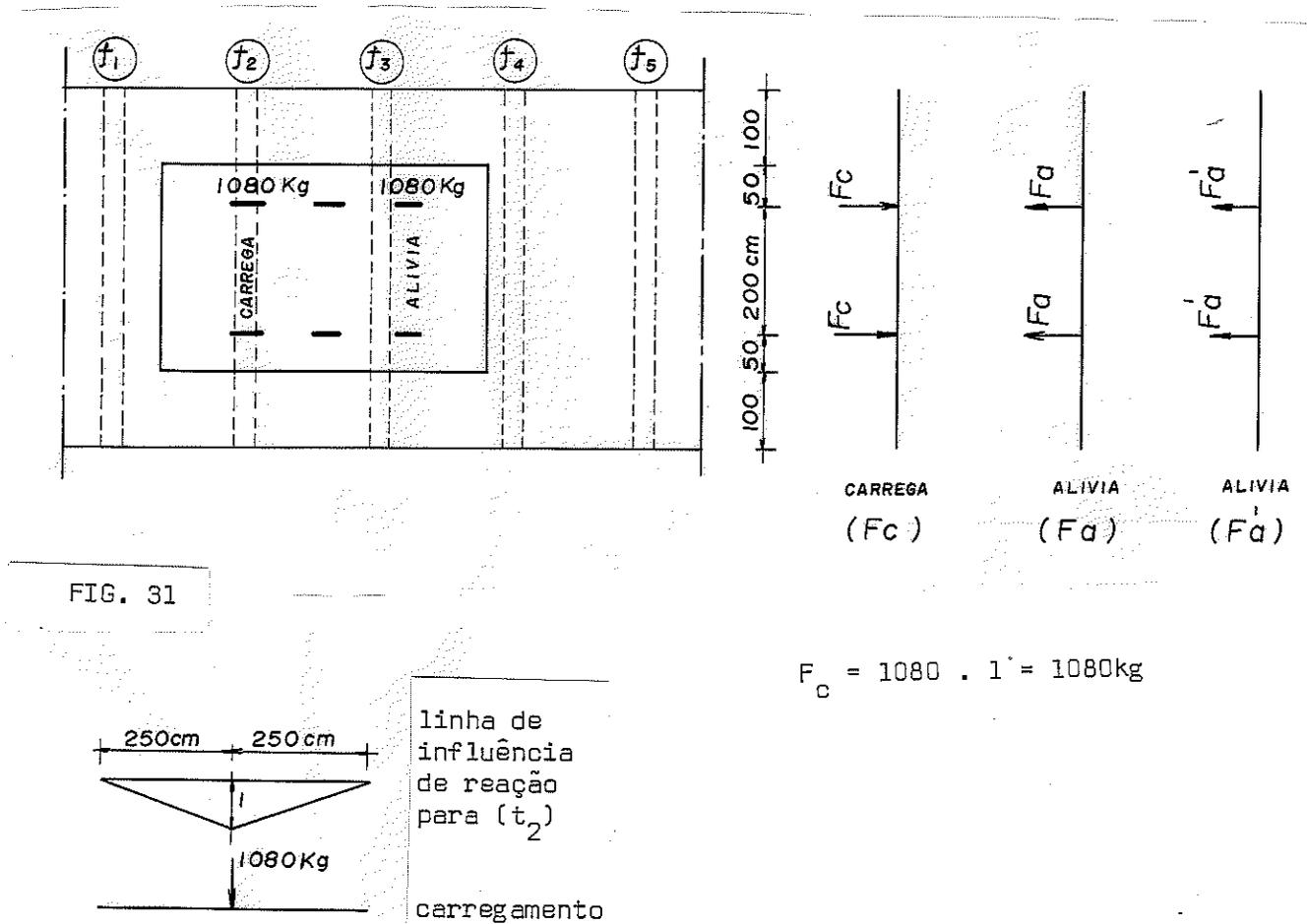
FIG. 29

D - Efeito da força longitudinal

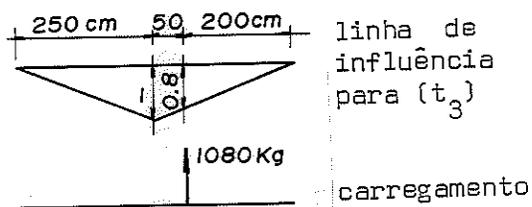
D.1 - Atuando conjuntamente com o caso "A"



D.2 - Atuando conjuntamente com o caso "B"

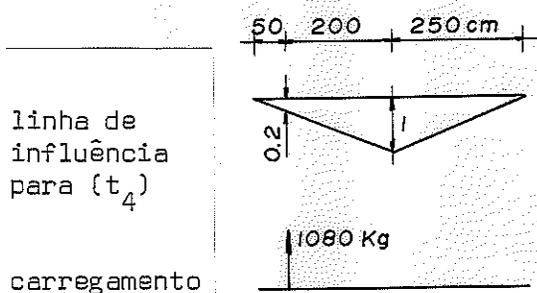


- Carregamento de (t_3)



$$F_a = 1080 \cdot 0,8 = 864 \text{kg}$$

- Carregamento de (t_4)



$$F'_a = 1080 \cdot 0,2 = 216 \text{kg}$$

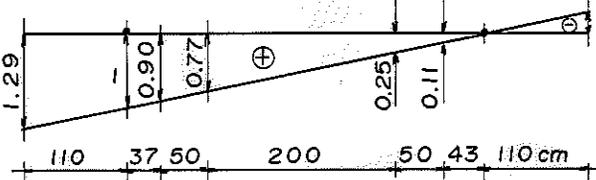
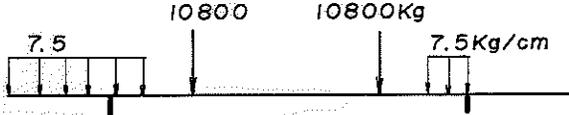
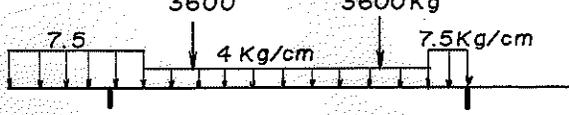
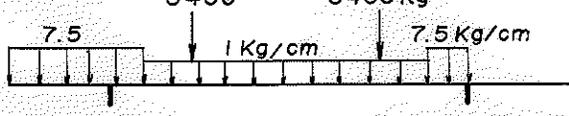
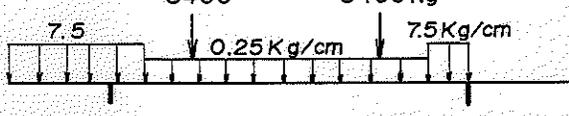
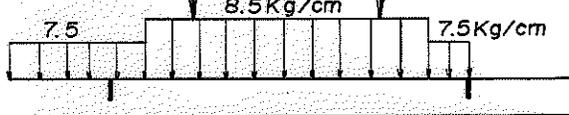
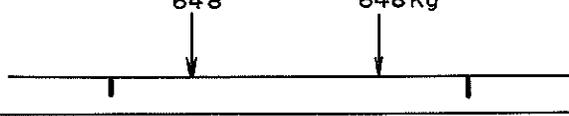
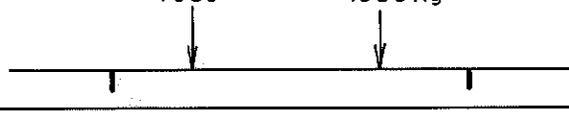
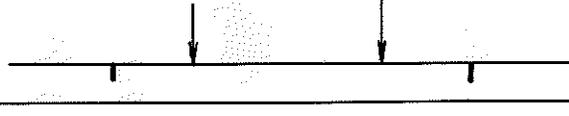
Nas figuras 27 a 31 encontram-se os carregamentos acidentais nas condições mais críticas para as transversinas.

As transversinas com estes carregamentos irão transmitir os esforços para os nós do banço inferior da treliça, dando portanto o máximo carregamento para os mesmos.

Para que o carregamento seja o mais desfavorável para o nó, a carga acidental estará posicionada o mais próximo possível do mesmo.

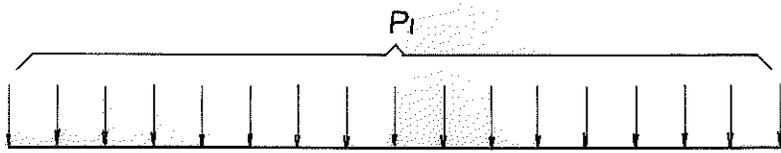
O carregamento final está computado na tabela III.1, a seguir, onde $P_2, P_4, P_8, \dots, P_{11}$ e F_1, \dots, F_5 representam o efeito máximo do carregamento acidental nos nós do banço inferior da viga treliçada.

TABELA III.1

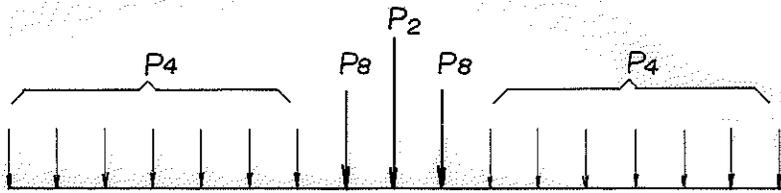
LINHA DE INFLUÊNCIA DE RECARREGAMENTO REFERENTE AO CASO:		VALOR DA CARGA EM UM NÓ GÊNÉRICO (Kg)
A.1		$P_2 = 12240$
A.2		$P_8 = 5500$
B.1		$P_9 = 9950$
B.2		$P_{10} = 9830$
B.3		$P_{11} = 3740$
C		$P_4 = 3120$
D.1		$F_1 = 660$
		$F_2 = -660$
D.2		$F_3 = 1100$
		$F_4 = -880$
		$F_5 = -220$

III.5.3 - Resumo do carregamento

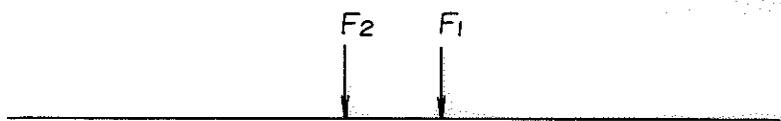
Com o carregamento obtido no item III.5.1, (P_1) referente à carga permanente por nó, e mais o carregamento da tabela III.1, referente à carga acidental, pode-se montar um esquema de carregamento.



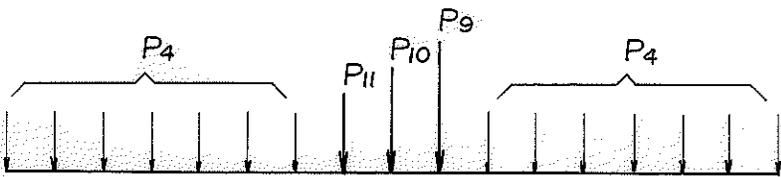
carga permanente



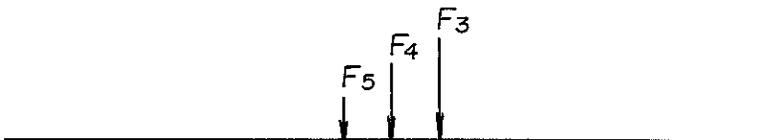
carga acidental, com o eixo do meio, do caminhão-tipo, sobre uma transversina



efeito da força longitudinal, que atua com o caso acima



carga acidental, com o eixo extremo, do caminhão-tipo, sobre uma transversina



efeito da força longitudinal, que atua com o caso acima

Fazendo o efeito da força longitudinal atuar conjuntamente com o carregamento referente a ela, tem-se o carregamento da figura 32, onde os pontos de atuação das cargas representam os nós do banzo inferior da viga treliçada.

Ficando portanto:

$$P_3 = P_8 + F_1$$

$$P'_3 = P_8 + F_2$$

$$P_5 = P_9 + F_3$$

$$P_6 = P_{10} + F_4$$

$$P_7 = P_{11} + F_5$$

As demais cargas continuam com os mesmos valores.

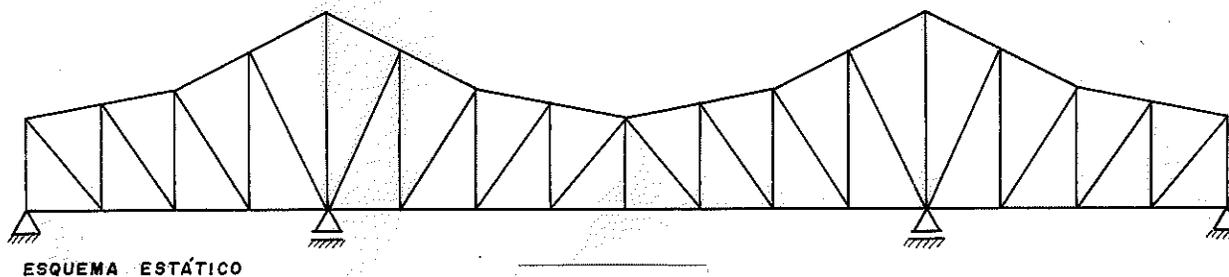
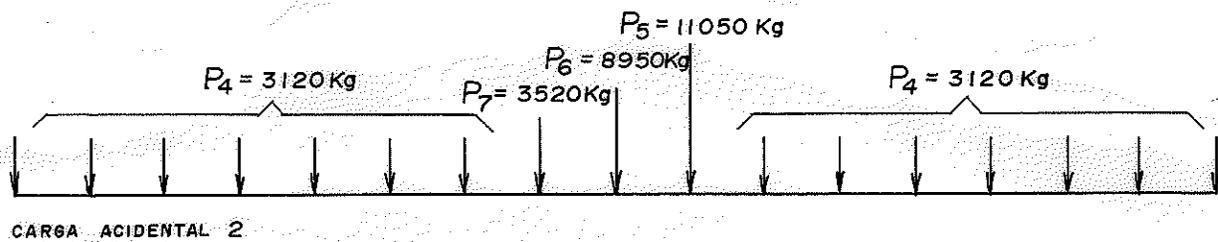
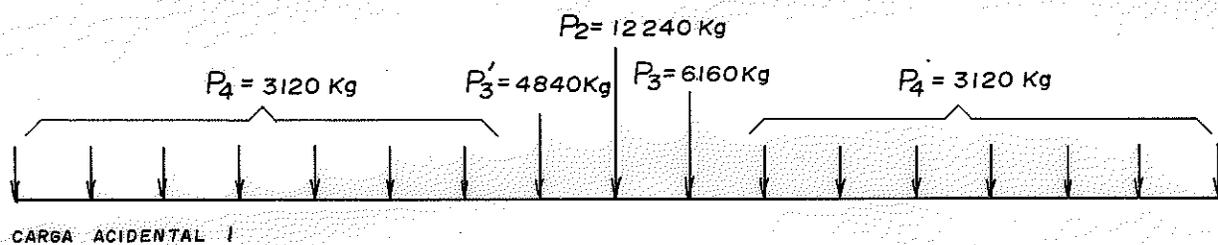
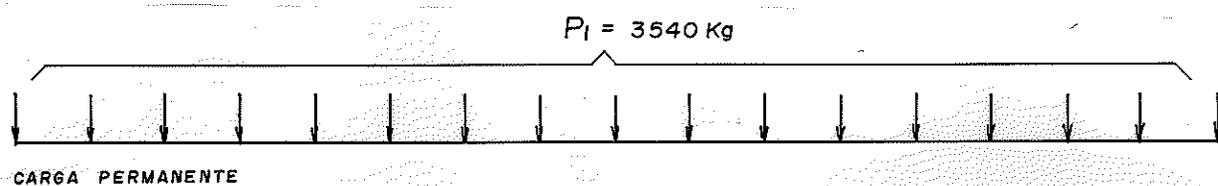


FIG. 32

III.5.4 - Programa "STRESS"

Para a utilização do programa "STRESS", são dadas as seguintes informações:

- Tipo de estrutura: treliça plana
- Número de nós: 34
- Número de membros: 65
- Número de apoios: 4
- Número de carregamentos: 17
- Coordenada dos nós
- Área da seção transversal dos membros
- Nó inicial e nó final de cada membro
- Módulo de elasticidade da madeira: 94100kg/cm^2
- Carregamento unitário em cada nó

Após terem sido carregados os 17 nós, tem-se a propagação destas cargas, para todos os elementos da treliça.

Desta propagação podem ser montadas as "linhas de influência" para cada elemento da viga treliçada.

Como as linhas de influência oferecem os esforços nos elementos, devido à aplicação da carga unitária, nos diversos nós da treliça, para se ter os máximos esforços nos elementos, basta posicionar o carregamento da figura 32, de maneira que as maiores cargas atuem nos pontos de maiores cotas das linhas de influência.

A seguir, na figura 33 encontra-se o esquema da viga treliçada, com as informações geométricas para o emprego do programa "STRESS".

As linhas de influência poderiam ser montadas através da teoria apresentada na bibliografia { 6.202 }. É um processo bastante trabalhoso, mas válido quando não se tem disponível, o computador.

ESQUEMA DA VIGA TRELIÇADA

MADEIRA : PEROBA ROSA

ESCALA : 1 : 200

OBS : DIMENSÕES NA FIGURA II

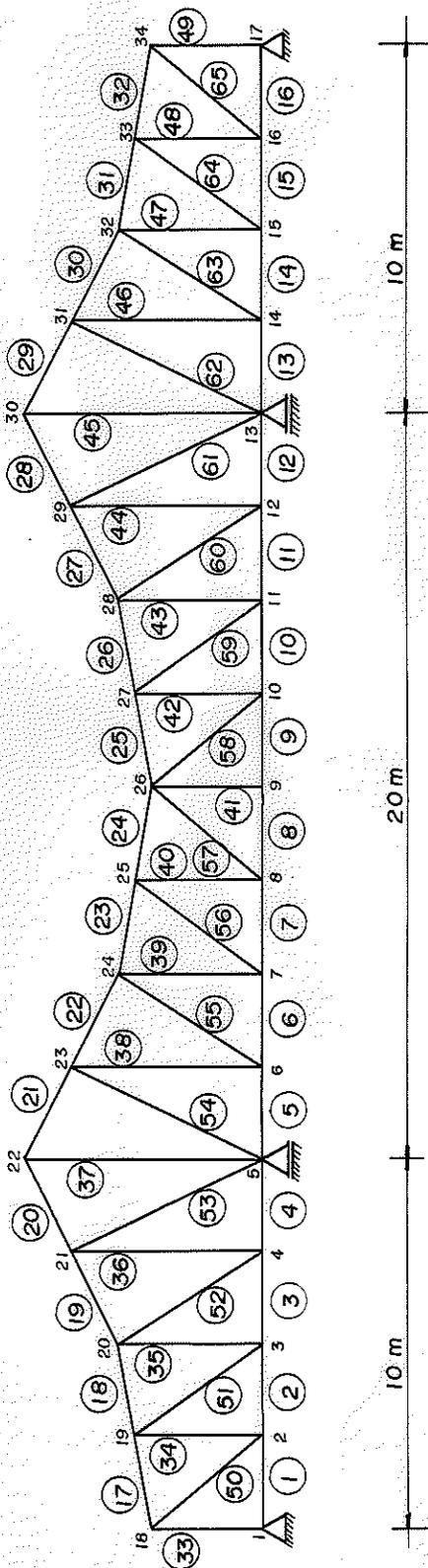


FIG. 33

III.5.5 - Linhas de influência

Os resultados obtidos através do programa "STRESS", são apresentados a seguir, nas linhas de influência, nas quais já se encontra a aplicação do carregamento permanente e acidental.

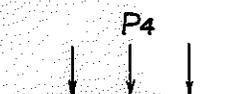
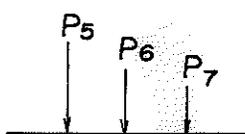
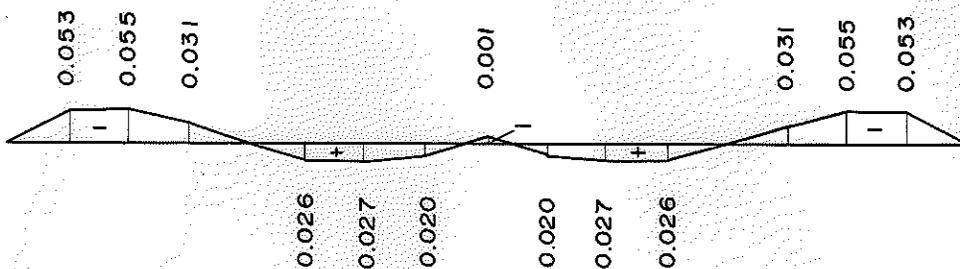
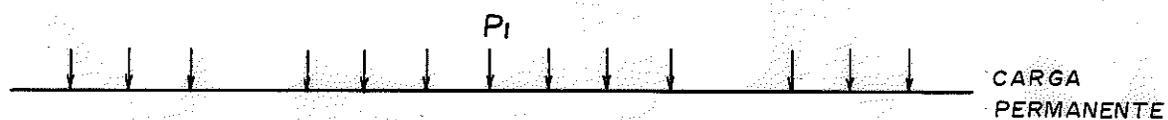
Com estes carregamentos, foram pesquisadas as condições mais desfavoráveis, a fim de serem conhecidos os máximos esforços.

Os elementos da treliça são simétricos dois a dois, por isso são computados os esforços para 32 barras e mais a central.

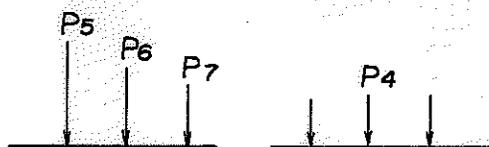
O carregamento é composto por carga permanente e dois casos de carga acidental. Será verificado portanto, qual dos carregamentos acidentais provoca resultados mais desfavoráveis.

Nas páginas 113, 114 e 115 estão as linhas de influência referentes aos esforços dos vínculos de apoio resultando nas máximas reações de apoio.

Na página 116 começa uma verificação do efeito de frenagem, levando em consideração a força longitudinal da figura 16.



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL NEGATIVA



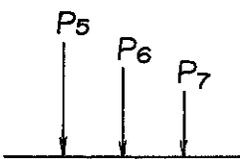
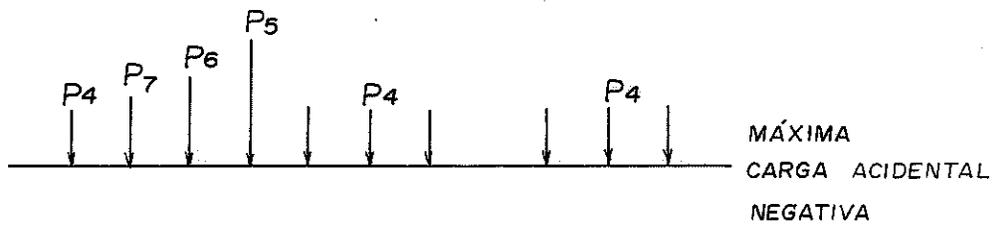
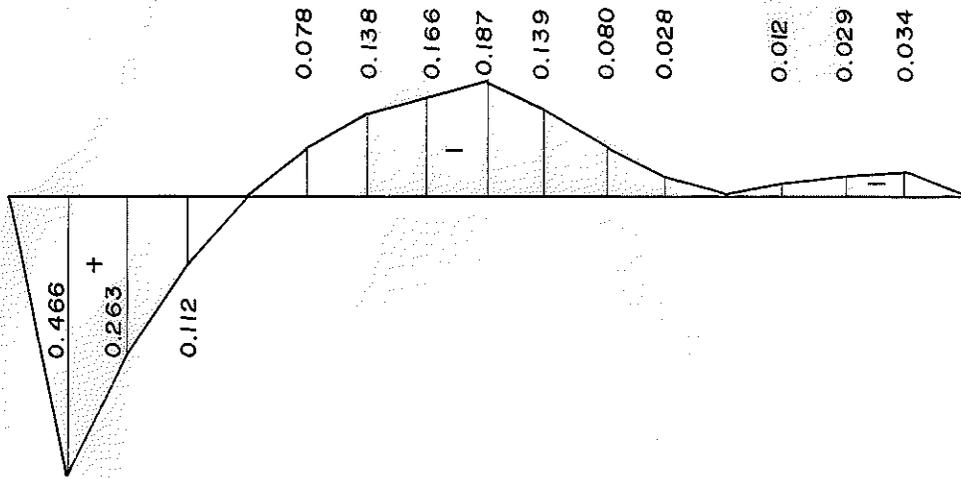
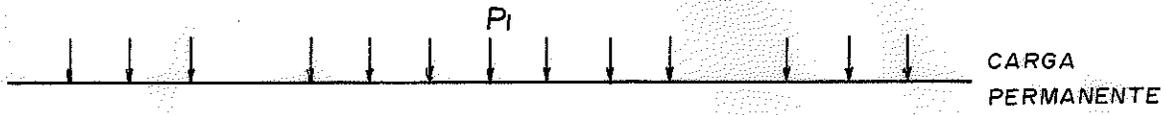
MÁXIMA CARGA ACIDENTAL POSITIVA

$$N_p = - 471 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 1624 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 827 \text{ Kg}$$

$$\text{ELEMENTOS } 1 \text{ E } 16 \left\{ \begin{array}{l} C = - 2095 \text{ Kg} \\ T = + 356 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

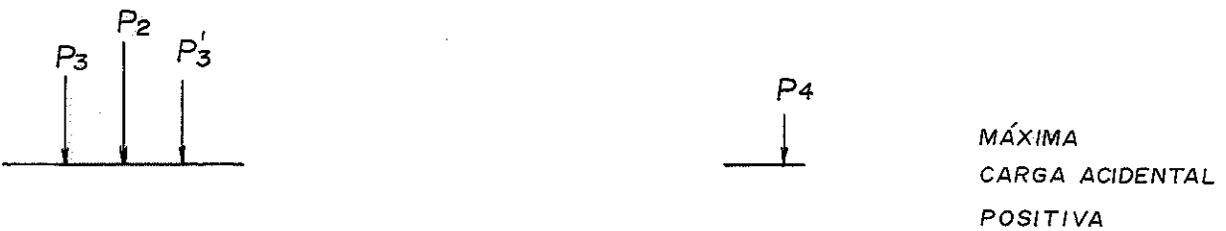
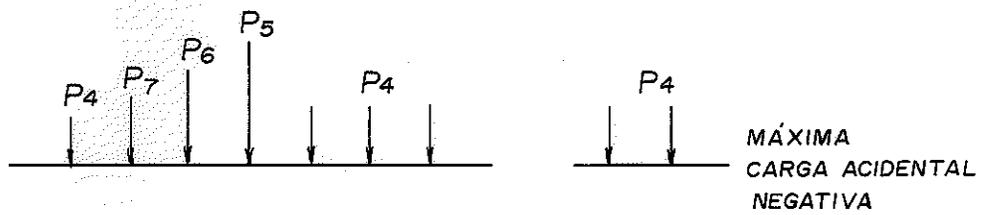
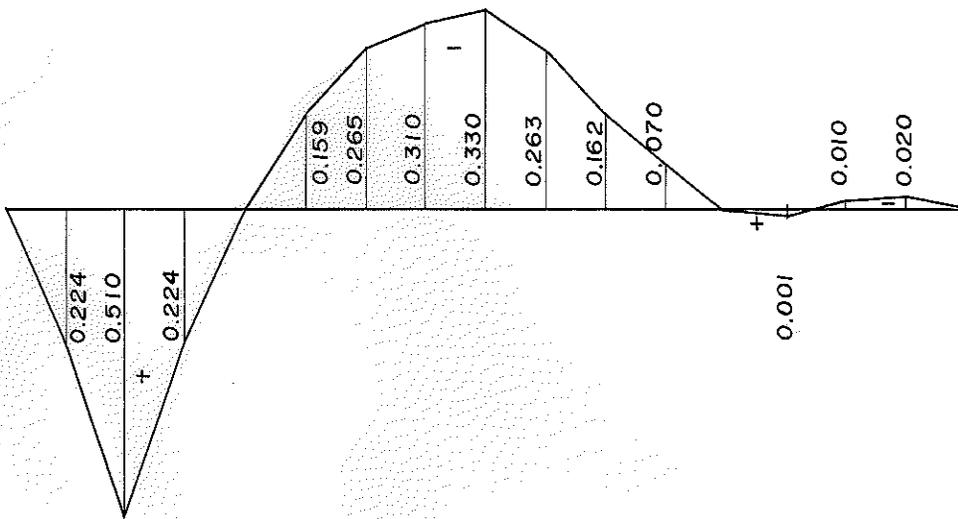
$$N_p = - 177 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 5286 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 7897 \text{ Kg}$$

ELEMENTOS 2 E 15

$$\left\{ \begin{array}{l} C = - 5463 \text{ Kg} \\ T = + 7720 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



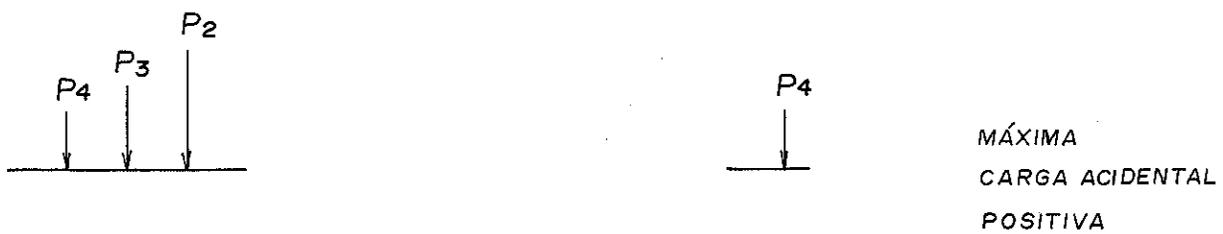
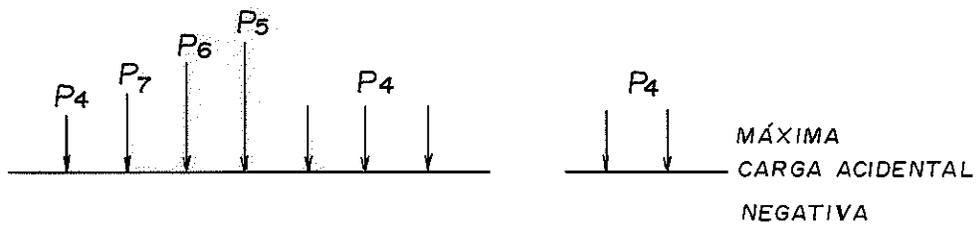
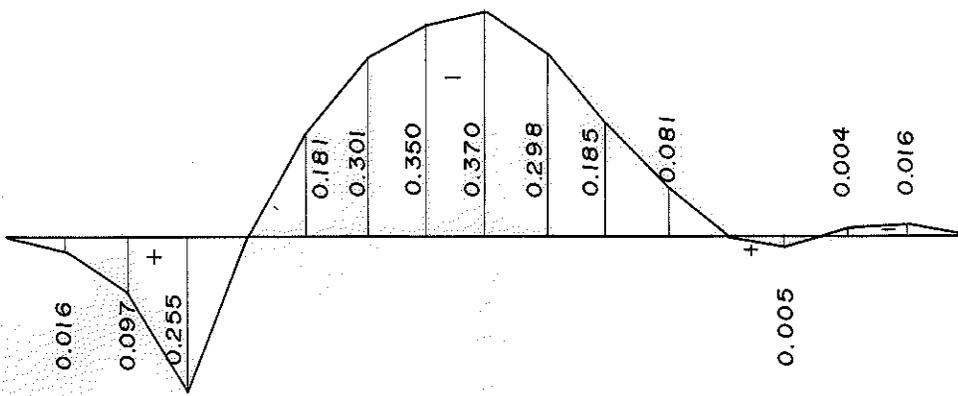
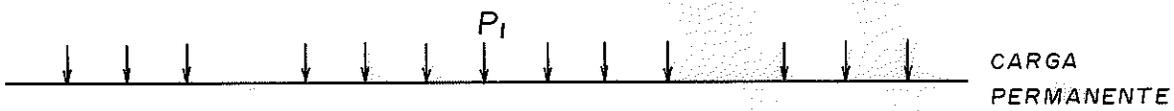
$$N_p = - 2230 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 9488 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 8710 \text{ Kg}$$

ELEMENTO 3 E 14

$$\left\{ \begin{array}{l} C = - 11718 \text{ Kg} \\ T = + 6480 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



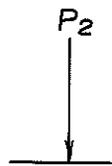
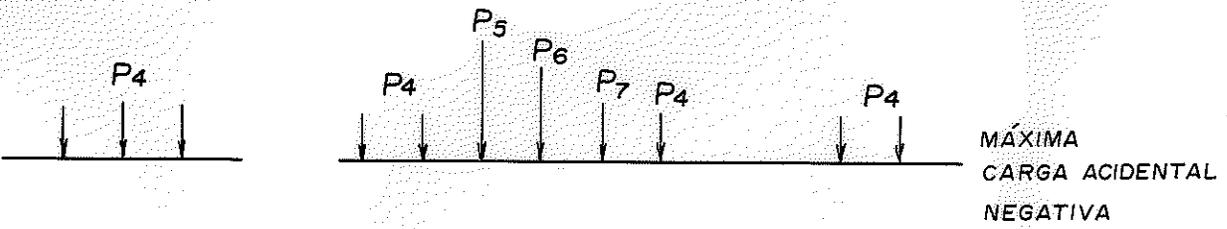
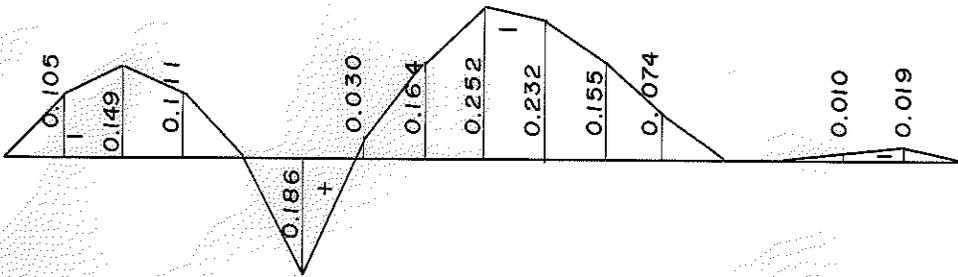
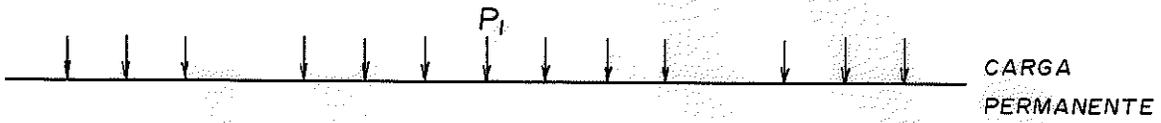
$$N_p = - 5002 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 10667 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 3784 \text{ Kg}$$

ELEMENTOS 4 E 13

$$\left\{ \begin{array}{l} C = - 15669 \text{ Kg} \\ T = + 0 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL POSITIVA

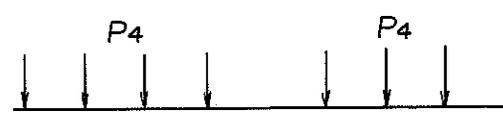
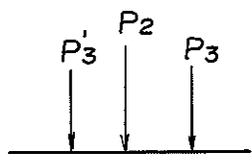
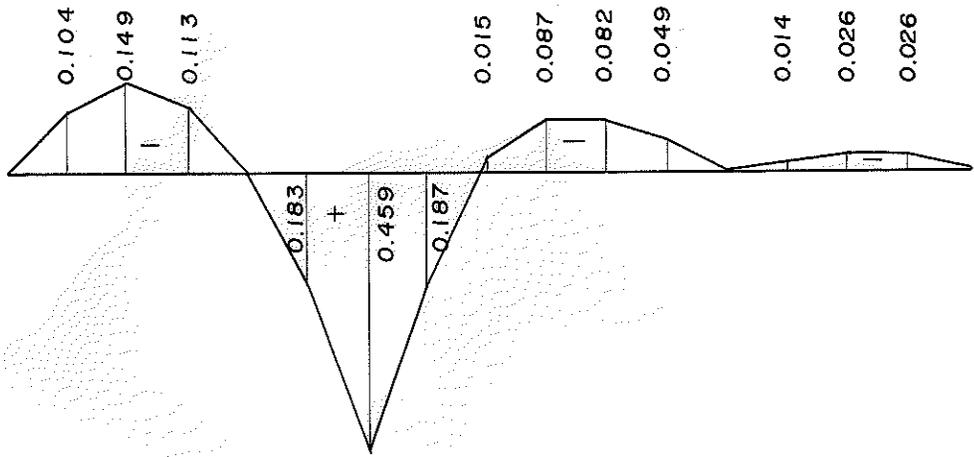
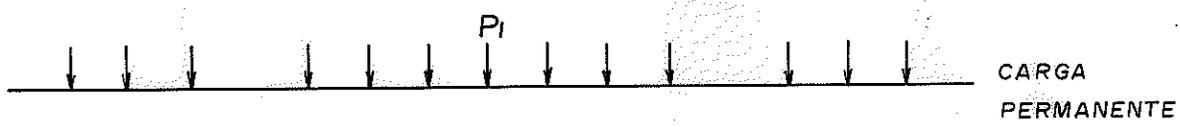
$$N_p = - 3947 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 7472 \text{ Kg}$$

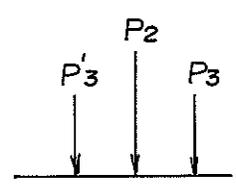
$$N_a = + 2277 \text{ Kg}$$

ELEMENTOS 5 E 12

$$\left\{ \begin{array}{l} C = - 11419 \text{ Kg} \\ T = + 0 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL NEGATIVA



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL POSITIVA

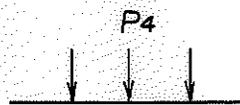
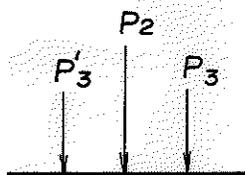
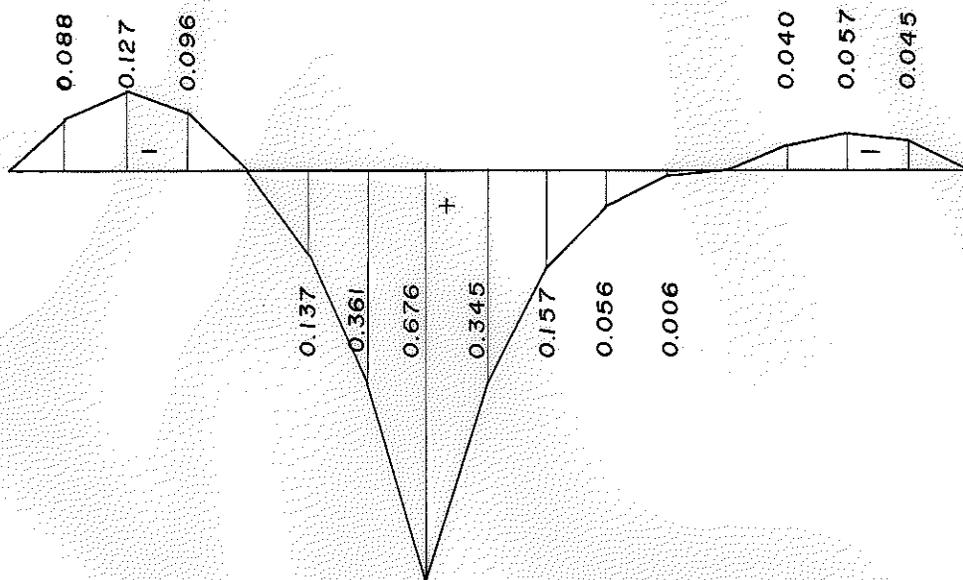
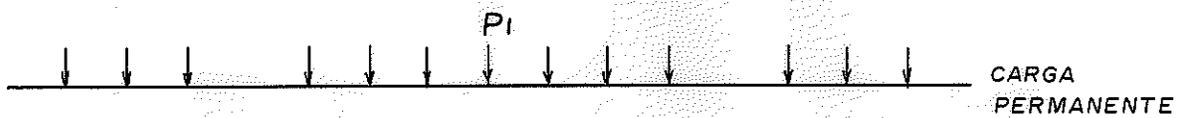
$$N_p = + 581 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 3956 \text{ Kg}$$

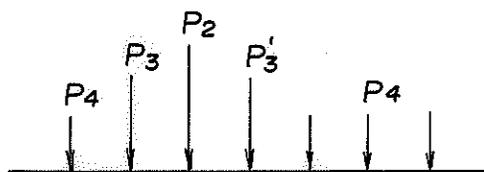
$$N_a = + 7656 \text{ Kg}$$

ELEMENTOS 6 E 11

$$\left\{ \begin{array}{l} C = - 3375 \text{ Kg} \\ T = + 8237 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
NEGATIVA



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

$$N_p = + 4549 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 3014 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 13279 \text{ Kg}$$

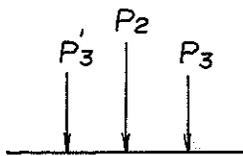
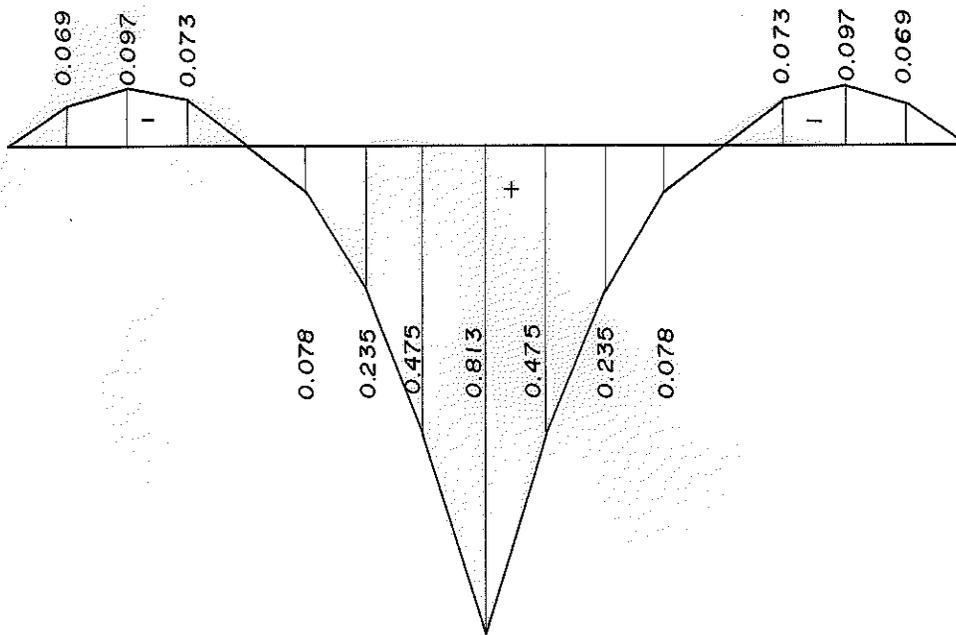
ELEMENTOS 7 E 10

$$C = - 0 \text{ Kg}$$

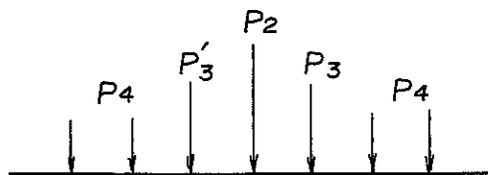
$$T = + 17828 \text{ Kg}$$



CARGA PERMANENTE



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL NEGATIVA



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL POSITIVA

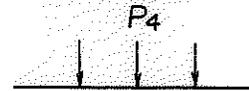
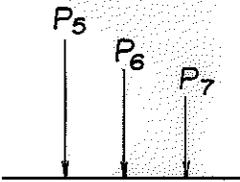
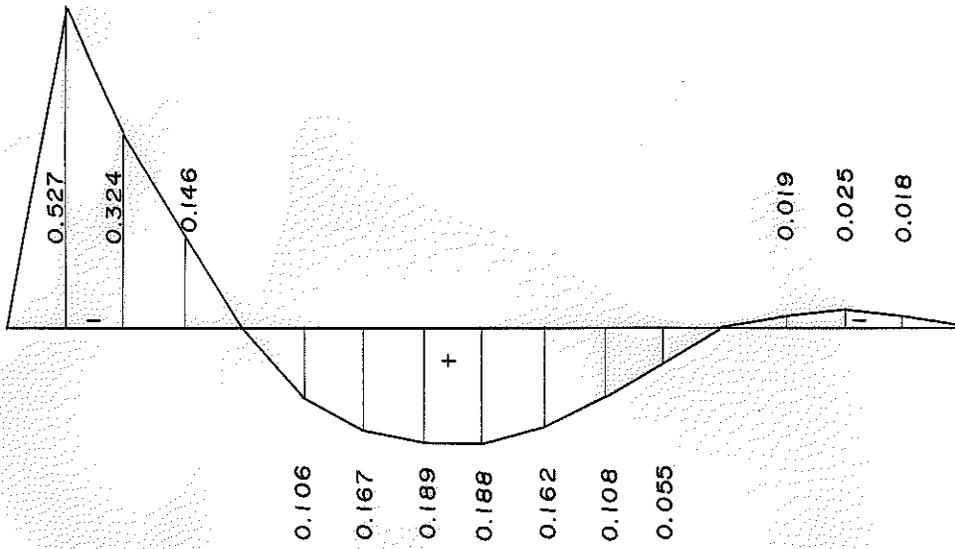
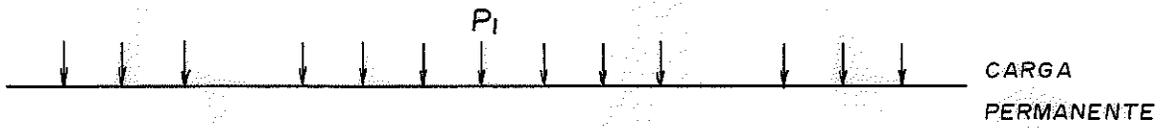
$$N_p = + 6765 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 2717 \text{ Kg}$$

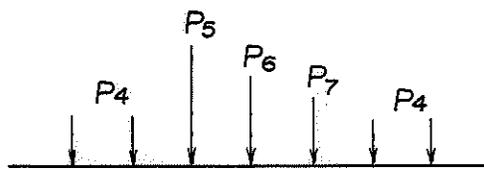
$$N_a = + 17129 \text{ Kg}$$

ELEMENTOS 8 E 9

$$\left\{ \begin{array}{l} C = - 0 \text{ Kg} \\ T = + 23894 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL NEGATIVA



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL POSITIVA

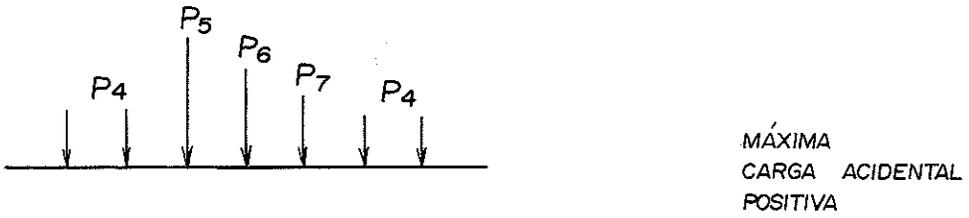
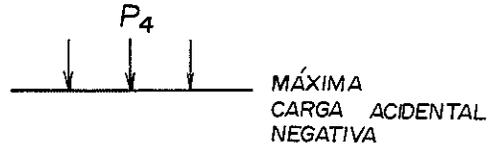
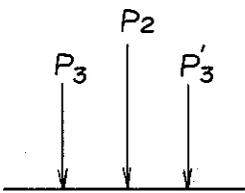
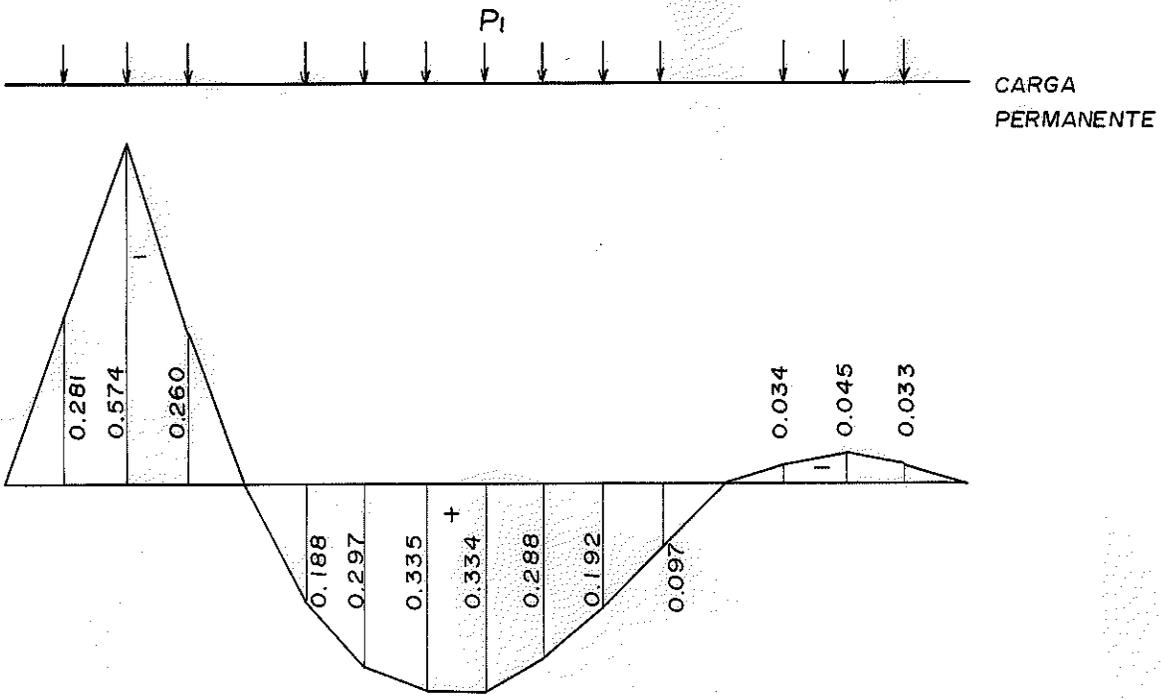
$$N_p = - 297 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 9431 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 5702 \text{ Kg}$$

ELEMENTOS 17 E 32

$$\left\{ \begin{array}{l} C = - 9728 \text{ Kg} \\ T = + 5327 \text{ Kg} \end{array} \right.$$

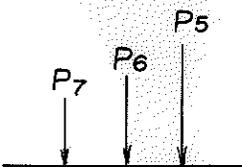
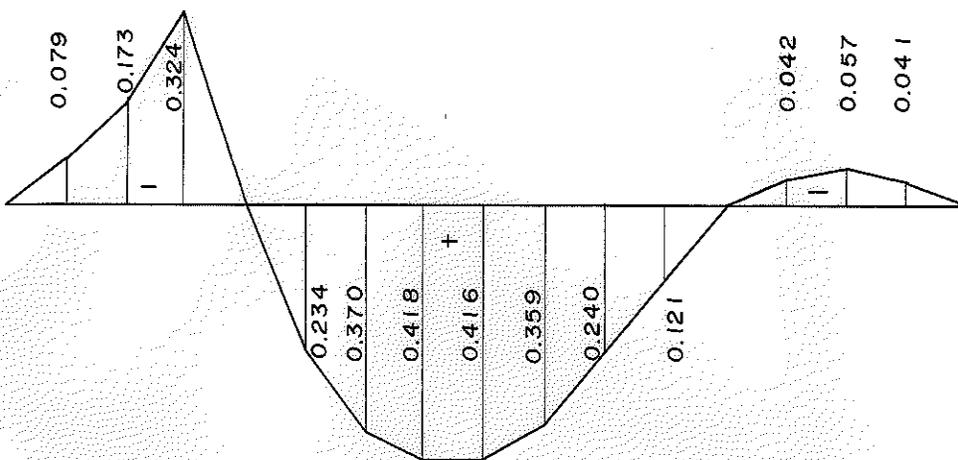


$$N_p = + 1783 \text{ Kg}$$

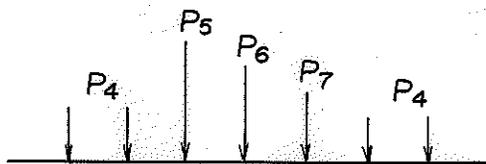
$$N_a = - 10365 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 10120 \text{ Kg}$$

$$\text{ELEMENTOS } 18 \text{ E } 31 \left\{ \begin{array}{l} C = - 8582 \text{ Kg} \\ T = + 11903 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL NEGATIVA



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL POSITIVA

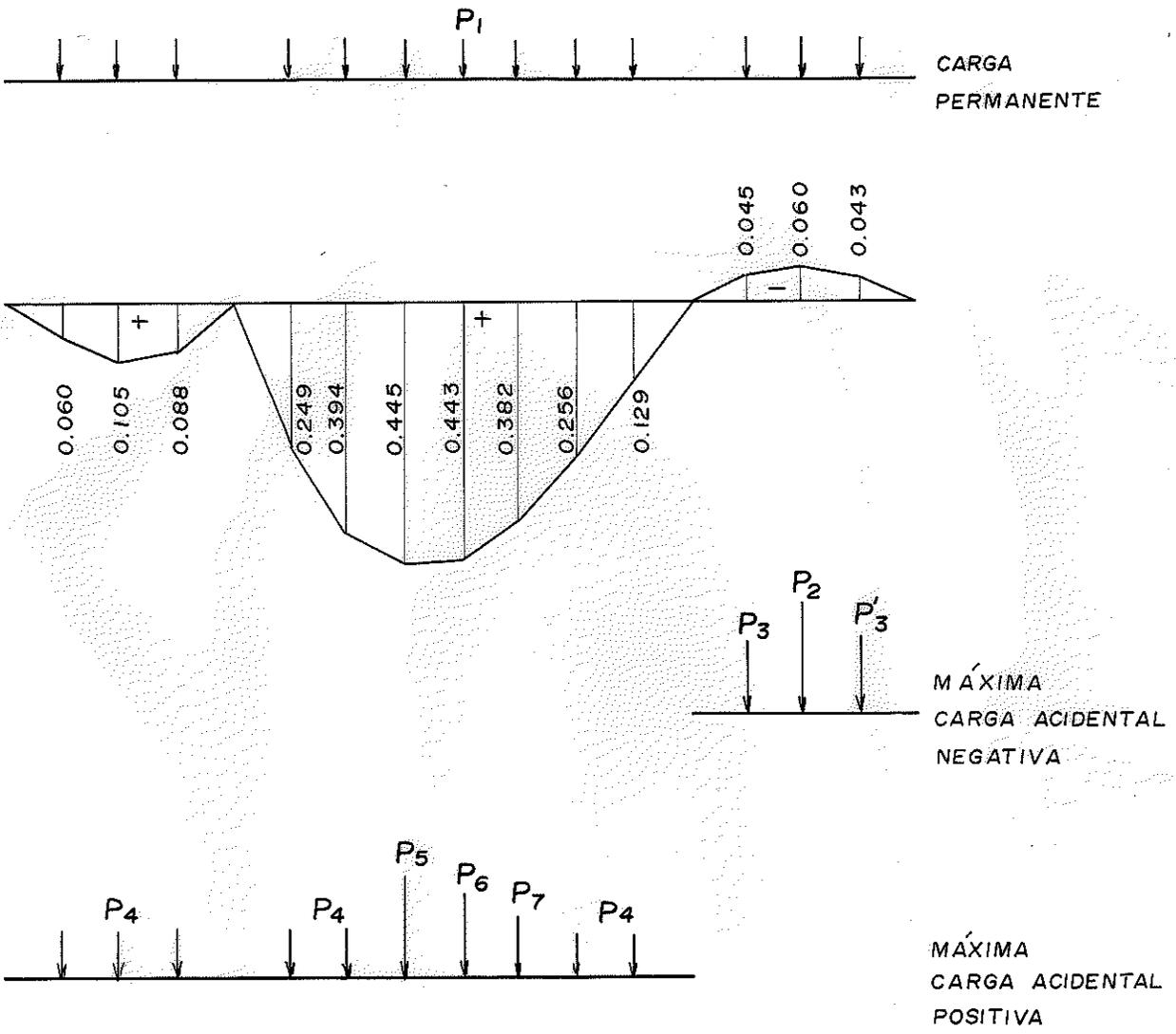
$$N_p = + 5105 \text{ kg}$$

$$N_a = - 5843 \text{ kg}$$

$$N_a = + 12617 \text{ kg}$$

ELEMENTOS 19 E 30

$$\left\{ \begin{array}{l} C = - 738 \text{ Kg} \\ T = + 17722 \text{ Kg} \end{array} \right.$$

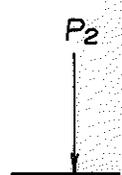
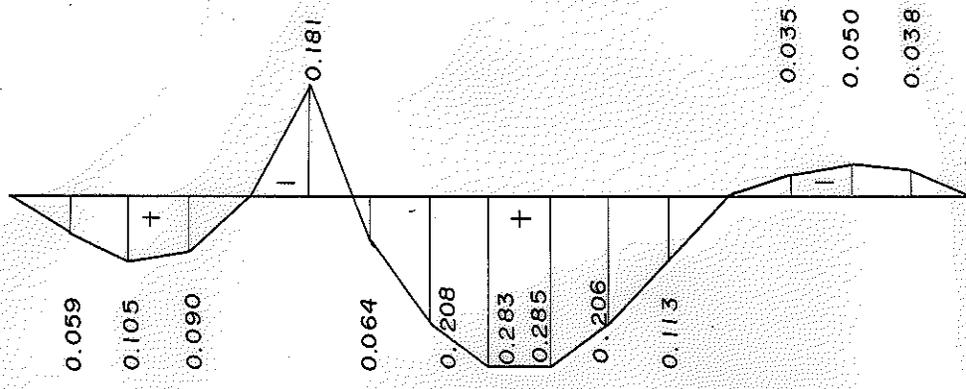


$$N_p = + 8507 \text{ Kg}$$

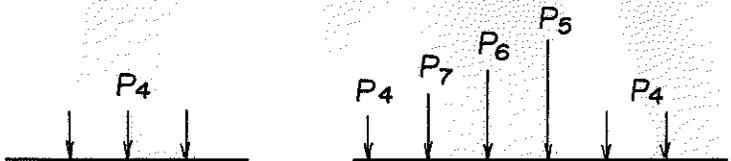
$$N_a = - 1220 \text{ Kg}$$

$$N_a = +14223 \text{ Kg}$$

$$\text{ELEMENTOS } 20, 21, 28 \text{ E } 29 \left\{ \begin{array}{l} C = - 0 \text{ Kg} \\ T = + 22730 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL NEGATIVA



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL POSITIVA

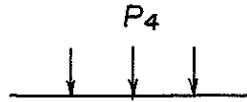
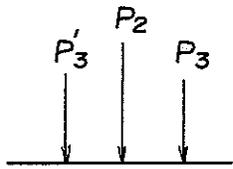
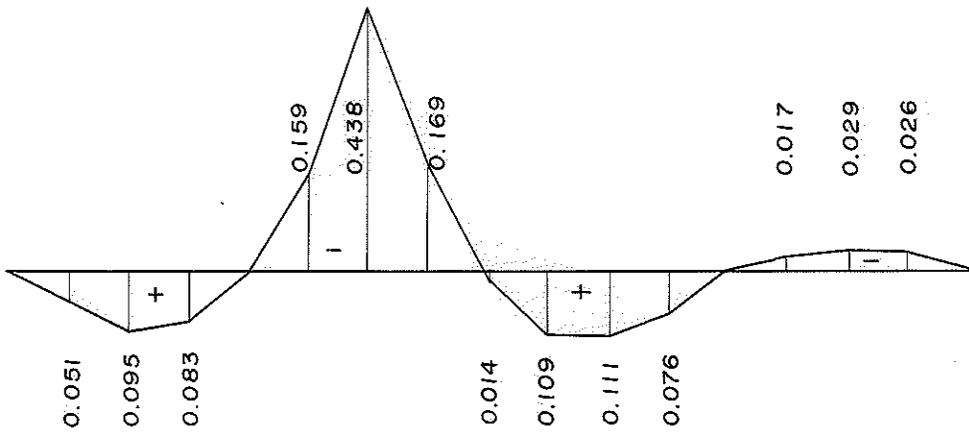
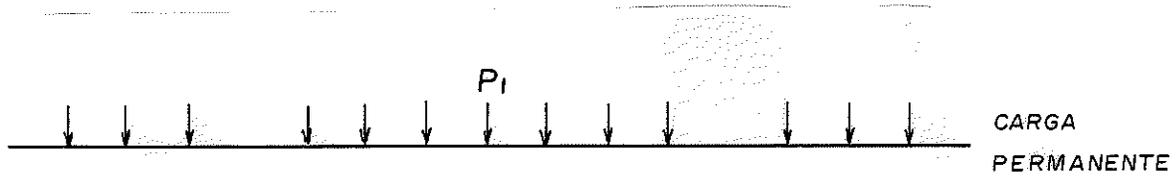
$Np = + 3926 \text{ Kg}$

$Na = - 2599 \text{ Kg}$

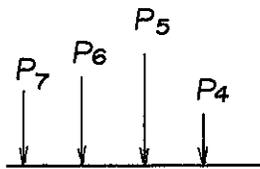
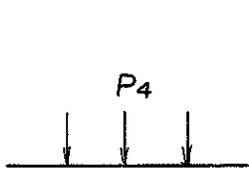
$Na = + 8402 \text{ Kg}$

ELEMENTOS 22 E 27

$C = - 0 \text{ Kg}$
 $T = + 12328 \text{ Kg}$



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
NEGATIVA



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

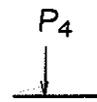
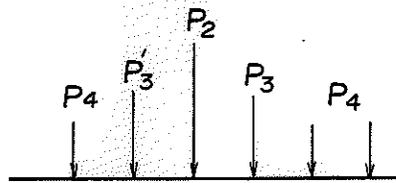
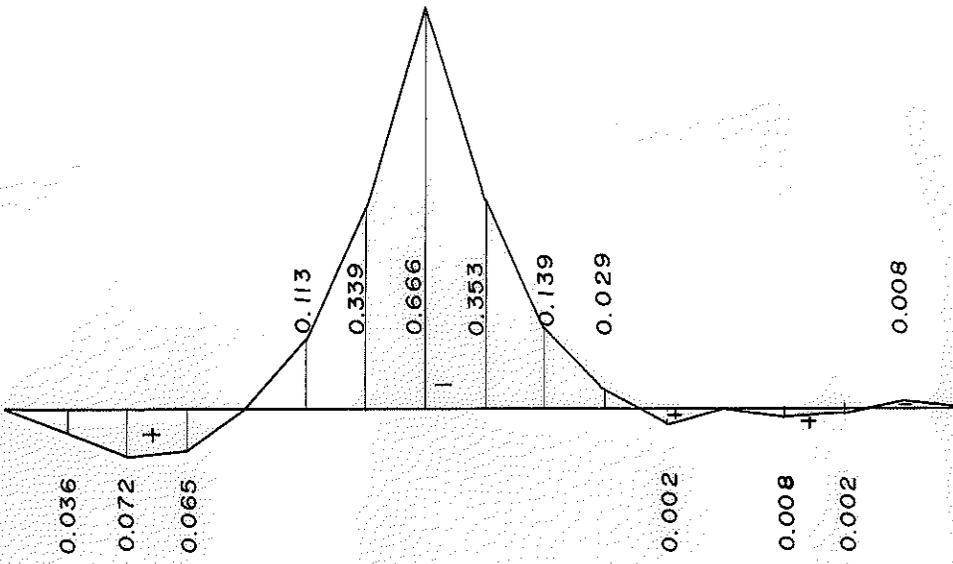
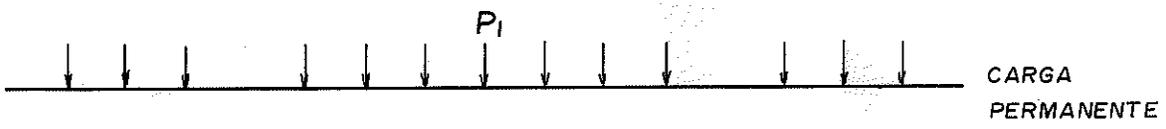
$$N_p = - 1058 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 7396 \text{ Kg}$$

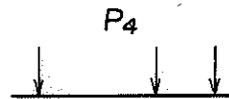
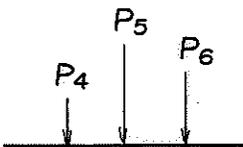
$$N_a = + 3203 \text{ Kg}$$

ELEMENTOS 23 E 26

$$\left\{ \begin{array}{l} C = - 8454 \text{ Kg} \\ T = + 2145 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL NEGATIVA



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL POSITIVA

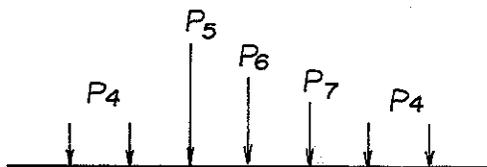
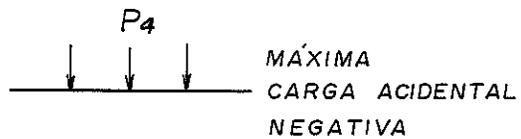
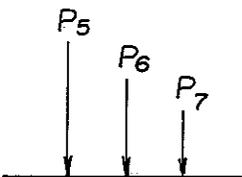
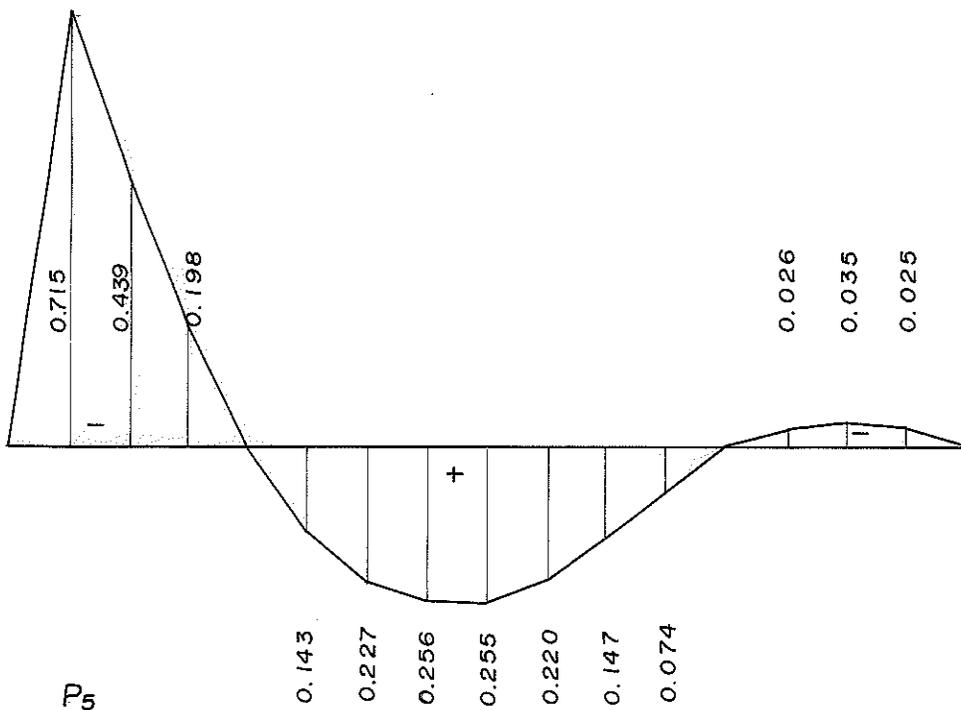
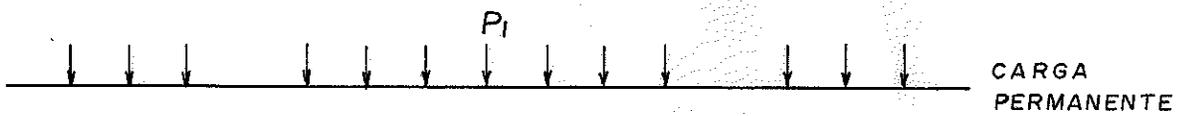
$$N_p = - 5112 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 12869 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 1527 \text{ Kg}$$

ELEMENTOS 24 E 25

$$\left\{ \begin{array}{l} C = - 17981 \text{ Kg} \\ T = + 0 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

$$N_p = - 411 \text{ Kg}$$

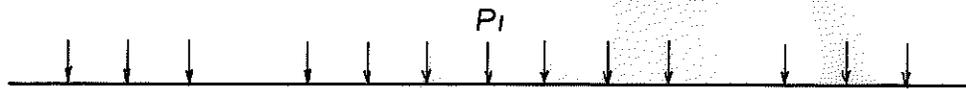
$$N_a = - 12795 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 7729 \text{ Kg}$$

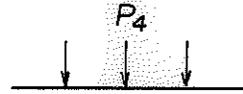
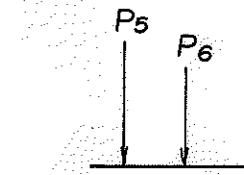
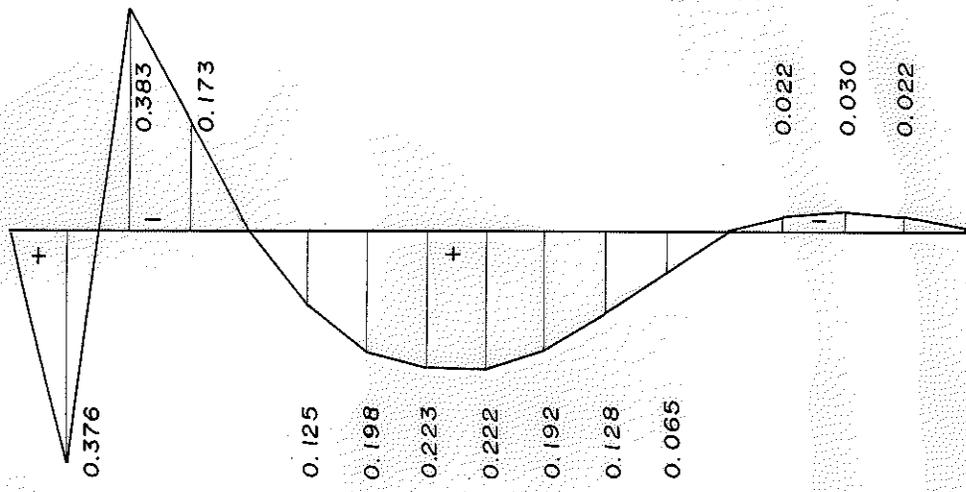
ELEMENTOS 33 E 49

$$C = - 13206 \text{ Kg}$$

$$T = + 7318 \text{ Kg}$$



CARGA PERMANENTE



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL NEGATIVA



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL POSITIVA

$$N_p = + 3183 \text{ Kg}$$

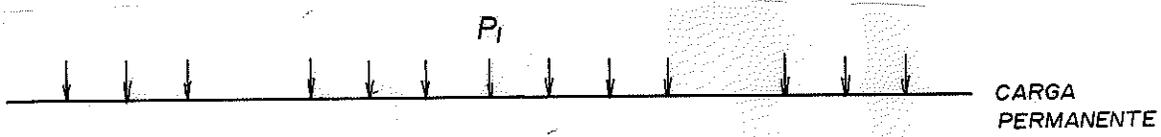
$$N_a = - 6011 \text{ Kg}$$

$$N_d = + 8920 \text{ Kg}$$

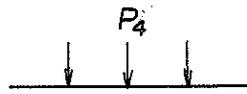
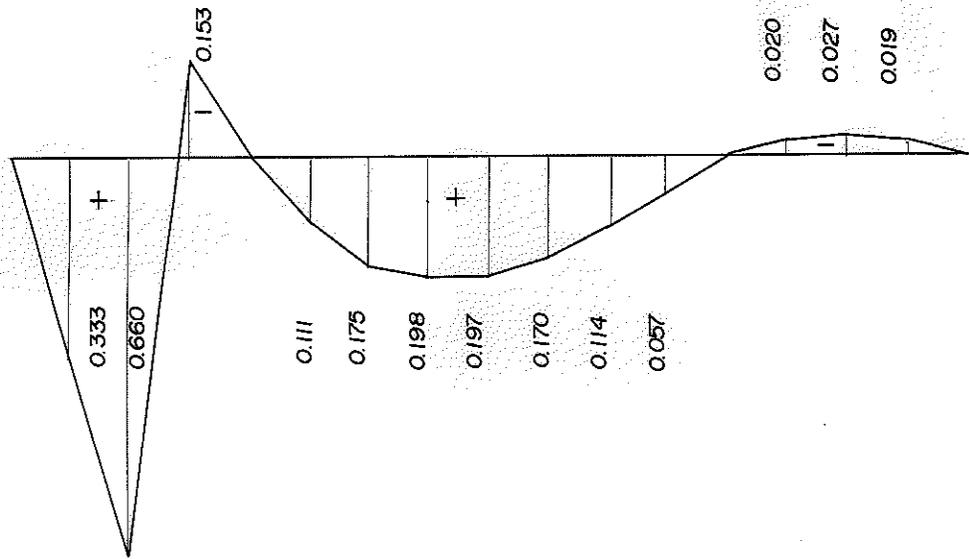
ELEMENTOS 34 E 48

$$C = - 2828 \text{ Kg}$$

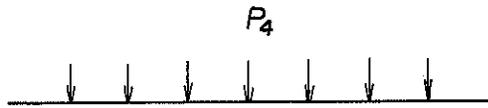
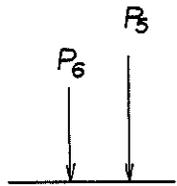
$$T = + 12103 \text{ Kg}$$



CARGA PERMANENTE



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL NEGATIVA



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL POSITIVA

$$N_p = + 6358 \text{ Kg}$$

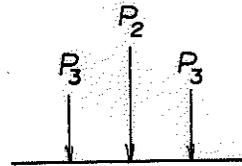
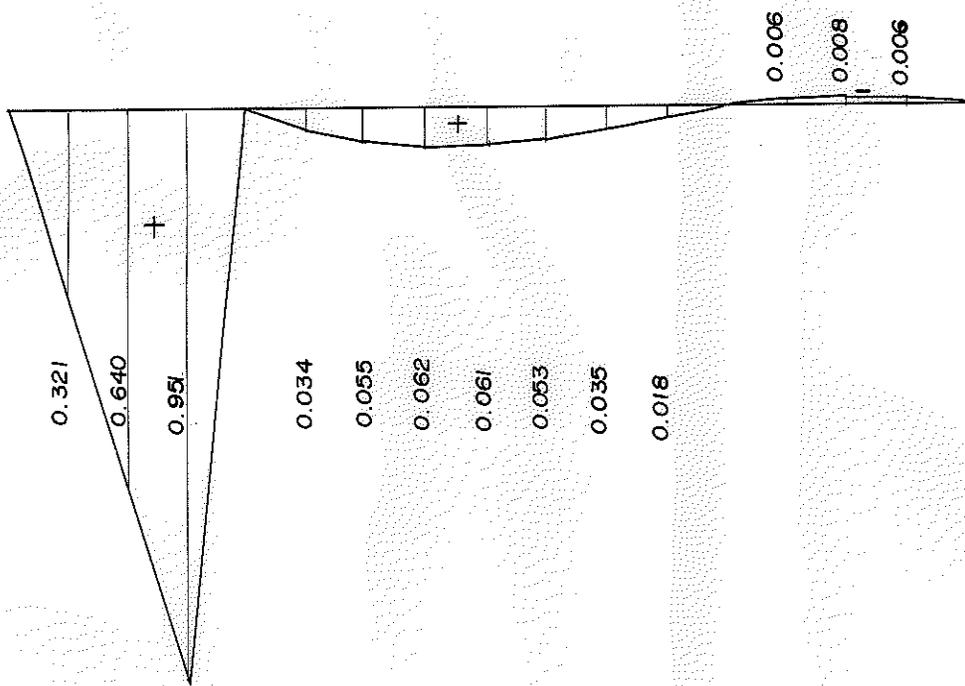
$$N_a = - 2079 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 13462 \text{ Kg}$$

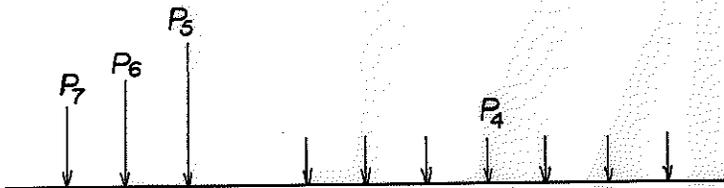
$$\text{ELEMENTOS } 35 \text{ E } 47 \left\{ \begin{array}{l} C = - 0 \text{ Kg} \\ T = +19820 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



CARGA PERMANENTE



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL NEGATIVA



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL POSITIVA

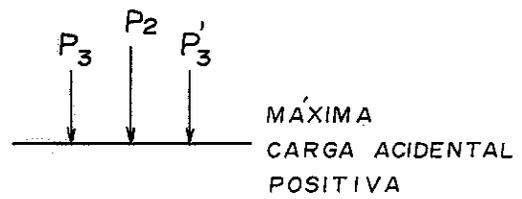
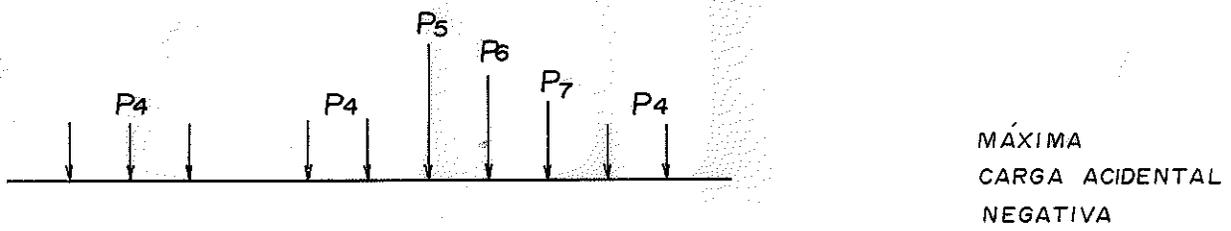
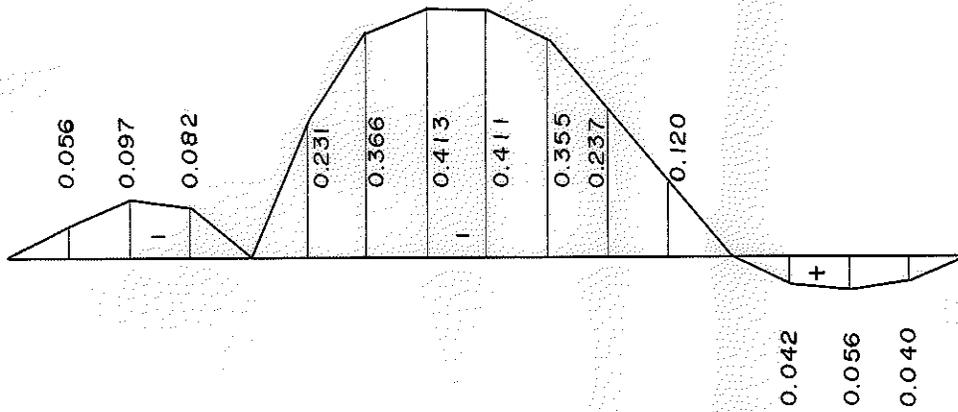
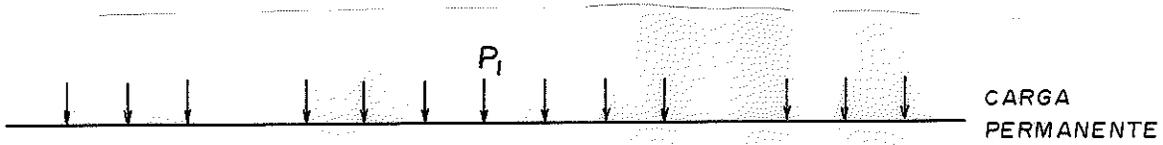
$$N_p = + 7823 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 164 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 18359 \text{ Kg}$$

ELEMENTOS 36 E 46

$$\left\{ \begin{array}{l} C = - 0 \text{ Kg} \\ T = + 26182 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



$$N_p = - 7895 \text{ Kg}$$

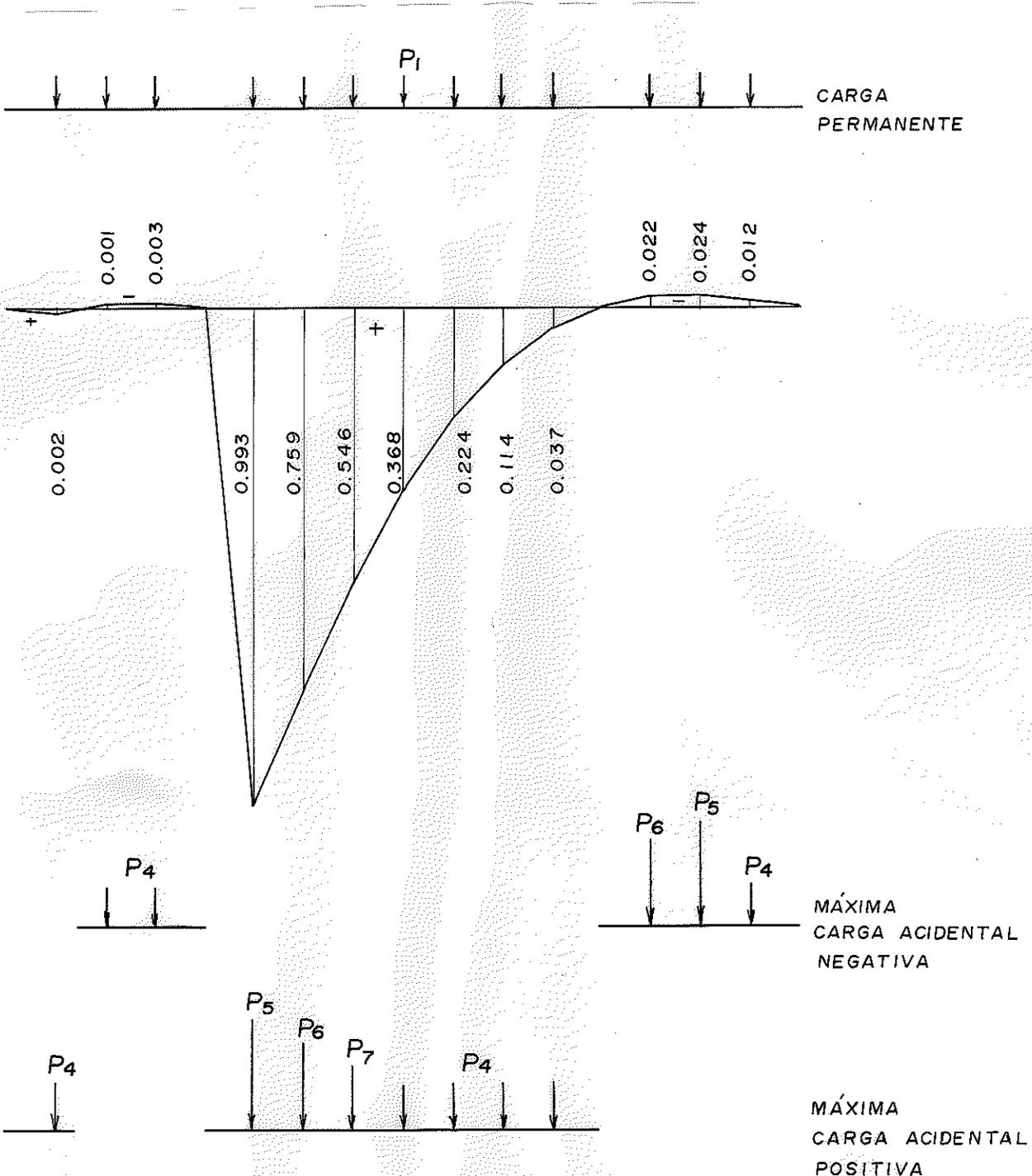
$$N_a = - 13201 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 1138 \text{ Kg}$$

ELEMENTOS 37 E 45

$$C = - 21096 \text{ Kg}$$

$$T = + 0 \text{ Kg}$$



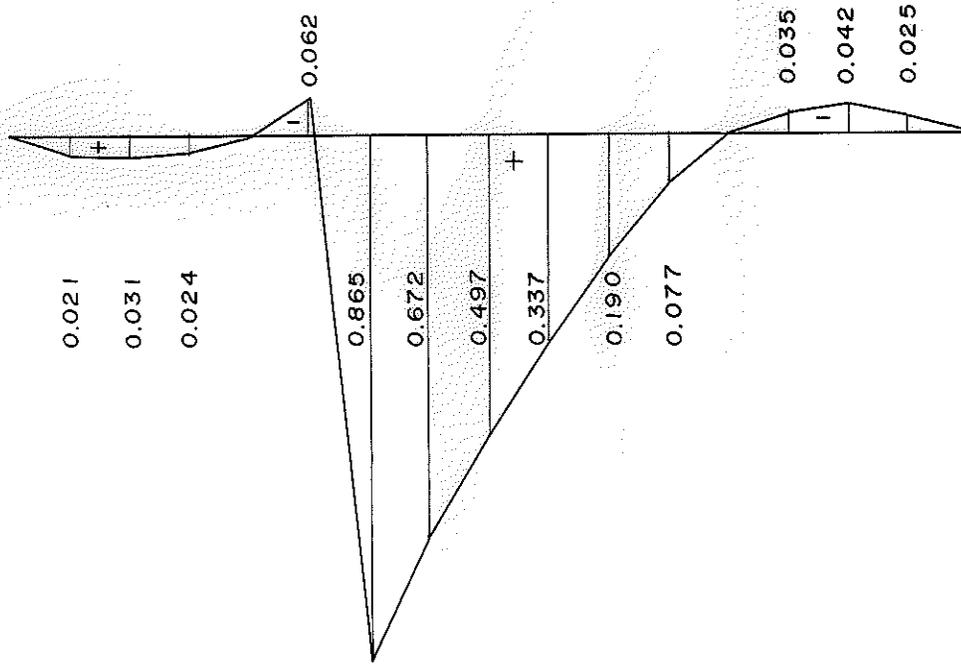
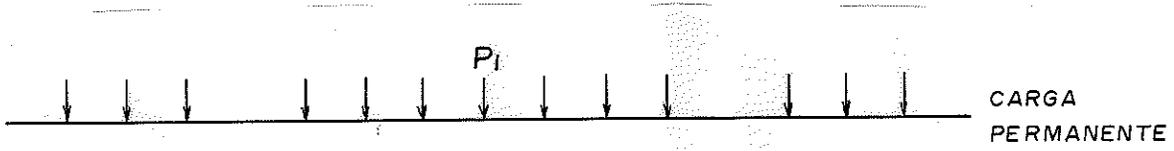
MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
NEGATIVA

MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

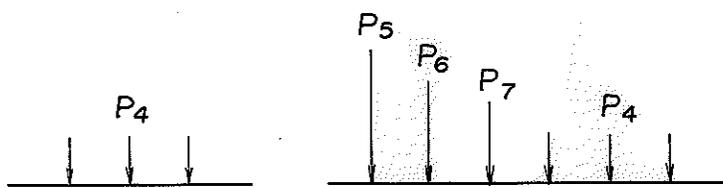
$N_p = + 10553 \text{ Kg}$
 $N_a = - 512 \text{ Kg}$
 $N_a = + 22012 \text{ Kg}$

ELEMENTOS 38 E 44

$C = - 0 \text{ Kg}$
 $T = + 32565 \text{ Kg}$



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
NEGATIVA



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

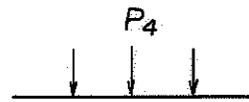
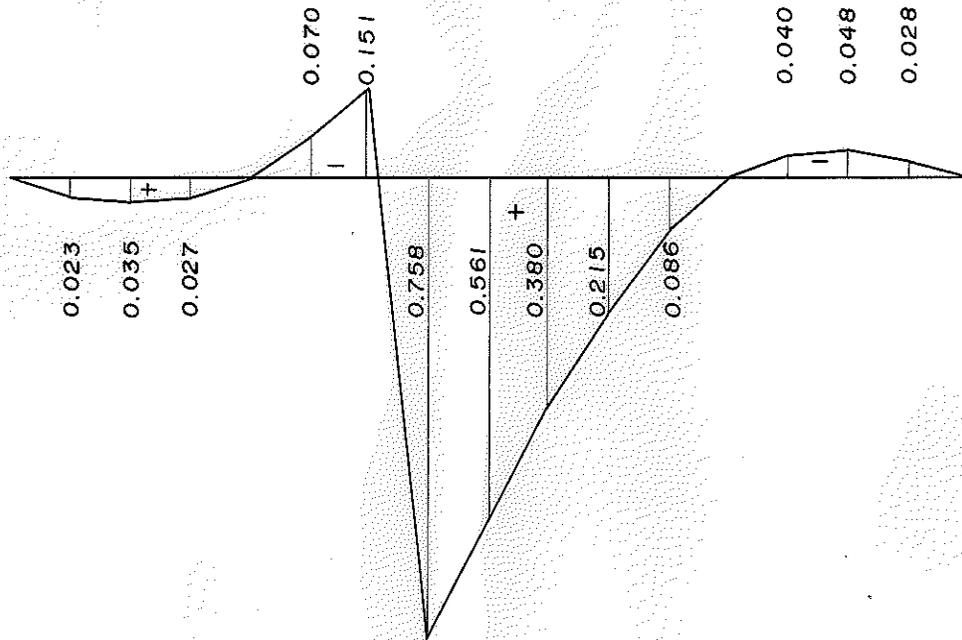
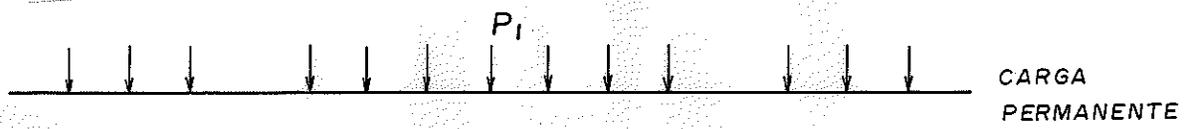
$N_p = + 9028 \text{ Kg}$

$N_a = - 1077 \text{ Kg}$

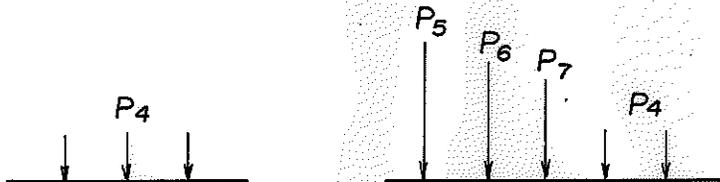
$N_a = + 19444 \text{ Kg}$

ELEMENTOS 39 E 43

$$\left\{ \begin{array}{l} C = - 0 \text{ Kg} \\ T = + 28472 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
NEGATIVA



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

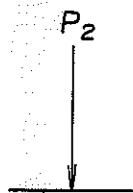
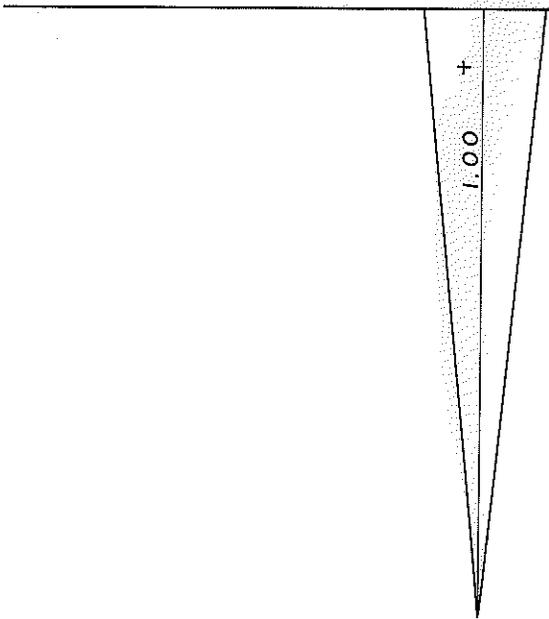
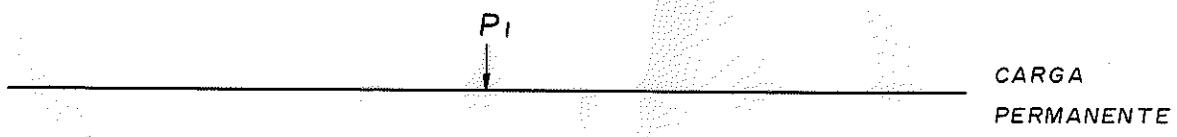
$$N_p = + 6188 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 2657 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 15939 \text{ Kg}$$

ELEMENTOS 40 E 42

$$\left\{ \begin{array}{l} C = - 0 \text{ Kg} \\ T = + 22127 \text{ Kg} \end{array} \right.$$



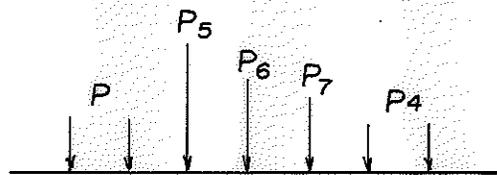
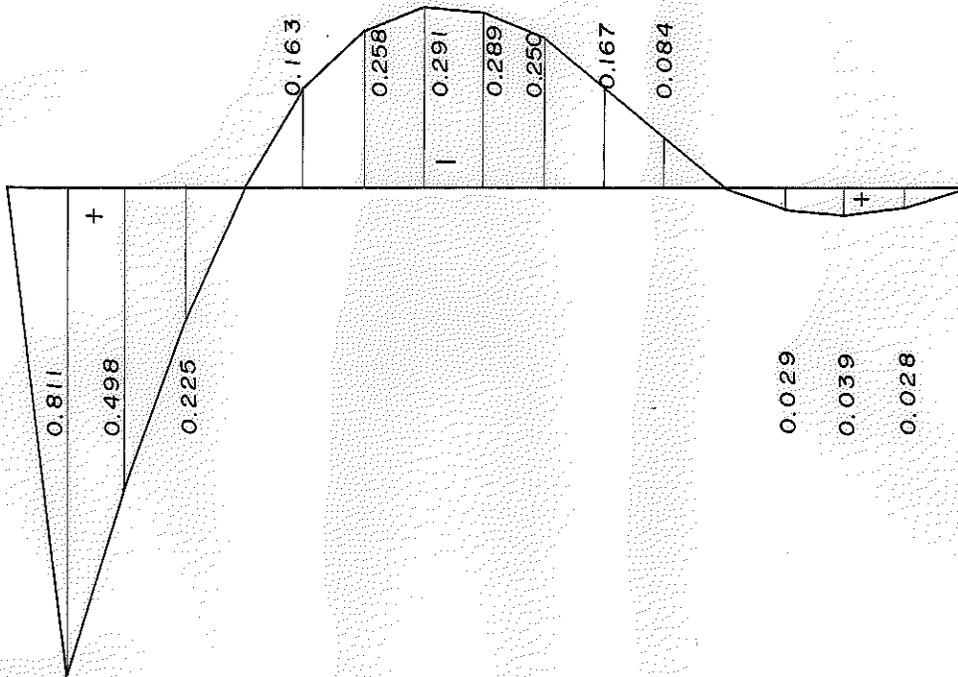
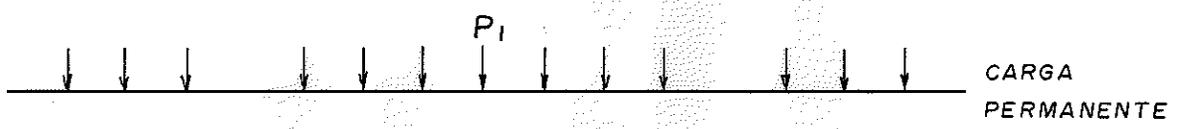
MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

$$N_p = + 3540 \text{ Kg}$$

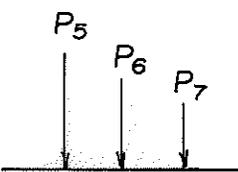
$$N_a = - 0 \text{ Kg}$$

$$N_d = + 12240 \text{ Kg}$$

ELEMENTO	41	{	C = - 0 Kg
			T = + 15780 Kg



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
NEGATIVA



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

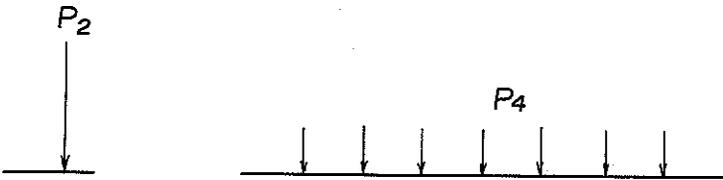
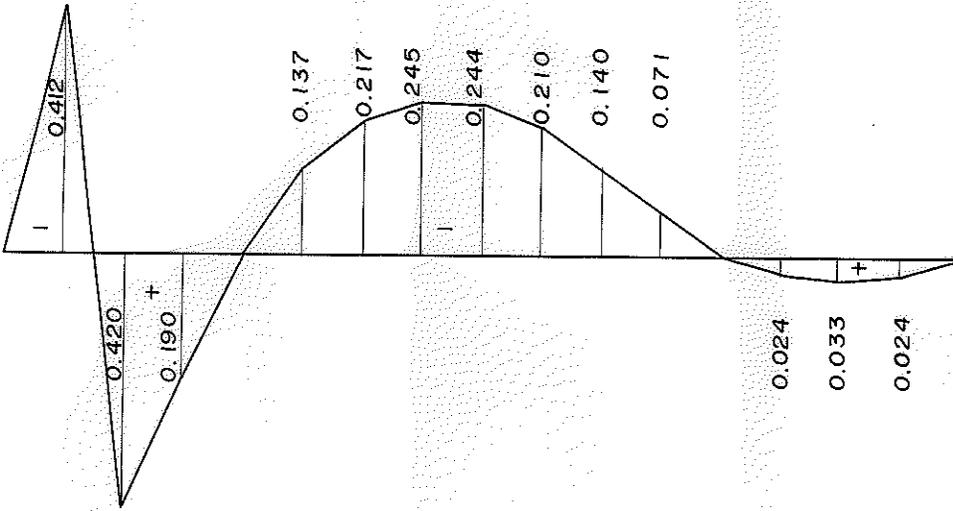
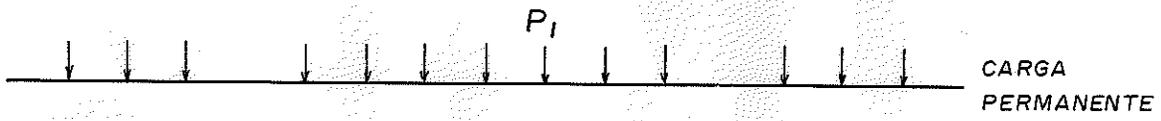
$N_p = + 453 \text{ Kg}$

$N_a = - 8779 \text{ Kg}$

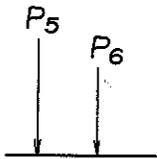
$N_a = + 14510 \text{ Kg}$

ELEMENTOS 50 E 65

$C = - 8326 \text{ Kg}$
 $T = + 14963 \text{ Kg}$



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
NEGATIVA



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

$N_p = - 3487 \text{ Kg}$

$N_a = - 8987 \text{ Kg}$

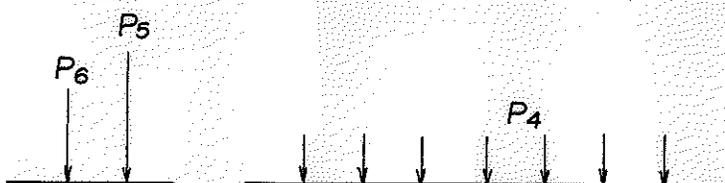
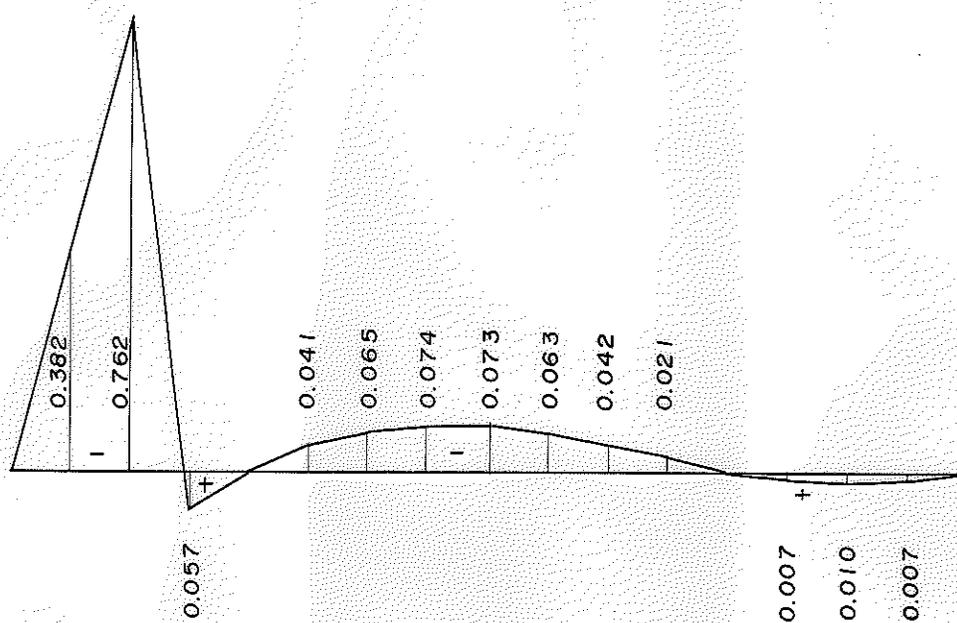
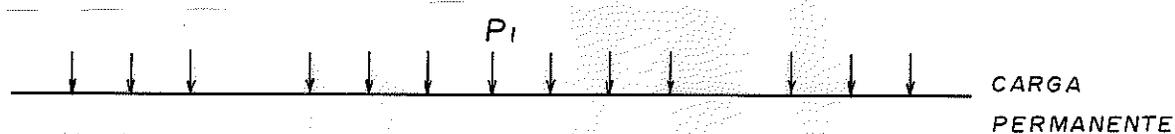
$N_a = + 6594 \text{ Kg}$

ELEMENTOS

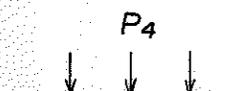
51 E 64

$C = - 12474 \text{ Kg}$

$T = + 3107 \text{ Kg}$



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
NEGATIVA



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

$$N_p = - 5105 \text{ Kg}$$

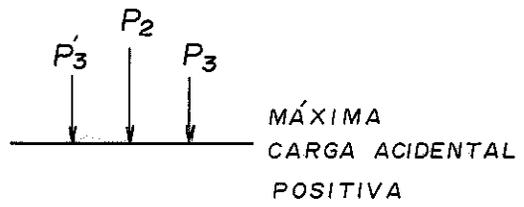
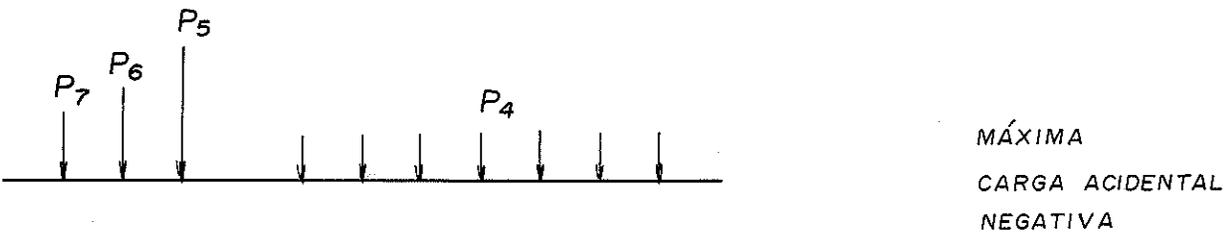
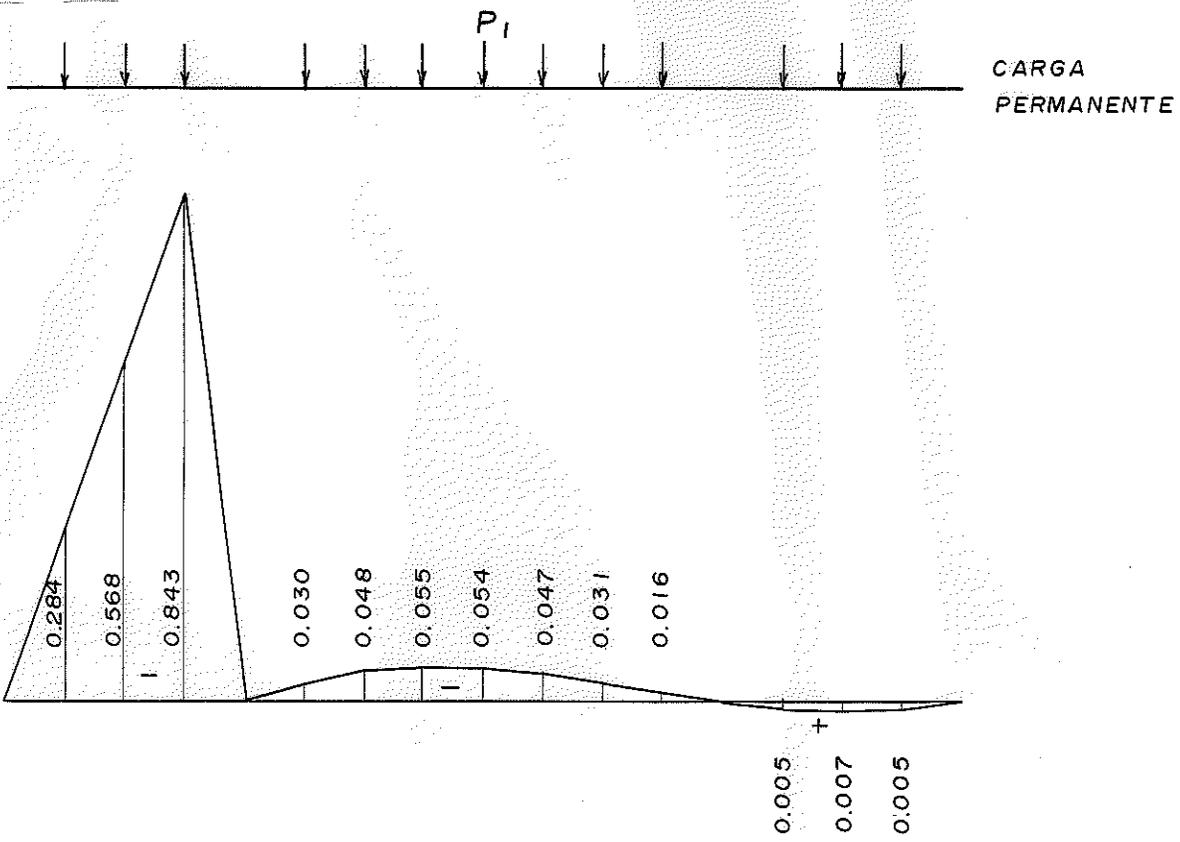
$$N_a = - 13021 \text{ Kg}$$

$$N_a = + 773 \text{ Kg}$$

ELEMENTOS 52 E 63

$$C = - 18126 \text{ Kg}$$

$$T = + 0 \text{ Kg}$$



$N_p = - 6935 \text{ Kg}$

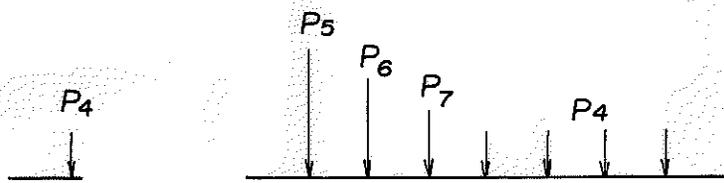
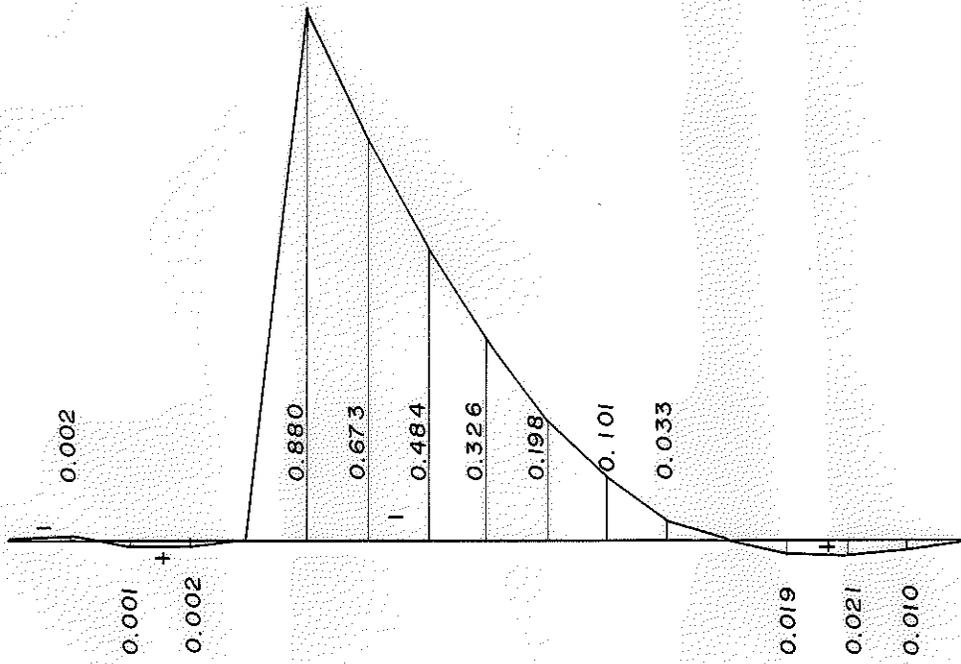
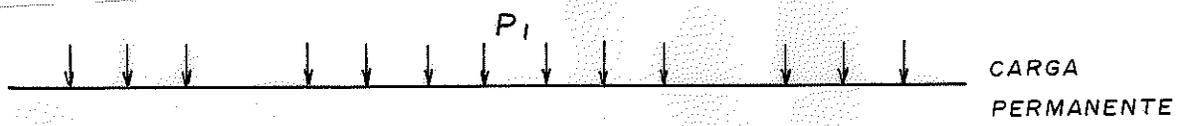
$N_a = - 16275 \text{ Kg}$

$N_a = + 141 \text{ Kg}$

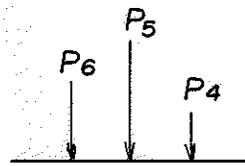
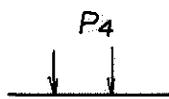
ELEMENTOS 53 E 62

$C = - 23210 \text{ Kg}$

$T = + 0 \text{ Kg}$



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
NEGATIVA



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

$N_p = - 9360 \text{ Kg}$

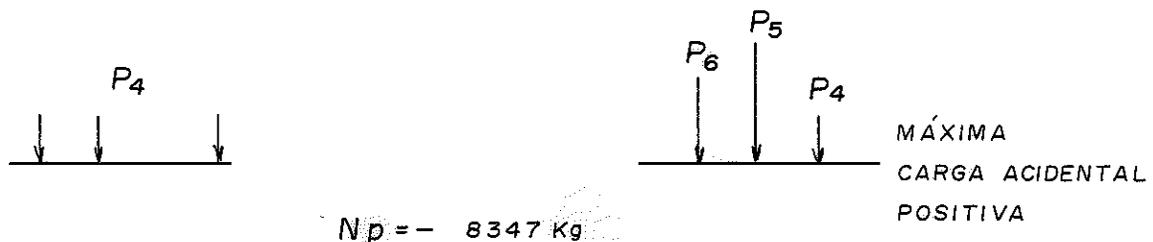
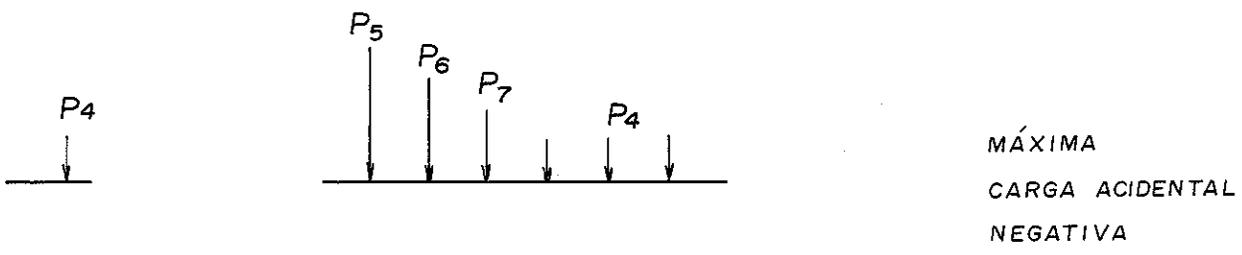
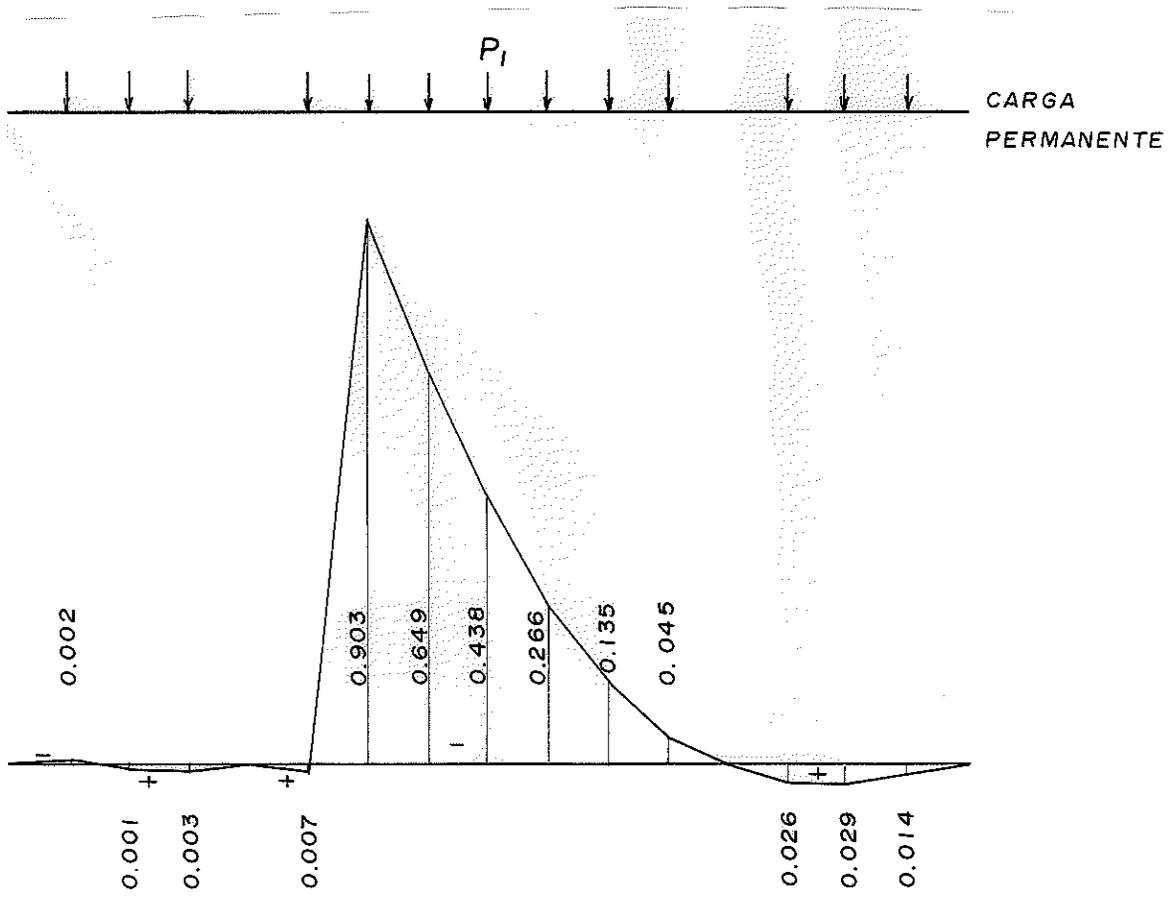
$N_a = - 19510 \text{ Kg}$

$N_a = + 443 \text{ Kg}$

ELEMENTOS 54 E 61

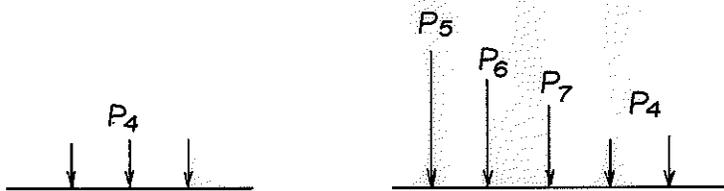
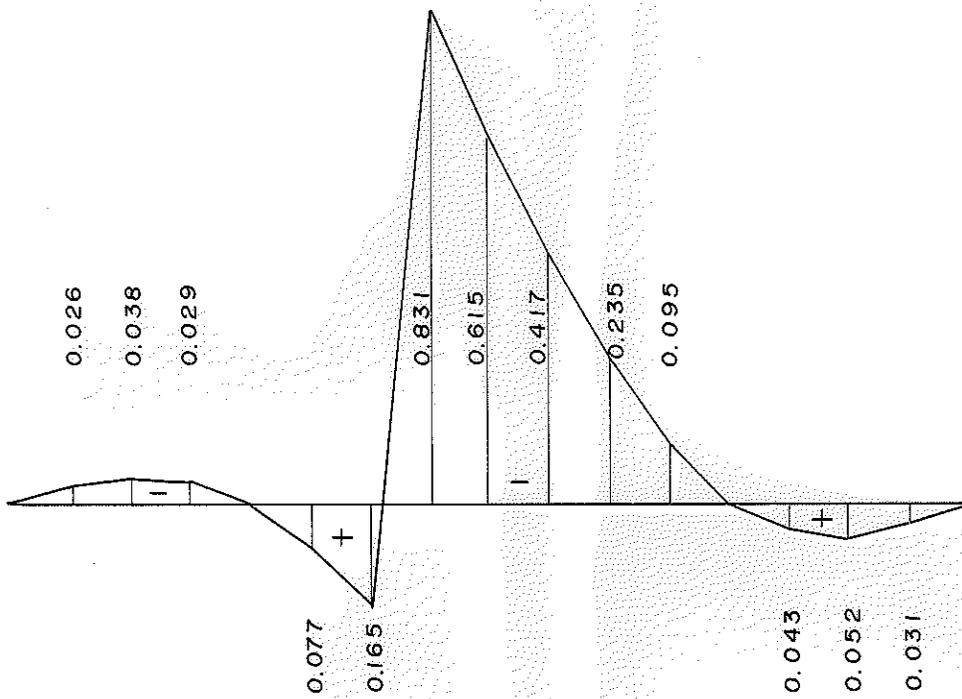
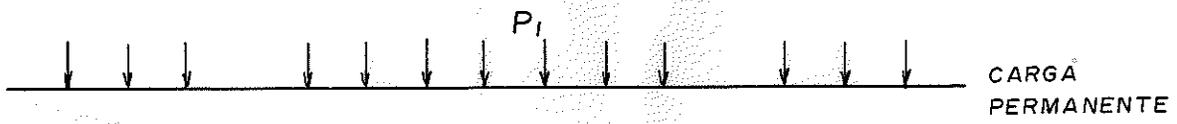
$C = -28870 \text{ Kg}$

$T = + 0 \text{ Kg}$

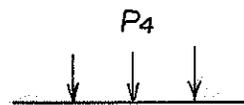
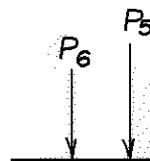


$N_p = - 8347 \text{ Kg}$
 $N_a = - 18726 \text{ Kg}$
 $N_a = + 631 \text{ Kg}$

ELEMENTOS 55 E 60 { $C = - 27073 \text{ Kg}$
 $T = + 0 \text{ Kg}$



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
NEGATIVA



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

$N_p = - 6790 \text{ Kg}$

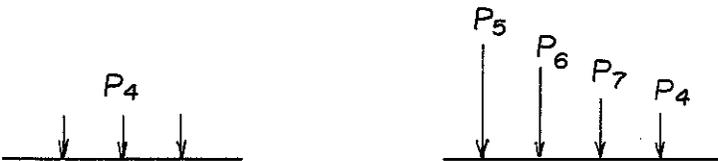
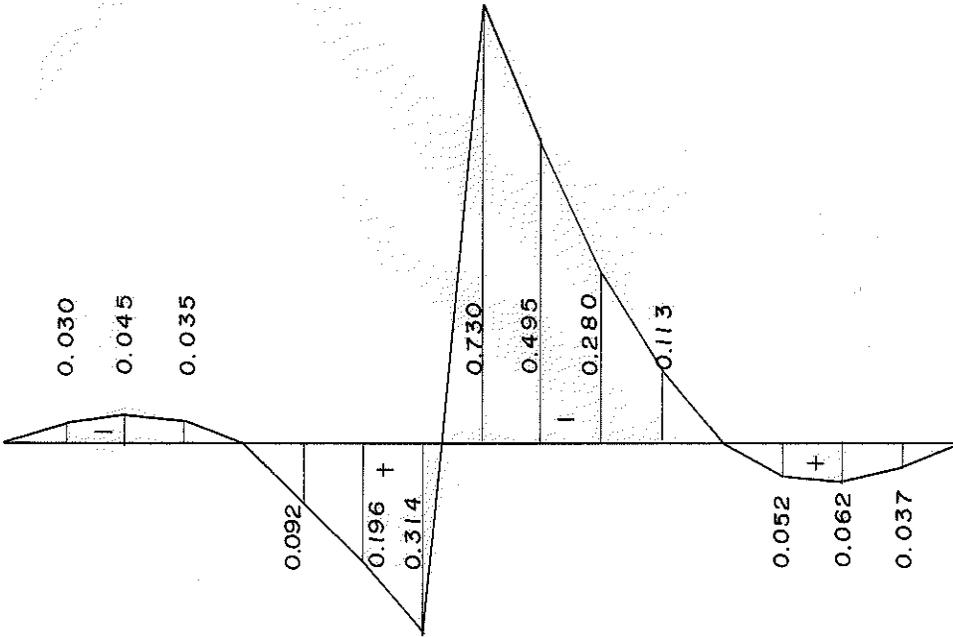
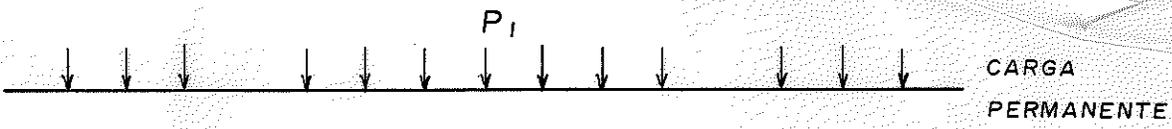
$N_a = - 17474 \text{ Kg}$

$N_a = + 2906 \text{ Kg}$

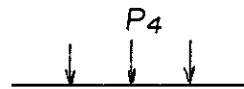
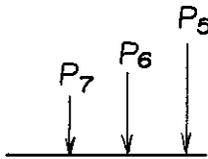
ELEMENTOS 56 E 59

$C = - 24264 \text{ Kg}$

$T = + 0 \text{ Kg}$



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
NEGATIVA



MÁXIMA
CARGA ACIDENTAL
POSITIVA

$N_p = - 3451 \text{ Kg}$

$N_a = - 14178 \text{ Kg}$

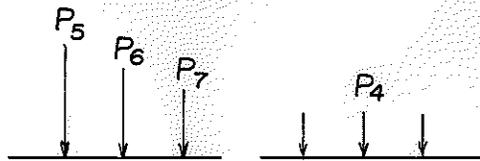
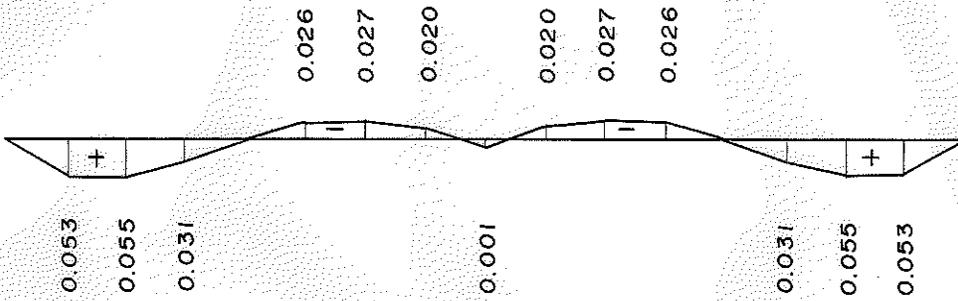
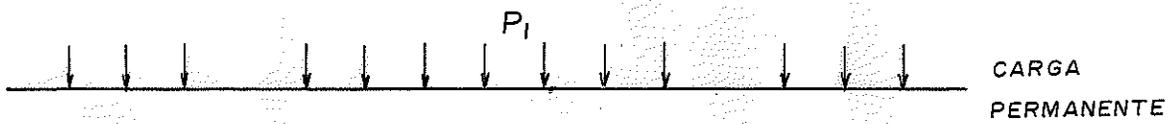
$N_a = + 6019 \text{ Kg}$

ELEMENTOS

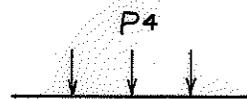
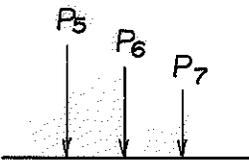
57 E 58

$C = - 17629 \text{ Kg}$

$T = + 2568 \text{ Kg}$



MÁXIMA CARGA ACIDENTAL NEGATIVA



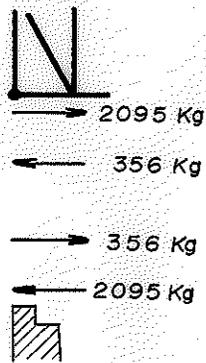
MÁXIMA CARGA ACIDENTAL POSITIVA

$N_p = + 471 \text{ Kg}$

$N_a = - 827 \text{ Kg}$

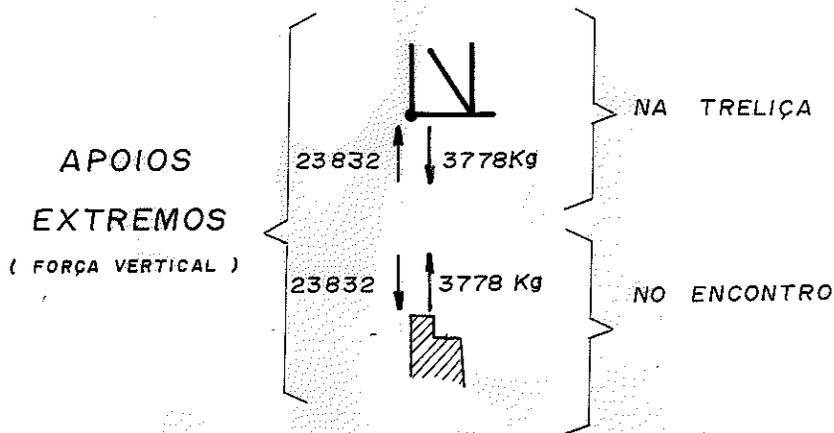
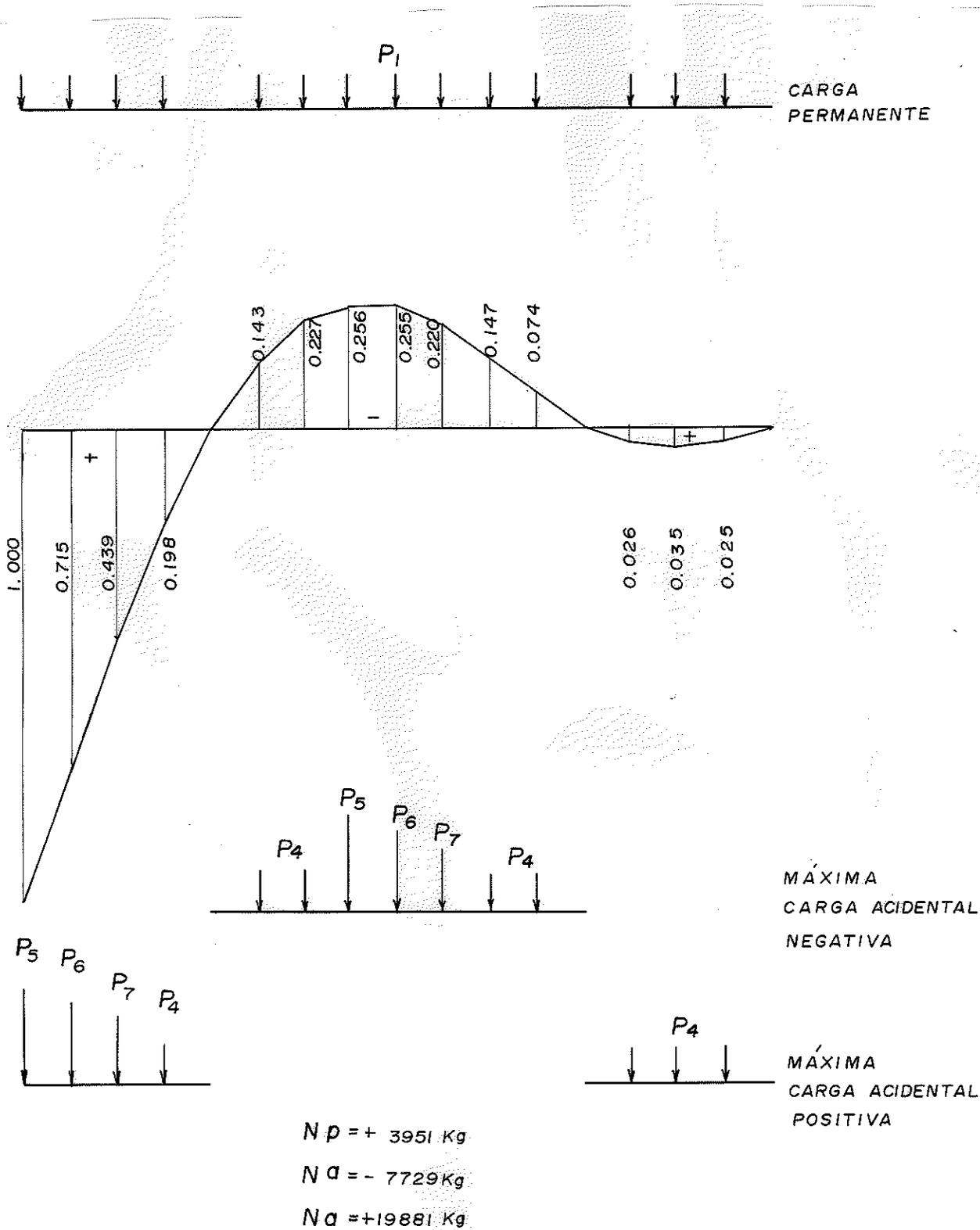
$N_a = + 1624 \text{ Kg}$

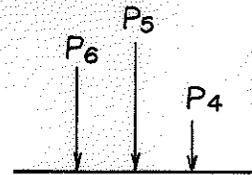
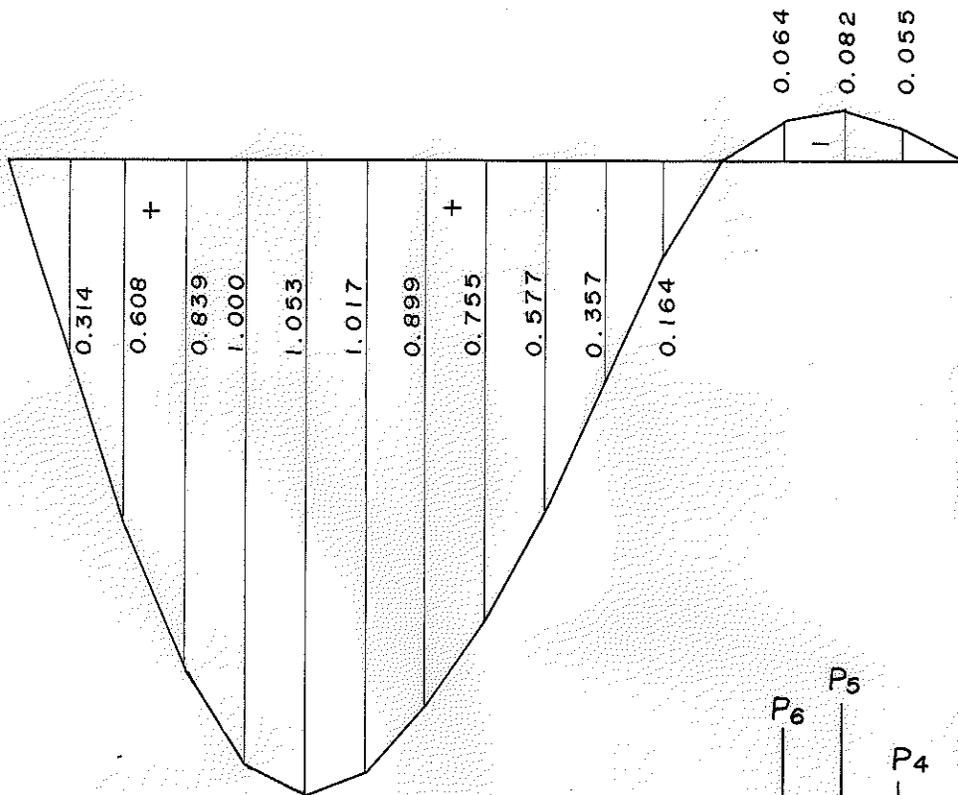
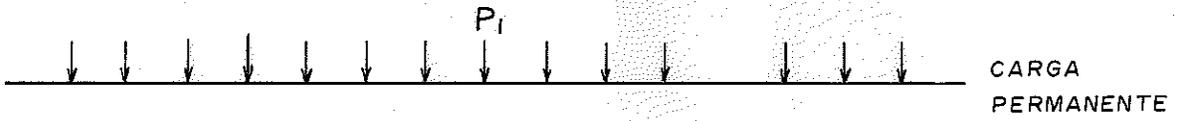
APOIOS
EXTREMOS
(FORÇA HORIZONTAL)



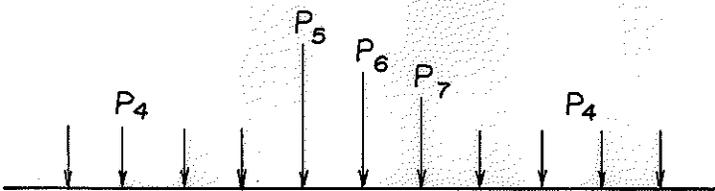
NA TRELIÇA

NO ENCONTRO





MÁXIMA CARGA ACIDENTAL NEGATIVA



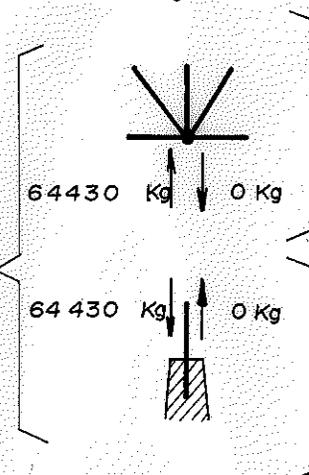
MÁXIMA CARGA ACIDENTAL POSITIVA

$$N_p = + 26132 \text{ Kg}$$

$$N_a = - 1664 \text{ Kg}$$

$$N_d = + 38298 \text{ Kg}$$

APOIOS INTERNOS
(FORÇA VERTICAL)

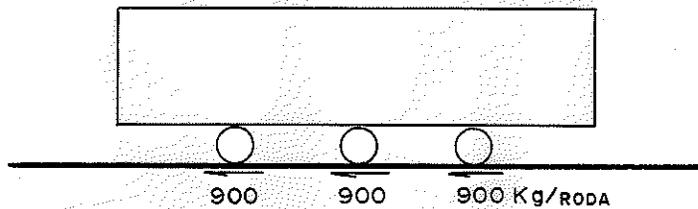


NA TRELIÇA

NO PILAR

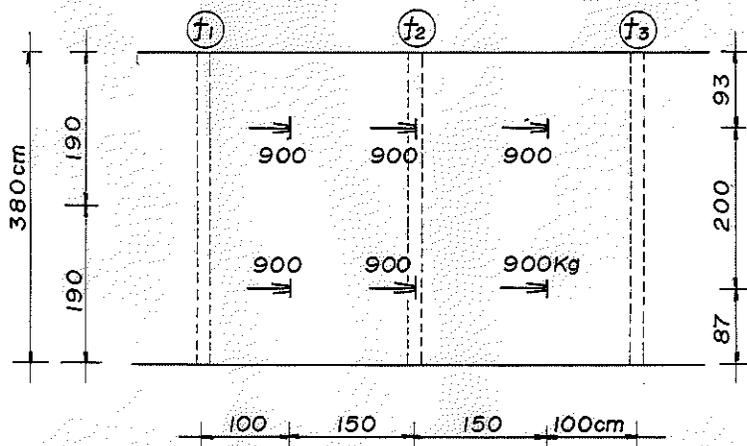
III.5.6 - Efeito horizontal da força longitudinal

Com o carregamento indicado na figura 16, será indicado através de linhas de influência obtidas em programa "STRESS", o efeito da força longitudinal (aceleração ou frenagem), nos elementos da viga treliçada.



Dois tipos de carregamento serão verificados: um quando o eixo do meio do trem-tipo estiver sobre uma transversina e outro quando um eixo extremo do trem-tipo estiver sobre uma transversina.

- Eixo do meio sobre uma transversina:



Como o tabuleiro está sendo considerado rígido, será admitido que o eixo do meio descarrega totalmente sobre a transversina (t_2), e os dois eixos extremos distribuem parte da carga em (t_1) e (t_3) e parte da carga em (t_2).

A carga dos eixos extremos está a 1,00 ou 1,50m das transversinas, portanto, se for considerada uma propagação a $\approx 45^\circ$, a carga concentrada chegará nas transversinas como uniformemente distribuída (figura 34).

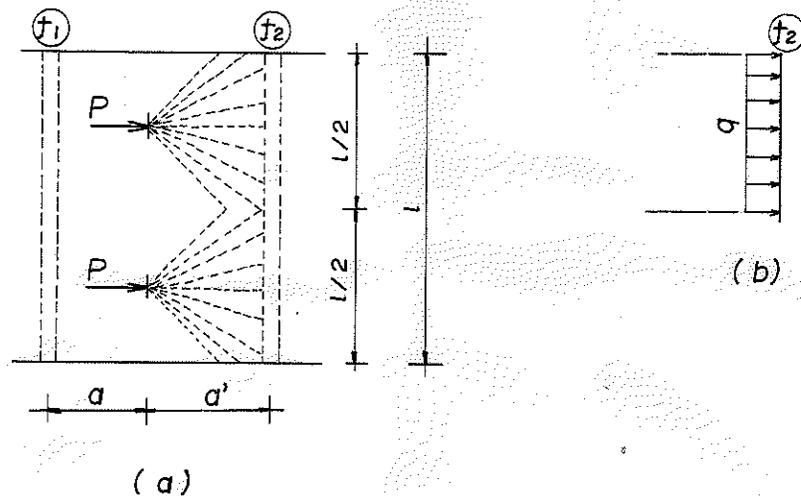


FIG. 34

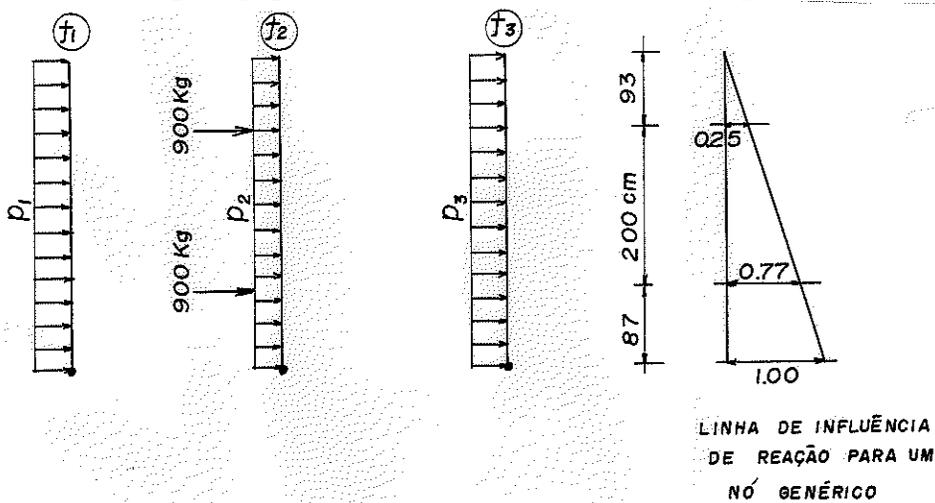
A figura 34(b) mostra o efeito da carga "P", já distribuída em (t_2) .

A consideração feita é a seguinte:

A carga "P", propagará parte de seu valor para (t_1) e parte para (t_2) , e será distribuída totalmente no trecho de sua atuação. Portanto:

$$q = \frac{P \cdot a'}{(a + a')} / (l/2)$$

Com estas considerações o carregamento fica o seguinte:



onde:

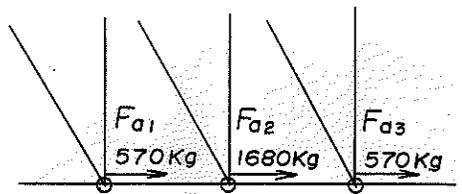
$$\overline{p_1} = \overline{p_3} = \frac{(900 \cdot 150)}{250} / 190 = 3 \text{ kg/cm}$$

$$\overline{p_2} = \frac{(900 \cdot 100)}{250} / 190 + \frac{(900 \cdot 100)}{250} / 190 = 4 \text{ kg/cm}$$

Este carregamento aplicado na linha de influência, (L.I.) de reação do nó, dá como resultado o efeito horizontal da força longitudinal (aceleração ou frenagem) mais desfavorável ao mesmo. Portanto:

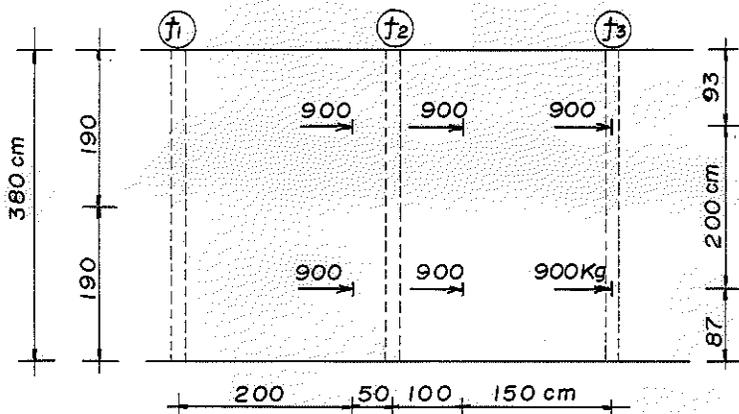
$$F_{a1} = F_{a3} = 3 \cdot \frac{1 \cdot 380}{2} = 570\text{kg}$$

$$F_{a2} = 4 \cdot \frac{1 \cdot 380}{2} + 900 (0,77 + 0,25) = 1680\text{kg}$$

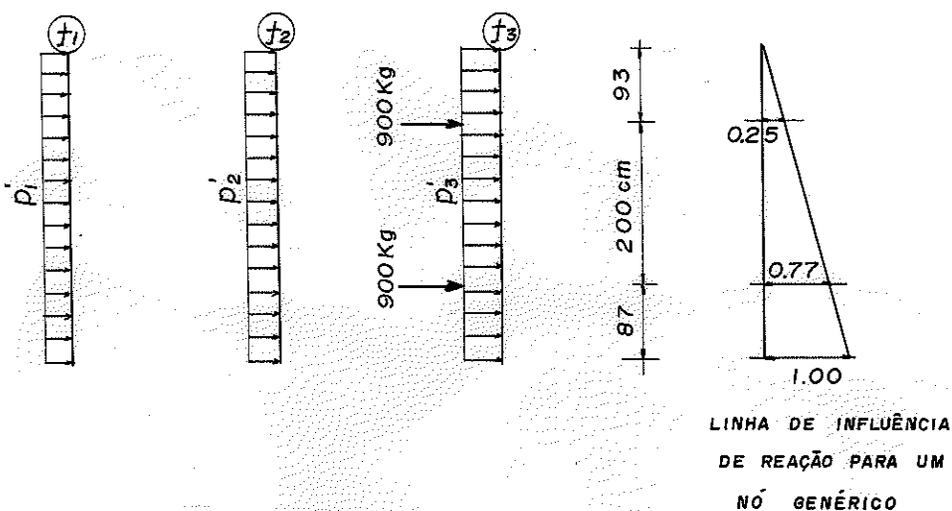


Este carregamento pode ser aplicado tanto neste sentido como em sentido contrário, dependendo se for frenagem ou aceleração.

- Eixo extremo sobre uma transversina:



Com as mesmas considerações anteriores, tem-se:



onde:

$$\overline{p'_1} = \left(\frac{900 \cdot 50}{250} \right) / 190 \approx 1 \text{ kg/cm}$$

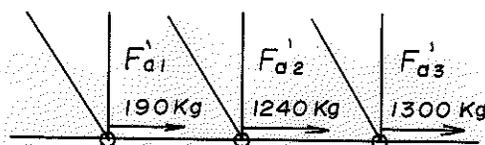
$$\overline{p'_2} = \left(\frac{900 \cdot 200}{250} \right) / 190 + \left(\frac{900 \cdot 150}{250} \right) / 190 \approx 6,5 \text{ kg/cm}$$

$$\overline{p'_3} = \left(\frac{900 \cdot 100}{250} \right) / 190 \approx 2 \text{ kg/cm}$$

$$F'_{a1} = 1 \cdot \left(\frac{1 \cdot 380}{2} \right) = 190 \text{ kg}$$

$$F'_{a2} = 6,5 \cdot \left(\frac{1 \cdot 380}{2} \right) = 1240 \text{ kg}$$

$$F'_{a3} = 2 \cdot \left(\frac{1 \cdot 380}{2} \right) + 900 \cdot (0,77 + 0,25) = 1300 \text{ kg}$$



O efeito da força longitudinal será estudado através do programa "STRESS", sendo aplicada uma carga unitária na direção horizontal, em cada nó do banzo inferior da viga treliçada.

O resultado será considerado com linha de influência, rebatida em 90°, ficando portanto vertical.

Para essa simplificação, o carregamento será considerado conforme indicado na figura 35.

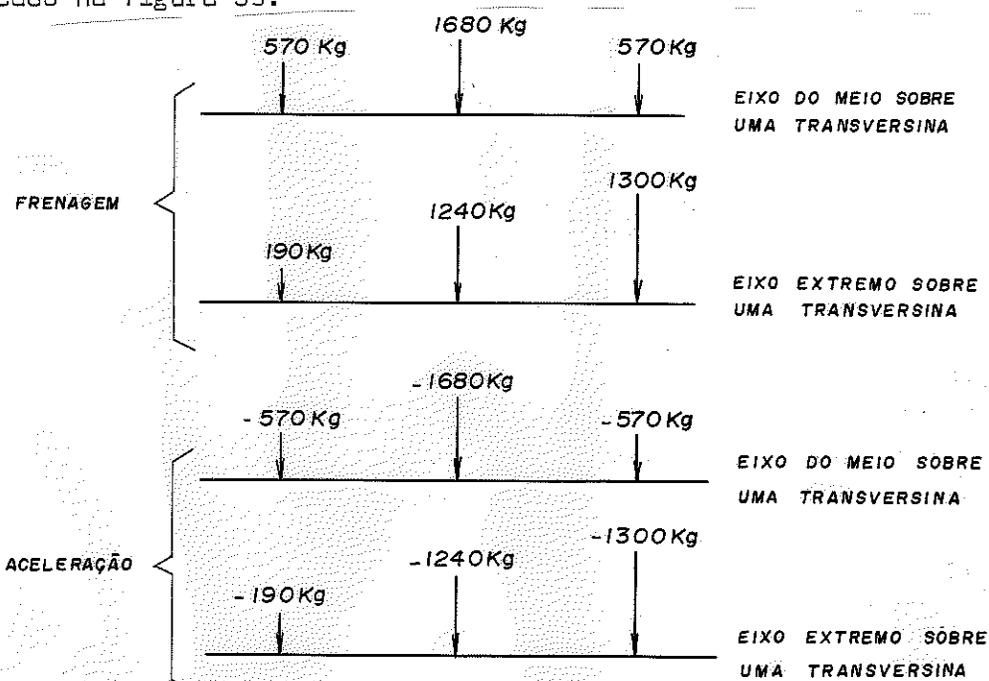
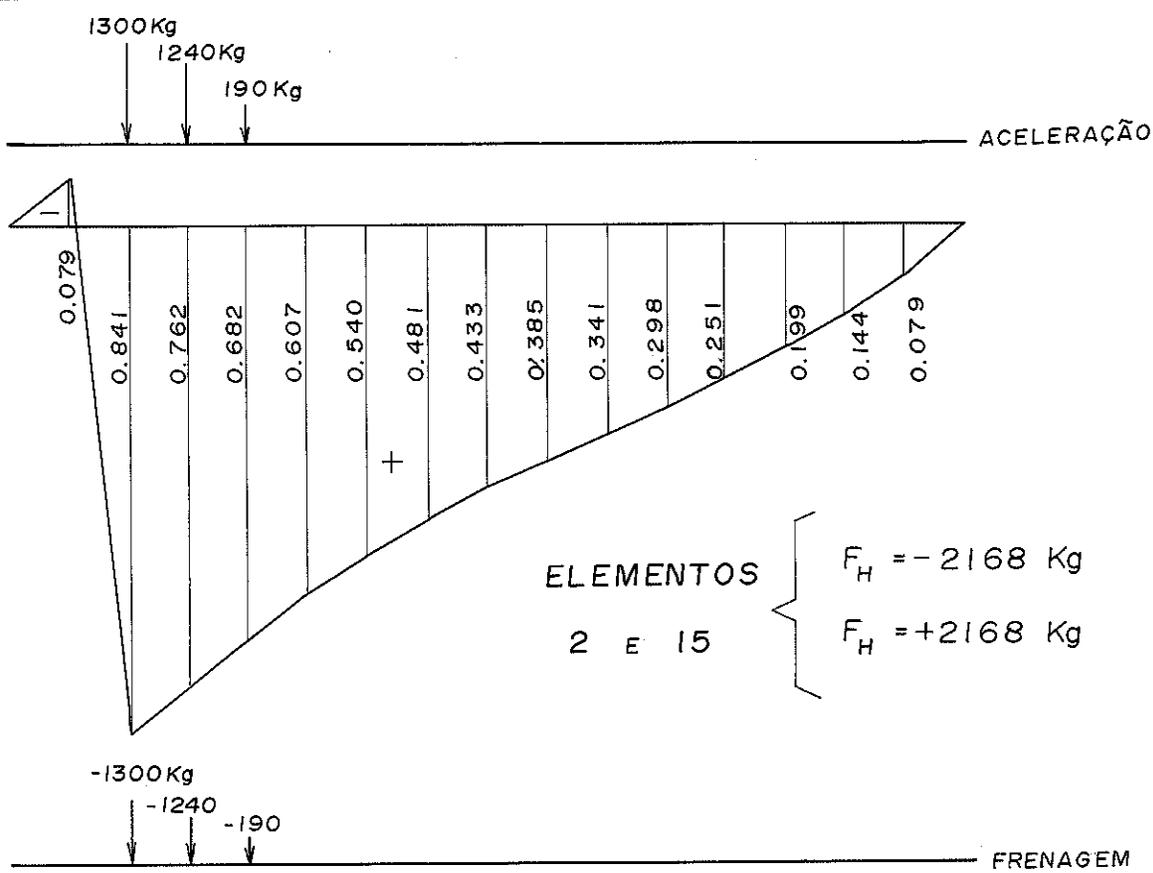
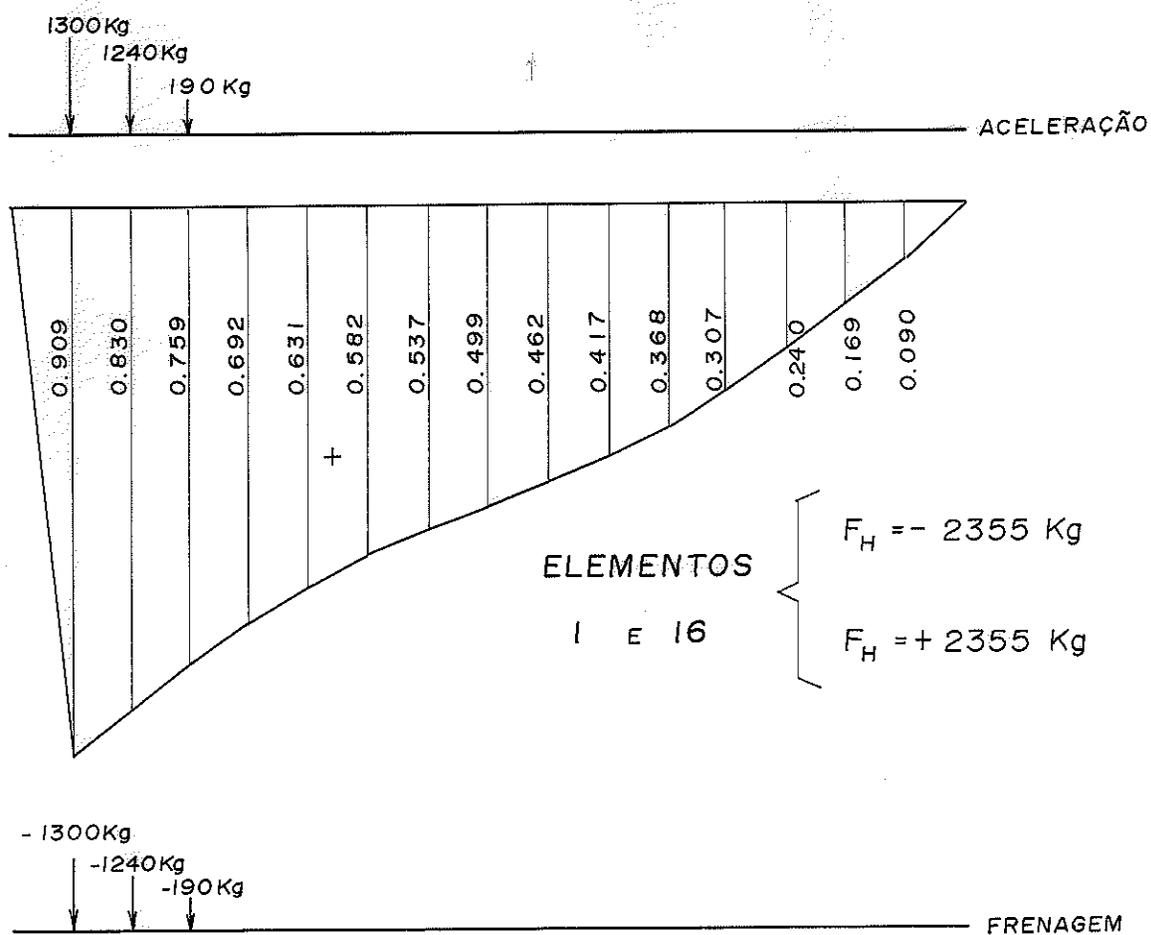
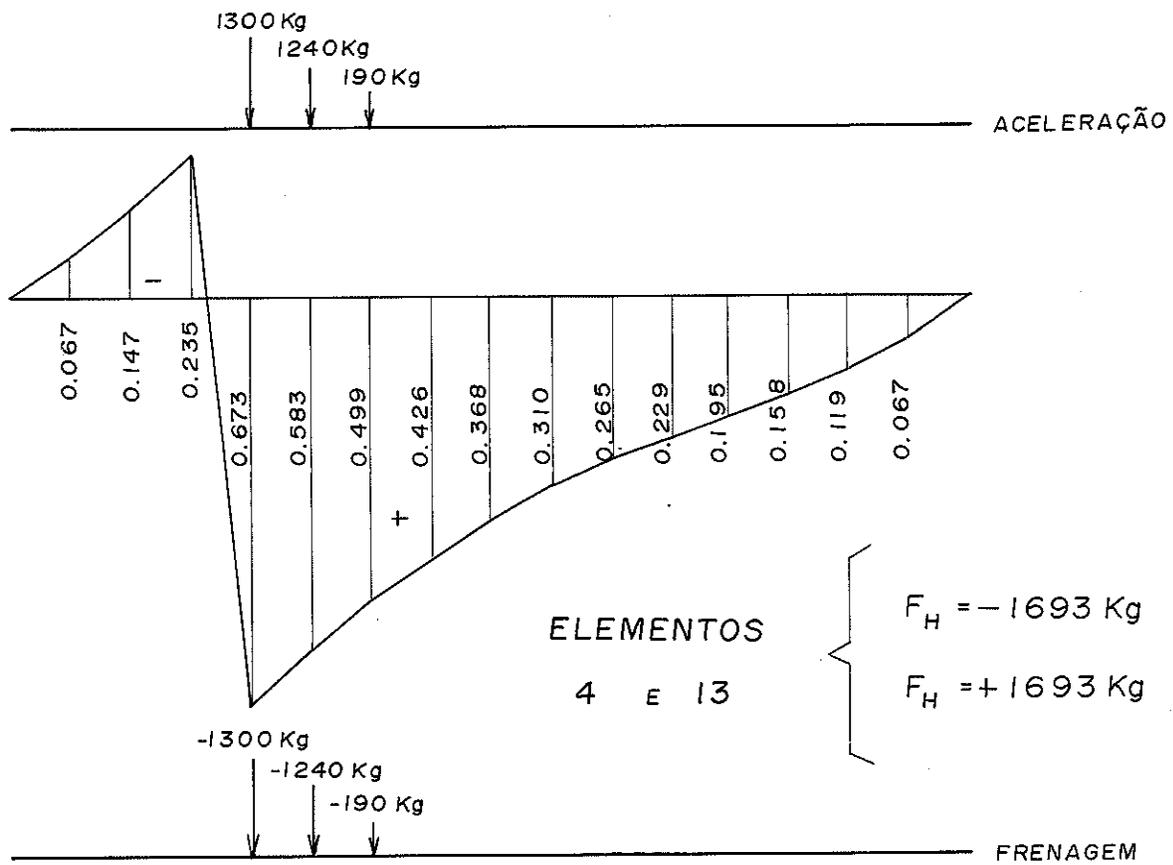
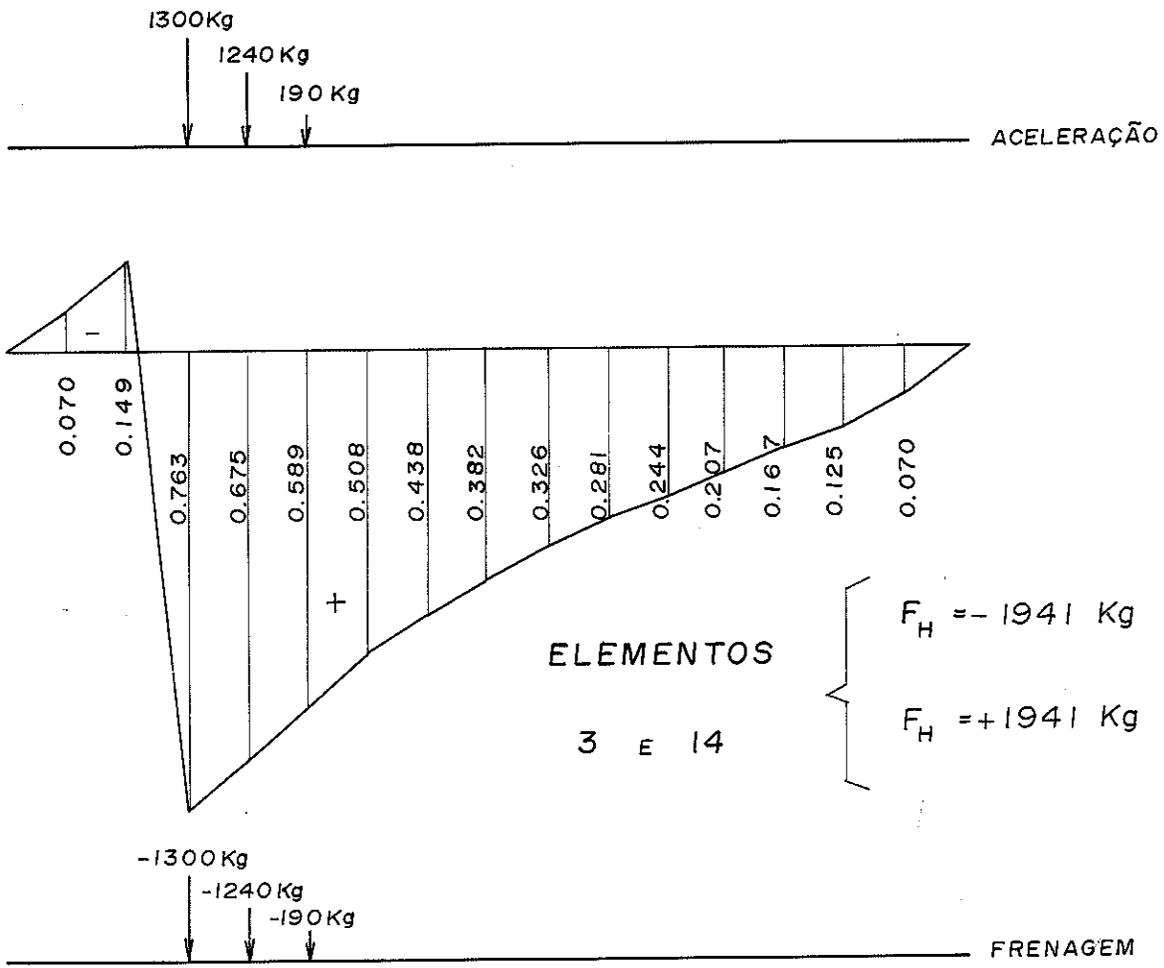


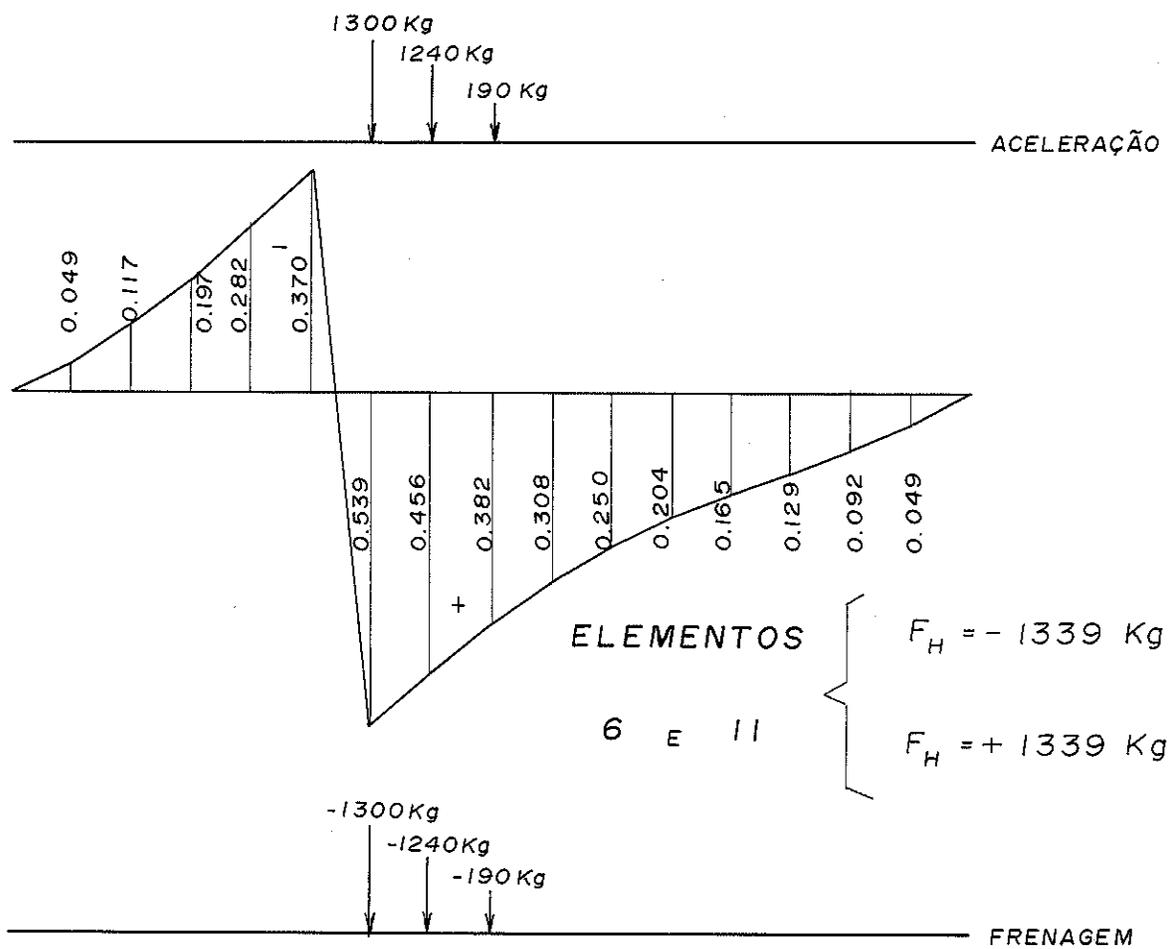
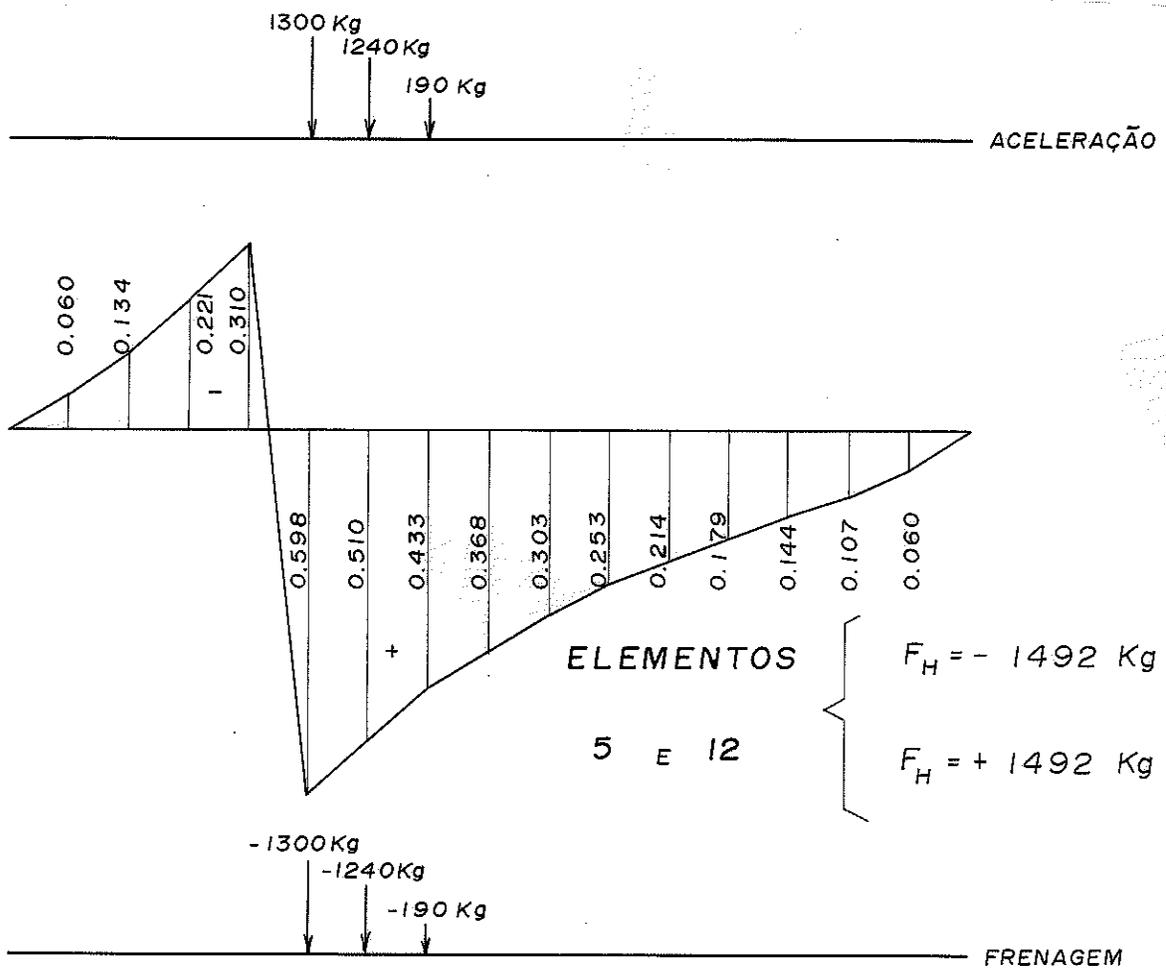
FIG. 35

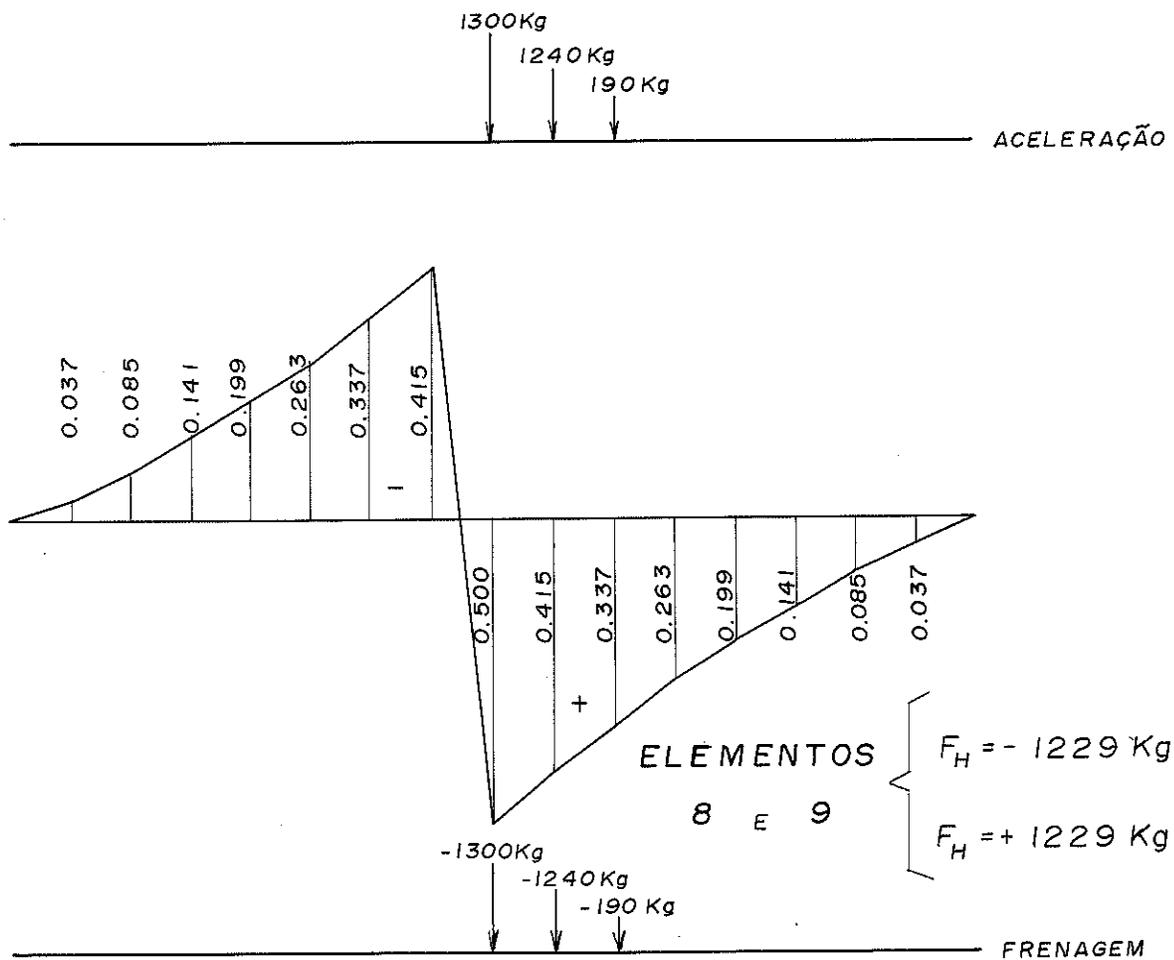
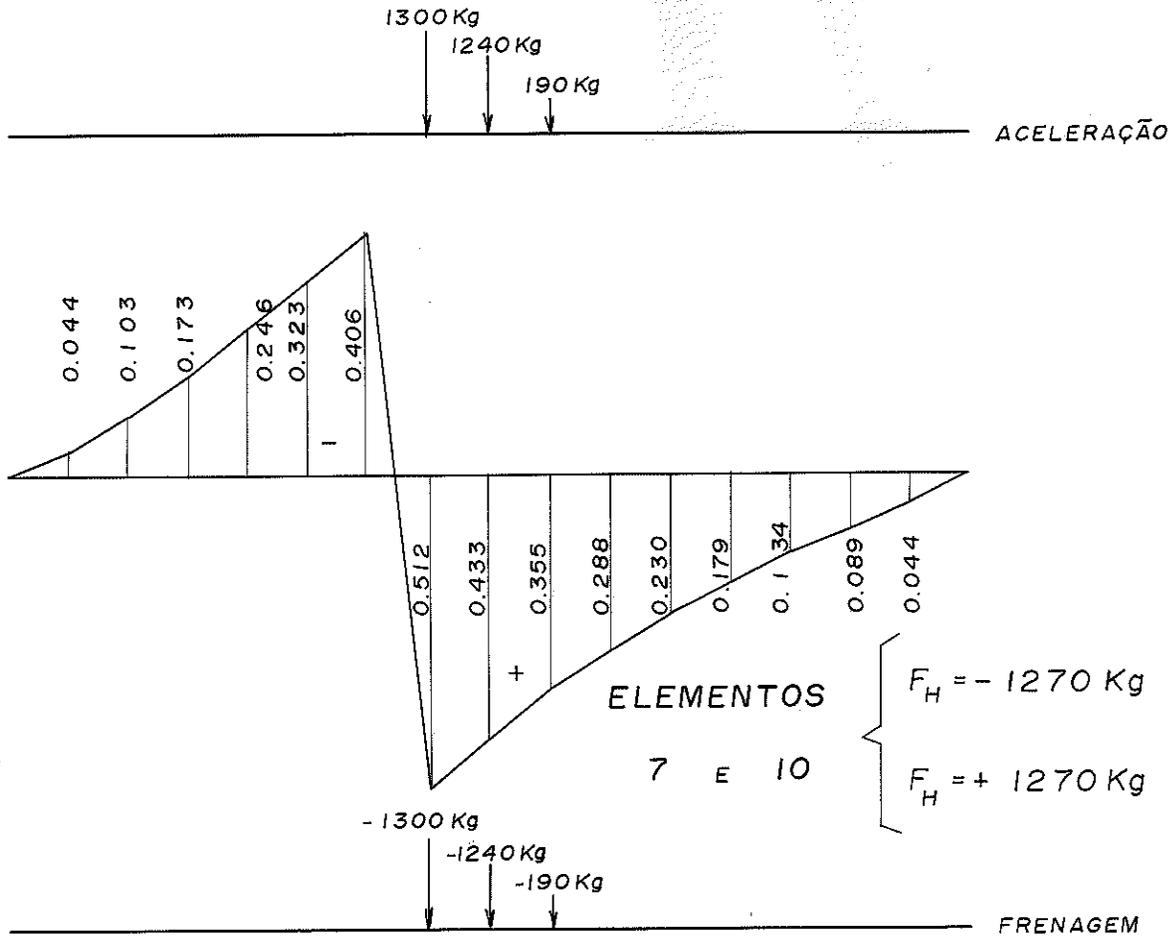
Será computado o efeito da força longitudinal acima, somente nos elementos do banzo inferior, pois pelo resultado obtido pelo programa "STRESS" verifica-se pouca influência nos demais elementos da viga treliçada.

Nas páginas seguintes estão as linhas de influência com os esforços máximos para os membros do banzo inferior da viga treliçada.









III.5,7 - Resumo dos esforços

Os esforços nos elementos da viga treliçada foram computados nas linhas de influência apresentadas anteriormente. Um resumo desses esforços está indicado na tabela III.2.

Os esforços máximos são indicados na tabela pelo número dos elementos, que na figura 33 estão inscritos em circunferência.

Fazendo uma comparação com os esforços conseguidos em pré-dimensionamento, página 37, o que pode ser notado, é que existem diferenças grandes nos elementos com esforços menores; já nos elementos com esforços maiores, as diferenças são pequenas. A explicação que pode ser dada é que em anteprojeto, a carga foi distribuída como constante em cada nó (hipótese simplificadora "A" da página 31), quando na realidade existe variação de nó para nó.

TABELA III. 2

NÚMERO DO MEMBRO	ESFORÇOS MÁXIMOS (Kg)	NÚMERO DO MEMBRO	ESFORÇOS MÁXIMOS (Kg)	NÚMERO DO MEMBRO	ESFORÇOS MÁXIMOS (Kg)
1 ou 16	- 4450 + 2711	21 ou 28	- 0 + 22730	41	- 0 + 15780
2 ou 15	- 7631 + 9888	22 ou 27	- 0 + 12328	50 ou 65	- 8326 + 14963
3 ou 14	- 13659 + 8421	23 ou 26	- 8454 + 2145	51 ou 64	- 12474 + 3107
4 ou 13	- 17362 + 1693	24 ou 25	- 17981 + 0	52 ou 63	- 18126 + 0
5 ou 12	- 12911 + 1492	33 ou 49	- 13206 + 7318	53 ou 62	- 23210 + 0
6 ou 11	- 4714 + 9576	34 ou 48	- 2828 + 12103	54 ou 61	- 28870 + 0
7 ou 10	- 1270 + 19098	35 ou 47	- 0 + 19820	55 ou 60	- 27073 + 0
8 ou 9	- 1270 + 25123	36 ou 46	- 0 + 26182	56 ou 59	- 24264 + 0
17 ou 32	- 9728 + 5327	37 ou 45	- 21096 + 0	57 ou 58	- 17629 + 2568
18 ou 31	- 8582 + 11903	38 ou 44	- 0 + 32565	R _{H1}	+ 356 - 2095
19 ou 30	- 738 + 17722	39 ou 43	- 0 + 28472	R _{V1}	+ 3778 - 23832
20 ou 29	- 0 + 22730	40 ou 42	- 0 + 22127	R _{H5}	+ 0 - 64430

III.5.8 - Dimensionamento dos elementos da viga treliçada

O dimensionamento das seções transversais dos elementos da viga treliçada, será feito através das tabelas a seguir. {¹⁰}

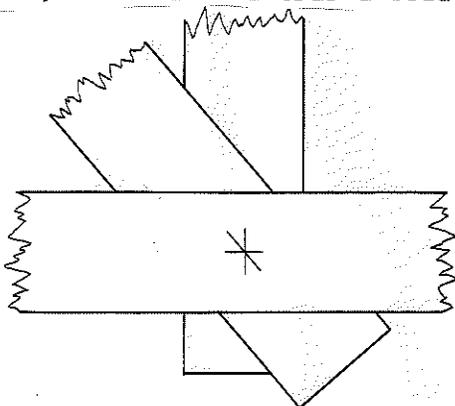
Para o dimensionamento, serão utilizadas peças de Peroba Rosa com seção 8 x 20cm, 8 x 22cm ou 8 x 24cm, devido ao problema das ligações, pois as mesmas serão feitas com a utilização de anéis de 6", 7" ou 8".

De acordo com estudos em andamento no LaMEM, a penetração dos anéis na madeira varia com o diâmetro dos mesmos, não devendo ultrapassar 50% da seção da peça. Tendo em vista esta observação, e se a penetração utilizada for de 2,0cm, com um anel de cada lado, há uma penetração de 4,0cm e a peças deve ter no mínimo 8,0cm em uma das dimensões. A outra dimensão deve ser definida pela solicitação no elemento e pelo diâmetro do anel.

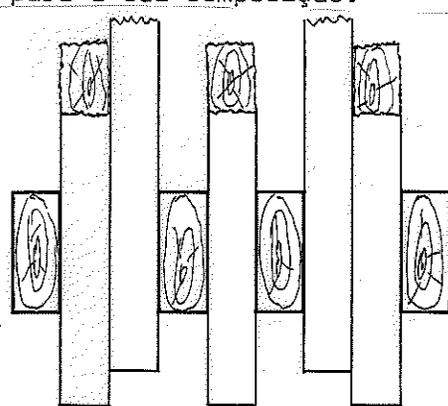
Na escolha das peças de madeira para composição dos elementos da treliça, o primeiro problema a resolver está na disposição dessas peças, face aos esforços a absorver e à perfeita realização dos nós.

Após cuidadoso exame, optou-se pela composição da treliça, utilizando-se duas peças no banzo superior, quatro peças no banzo inferior, três peças nas diagonais e duas peças nos montantes. Tomou-se ainda em consideração os esforços para se poder fixar a seção transversal das peças.

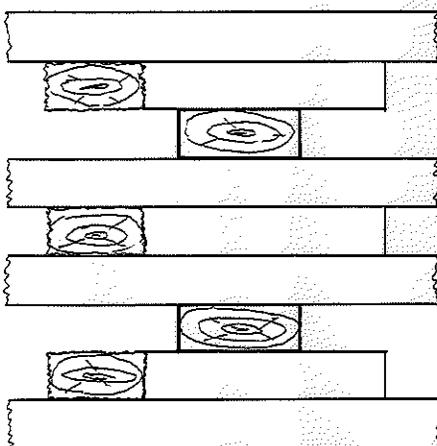
A seguir é apresentado um esboço de um nó genérico, do banzo inferior, a fim de ilustrar a solução adotada para a sua composição.



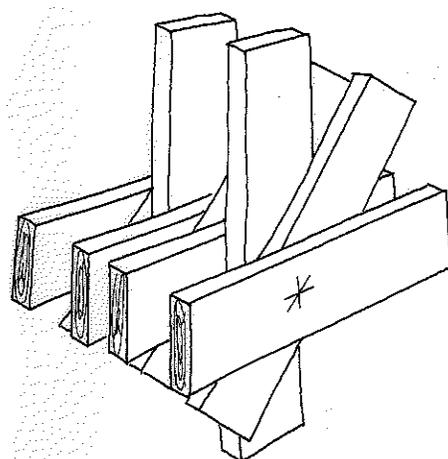
VISTA LATERAL



VISTA TRANSVERSAL ESQUERDA



VISTA SUPERIOR



PERSPECTIVA

Nº DO ELEMENTO	TIPO DE ESFORÇO	ESFORÇO MÁXIMO (Pt) (Kg)	SEÇÃO (cm)	ÁREA DA SEÇÃO (S) (cm ²)	MOMENTO DE INÉRCIA MÍNIMO (J) (cm ⁴)	COMPRIMENTO DE FLAMBAGEM (l _f) (cm)	ESBELTEZ $\lambda = \frac{l_f}{\sqrt{J/S}}$	TENSÃO ADMISSÍVEL ($\bar{\sigma}$) (Kg/cm ²)	ESFORÇO ADMISSÍVEL (\bar{P}) (Kg)	$\bar{P} > Pt$	OBSERVAÇÃO
1	COMPRESSÃO	4450	4(8x24)	768	36864	250	36	85	65280	OK	Os esforços admissíveis (\bar{P}) estão superiores aos de tração (Pt) porque são necessárias seções (8x24) para absorverem os esforços nas ligações.
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	1113	8x24	192	1024	250	108	20	3840	OK	
	TRAÇÃO	2711	4(8x24)	768	-	-	-	135	103680	OK	
2	COMPRESSÃO	7631	4(8x24)	768	36864	250	36	85	65280	OK	
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	1908	8x24	192	1024	250	108	20	3840	OK	
	TRAÇÃO	9888	4(8x24)	768	-	-	-	135	103680	OK	
3	COMPRESSÃO	13659	4(8x24)	168	36864	250	36	85	65280	OK	
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	3415	8x24	192	1024	250	108	20	3840	OK	
	TRAÇÃO	8421	4(8x24)	768	-	-	-	135	103680	OK	
4	COMPRESSÃO	17362	4(8x24)	768	36864	250	36	85	65280	OK	Terá 2 parafusos de 1/2", no meio do vão, para contraventamento de 1 peça.
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	4341	8x24	192	1024	125	54	69	13248	OK	
	TRAÇÃO	1693	4(8x24)	768	-	-	-	135	103680	OK	
5	COMPRESSÃO	12911	4(8x24)	768	36864	250	36	85	65280	OK	
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	3228	8x24	192	1024	250	108	20	3840	OK	
	TRAÇÃO	1492	4(8x24)	768	-	-	-	135	103680	OK	
6	COMPRESSÃO	4714	4(8x24)	768	36864	250	36	85	65280	OK	
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	1179	8x24	192	1024	250	108	20	3840	OK	
	TRAÇÃO	9576	4(8x24)	768	-	-	-	135	103680	OK	

B A N Z O

I N F E R I O R

Nº DO ELEMENTO	TIPO DE ESFORÇO	ESFORÇO MÁXIMO (Pt) (Kg)	SECÇÃO (cm)	ÁREA DA SECÇÃO (S) (cm²)	MOMENTO DE INÉRCIA MÍNIMO (J) (cm⁴)	COMPIMENTO DE FLAMBAGEM (lt) (cm)	ESBELTEZ $\lambda = \frac{lt}{\sqrt{J/S}}$	TENSÃO ADMISSÍVEL (σ') (Kg/cm²)	ESFORÇO ADMISSÍVEL (P) (Kg)	$\bar{P} > Pt$	OBSERVAÇÃO	
B I N F E R I O R	7	COMPRESSÃO	1270	4(8x24)	768	36864	250	36	85	65280	OK	Terá 2 parafusos de 1/2" no meio do vão, para contraventamento de 1 peça. (IDEM ANTERIOR)
		COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	318	8x24	192	1024	250	108	20	3840	OK	
	TRAÇÃO	19098	4(8x24)	768	-	-	-	135	103680	OK		
	COMPRESSÃO	1229	4(8x24)	768	36864	250	36	85	65280	OK		
8	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	308	8x24	192	1024	250	108	20	3840	OK		
	TRAÇÃO	25123	4(8x24)	768	-	-	-	135	103680	OK		
B A N Z O	17	COMPRESSÃO	9728	2(8x24)	384	18432	254	37	85	32640	OK	
		COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	4864	8x24	192	1024	127	55	67	12864	OK	
	TRAÇÃO	5327	2(8x24)	384	-	-	-	135	51840	OK		
	COMPRESSÃO	8582	2(8x24)	384	18432	254	37	85	32640	OK		
18	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	4291	8x24	192	1024	127	55	67	12864	OK		
	TRAÇÃO	11903	2(8x24)	384	-	-	-	135	51840	OK		
	COMPRESSÃO	738	2(8x24)	384	18432	282	41	84	32256	OK		
19	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	369	8x24	192	1024	282	122	16	3072	OK		
	TRAÇÃO	17722	2(8x24)	384	-	-	-	135	51840	OK		
	COMPRESSÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK		
20 ou 21	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	0	-	-	-	-	-	-	-	OK		
21	TRAÇÃO	22730	2(8x24)	384	-	-	-	135	51840	OK		

Nº DO ELEMENTO	TIPO DE ESFORÇO	ESFORÇO MÁXIMO (Pt) (Kg)	SEÇÃO (cm)	ÁREA DA SEÇÃO (S) (cm ²)	MOMENTO DE INÉRCIA MÍNIMO (J) (cm ⁴)	COMPRIMENTO DE FLAMBAGEM (l _f) (cm)	ESBELTEZ $\lambda = \frac{l_f}{\sqrt{J/S}}$	TENSÃO ADMISSÍVEL ($\bar{\sigma}$) (Kg/cm ²)	ESFORÇO ADMISSÍVEL (\bar{P}) (Kg)	$\bar{P} > Pt$	OBSERVAÇÃO
22	COMPRESSÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
	TRAÇÃO	12328	2(8x24)	384	-	-	-	135	51840	OK	
23	COMPRESSÃO	8454	2(8x24)	384	18432	254	37	85	32640	OK	Terá 2 parafusos de 1/2" no meio do vão, para contraventamento de 1 peça.
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	4227	8x24	192	1024	127	55	67	12864	OK	
	TRAÇÃO	2145	2(8x24)	384	-	-	-	135	51840	OK	
24	COMPRESSÃO	17981	2(8x24)	384	18432	254	37	85	32640	OK	(IDEM ANTERIOR)
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	8990	8x24	192	1024	127	55	67	12864	OK	
	TRAÇÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
33	COMPRESSÃO	13206	2(8x20)	320	10667	300	52	71	22720	OK	(IDEM ANTERIOR)
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	6603	8x20	160	853	150	65	55	8800	OK	
	TRAÇÃO	7318	2(8x20)	320	-	-	-	135	43200	OK	
34	COMPRESSÃO	2828	2(8x20)	320	10667	344	60	61	19520	OK	(IDEM ANTERIOR)
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	1414	8x20	160	853	172	75	41	6560	OK	
	TRAÇÃO	12103	2(8x20)	320	-	-	-	135	43200	OK	
35	COMPRESSÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
	TRAÇÃO	19820	2(8x22)	352	-	-	-	135	47520	OK	

B. SUPERIOR

MONTANTES

Nº DO ELEMENTO	TIPO DE ESFORÇO	ESFORÇO MÁXIMO (Pt) (Kg)	SECÇÃO (cm)	ÁREA DA SECÇÃO (S) (cm ²)	MOMENTO DE INÉRCIA MÍNIMO (J) (cm ⁴)	COMPRIMENTO DE FLAMBAGEM (lt) (cm)	ESBELTEZ $\lambda = \frac{lt}{\sqrt{J/S}}$	TENSÃO ADMISSÍVEL (σ) (Kg/cm ²)	ESFORÇO ADMISSÍVEL (P) (Kg)	$\bar{P} > Pt$	OBSERVAÇÃO
36	COMPRESSIONÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	Perd 2 parafusos de 1/2" a cada 1/5 do vão para contraventamento de 1 peça.
	COMPRESSIONÃO DE 1 PEÇA	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
	TRAÇÃO	26182	2(8x20)	320	-	-	-	135	43200	OK	
37	COMPRESSIONÃO	21096	2(8x24) 2(8x24)	768	45056	650	85	32	24576	OK	
	COMPRESSIONÃO DE 1 PEÇA	105548	8x24	192	1024	130	56	66	12672	OK	
	TRAÇÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
38	COMPRESSIONÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
	COMPRESSIONÃO DE 1 PEÇA	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
	TRAÇÃO	32565	2(8x22)	352	-	-	-	135	47520	OK	
39	COMPRESSIONÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
	COMPRESSIONÃO DE 1 PEÇA	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
	TRAÇÃO	28472	2(8x22)	352	-	-	-	135	47520	OK	
40	COMPRESSIONÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
	COMPRESSIONÃO DE 1 PEÇA	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
	TRAÇÃO	22127	2(8x22)	352	-	-	-	135	47520	OK	
41	COMPRESSIONÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
	COMPRESSIONÃO DE 1 PEÇA	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
	TRAÇÃO	15780	2(8x20)	320	-	-	-	135	43200	OK	

M O N T A N T E

Nº DO ELEMENTO	TIPO DE ESFORÇO	ESFORÇO MÁXIMO (Pt) (Kg)	SEÇÃO (cm)	ÁREA DA SEÇÃO (S) (cm ²)	MOMENTO DE INÉRCIA MÍNIMO (J) (cm ⁴)	COMPRIMENTO DE FLAMBAGEM (l _f) (cm)	ESBELTEZ $\lambda = \frac{l_f}{\sqrt{J/S}}$	TENSÃO ADMISSÍVEL ($\bar{\sigma}$) (Kg/cm ²)	ESFORÇO ADMISSÍVEL (\bar{P}) (Kg)	$\bar{P} > Pt$	OBSERVAÇÃO
50	COMPRESSÃO	8326	3(8x20)	480	16000	390	67	52	24960	OK	Terá 2 parafusos de 1/2" no meio do vão, para contraventamento de 1 peça.
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	2775	8x20	160	853	195	84	33	5280	OK	
	TRAÇÃO	14963	3(8x20)	480	-	-	-	135	64800	OK	
51	COMPRESSÃO	12474	3(8x20)	480	16000	425	74	42	20160	OK	(IDEM ANTERIOR)
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	4158	8x20	160	853	2125	92	27	4320	OK	
	TRAÇÃO	3107	3(8x20)	480	-	-	-	135	64800	OK	
52	COMPRESSÃO	18126	3(8x22)	528	21296	461	72	45	23760	OK	Terá 2 parafusos de 1/2" a cada 1/5 do vão, para contraventamento de 1 peça.
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	6042	8x22	176	938	154	66	53	9328	OK	
	TRAÇÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
53	COMPRESSÃO	23210	3(8x22) 4(6x16)	912	47024	576	80	36	32832	OK	Terá 2 parafusos de 1/2" a cada 1/4 do vão, para contraventamento de 1 peça.
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	7736	8x22	176	938	144	62	59	10384	OK	
	TRAÇÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
54	COMPRESSÃO	28870	3(8x22) 4(6x16)	912	47024	576	80	36	32832	OK	(IDEM ANTERIOR)
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	9623	8x22	176	938	144	62	59	10384	OK	
	TRAÇÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	
55	COMPRESSÃO	27073	3(8x22) 4(6x16)	912	47024	461	64	57	51984	OK	(IDEM ANTERIOR)
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	9024	8x22	176	938	115	50	73	12848	OK	
	TRAÇÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK	

D I A G N O S T I C O

Nº DO ELEMENTO	TIPO DE ESFORÇO	ESFORÇO MÁXIMO (Pt) (kg)	SECÇÃO (cm)	ÁREA DA SECÇÃO (S) (cm ²)	MOMENTO DE INÉRCIA MÍNIMO (J) (cm ⁴)	COMPRIMENTO DE FLAMBAGEM (lt) (cm)	ESBELTEZ $\lambda = \frac{lt}{\sqrt{S}}$	TENSÃO ADMISSÍVEL ($\bar{\sigma}$) (kg/cm ²)	ESFORÇO ADMISSÍVEL (\bar{P}) (kg)	$\bar{P} > Pt$	OBSERVAÇÃO	
56	COMPRESSÃO	24264	3(8x22)	528	21296	425	67	52	27456	OK	Terá 2 parafusos de 1/2" a cada 1/2 do vão, para contraventamento de 1 peça.	
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	8088	8x22	176	938	142	61	60	10560	OK		
	TRAÇÃO	0	-	-	-	-	-	-	-	OK		
	COMPRESSÃO	17629	3(8x20)	480	16000	390	67	52	24960	OK		
57	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA	5876	8x20	160	853	130	56	66	10560	OK		(IDEM ANTERIOR)
	TRAÇÃO	2568	3(8x20)	480	-	-	-	135	64800	OK		
	COMPRESSÃO											
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA											
	TRAÇÃO											
	COMPRESSÃO											
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA											
	TRAÇÃO											
	COMPRESSÃO											
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA											
	TRAÇÃO											
	COMPRESSÃO											
	COMPRESSÃO DE 1 PEÇA											
	TRAÇÃO											

III.6 - Dimensionamento das ligações

Os problemas que surgem nas ligações dos elementos da viga treliçada, para uma estrutura de porte elevado como a presente, destinada a ponte classe 36, são bastante sérios, pois os esforços a que as ligações estão submetidas são elevados.

Com esses esforços, apresentados na tabela III.2, dificilmente poderão ser realizadas as ligações convencionais, por parafusos.

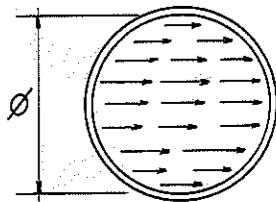
A vista disso, passou-se à pesquisa bibliográfica dos diversos tipos de ligação de peças de madeira {¹}, {¹²}, {⁸}, {⁹}, {¹⁶}, {¹⁹}.

Optou-se por um tipo muito favorável, bastante estudado no LaMEM, ou seja, a ligação por anéis metálicos.

III.6.1 - Roteiro de dimensionamento

Como a Norma Brasileira diz muito pouco a respeito de ligação por anel, o presente trabalho será baseado nos estudos desenvolvidos no LaMEM e na literatura {^{1.5-13}}, {^{8.343}}, {^{9.129}}.

Os anéis trabalham nas ligações, solicitando a madeira ao cisalhamento, na parte interior dos mesmos.



Para Peroba Rosa:

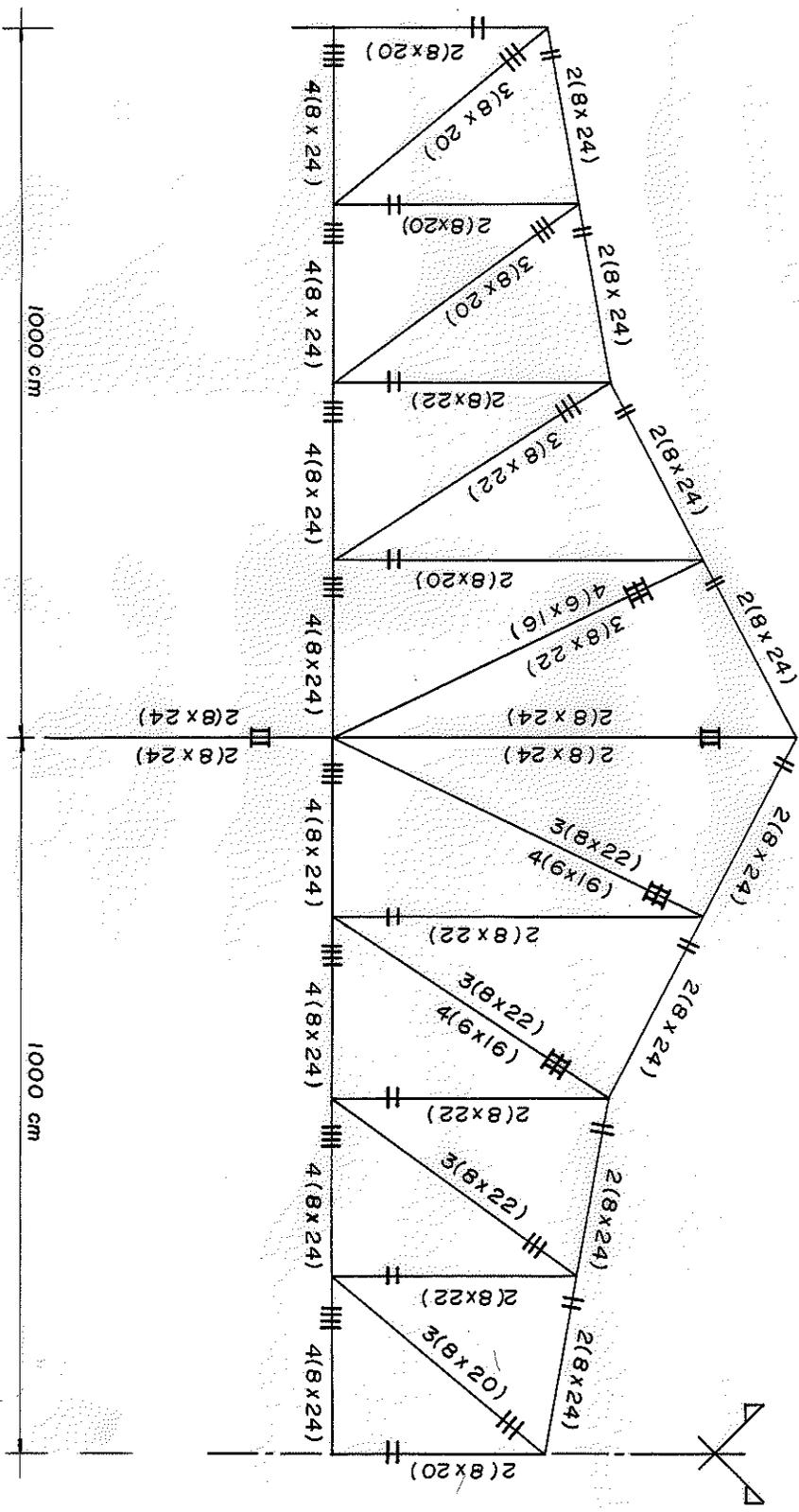
$$\bar{\tau}_l = 18,20 \text{ kg/cm}^2 \quad \{ 2.21 \}$$

A força admissível de cada anel é dada por:

$$\bar{F}_P = \bar{\tau}_l \cdot \frac{\pi \phi^2}{4}$$

Como exemplo, para os anéis de 6", 7" e 8", tem-se:

φ 6"	-	$\bar{F}_P = 3320 \text{ kg}$
φ 7"	-	$\bar{F}_P = 4519 \text{ kg}$
φ 8"	-	$\bar{F}_P = 5902 \text{ kg}$



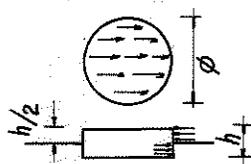
ESQUEMA DE 1/2 VIGA TRELIÇADA, CONTENDO O NÚMERO DE PEÇAS NECESSÁRIAS PARA CADA ELEMENTO.

ESCALA 1:100
UNIDADES (cm)

O dimensionamento consiste, basicamente, em se verificar quantos anéis são necessários para absorver os esforços das respectivas ligações.

A profundidade de penetração do anel pode ser obtida admitindo -se a não ocorrência de esmagamento da madeira, na direção paralela às fibras. O cálculo para se obter a altura "h" do anel, é feito através da expressão a seguir:

$$\bar{F}_P = \phi \cdot \frac{h}{2} \cdot \bar{\sigma}_c$$



Tendo o valor de \bar{F}_P , ϕ e $\bar{\sigma}_c$ da madeira, calcula-se a altura "h" do anel.

Quando os esforços transmitidos pelos anéis não ocorrem paralelamente às fibras, deve-se reduzir sua capacidade de carga. A literatura .. { 1.5-22 }, { 8.349 }, { 9.168 }, recomenda a redução entre 2/3 e 1/2 do valor de \bar{F}_P , isto é, para esforços normais às fibras $\bar{F}_n = \frac{2}{3}$ a $\frac{1}{2}$ (\bar{F}_P). Esta recomendação é baseada na consideração de diversos fatores, como por exemplo: material e dimensões do anel, classificação da madeira, etc...

Para esforços inclinados às fibras, de um ângulo "θ", usa-se a fórmula de Hankinson: { 10.52 }, { 2.20 }.

$$\bar{F}_\theta = \frac{\bar{F}_P \cdot \bar{F}_n}{\bar{F}_P \cdot \sin^2 \theta + \bar{F}_n \cdot \cos^2 \theta}$$

Nos estudos realizados no LaMEM, usou-se Peroba Rosa e anéis feitos de canos de ferro galvanizado, cortados de acordo com a altura "h" desejada para os mesmos. Nestas condições, e a vista dos ensaios realizados até o presente momento, chegou-se a uma redução de 50% de \bar{F}_P .

$$\bar{F}_n = \frac{\bar{F}_P}{2}$$

Substituindo este valor na fórmula de Hankinson, o esforço admissível dos anéis, quando atuam inclinados às fibras da madeira, torna-se:

$$\bar{F}_\theta = \frac{\bar{F}_P}{\sin^2 \theta + 1}$$

Com as informações disponíveis, pode-se dimensionar as ligações. Para maior facilidade no dimensionamento foi elaborada uma tabela bastante simplificadora que será comentada a seguir.

Na tabela, é feita uma verificação direta do esforço de um dos elementos da treliça. A caracterização dos elementos está indicada na primei

ra coluna à esquerda, e é : "diagonal", "montante" ou "banzo superior". Notar que o banzo inferior não aparece na tabela, porque ele é feito de peças contínuas, não sofrendo interrupção nos nós. Logo, ele não descarrega esforços para a ligação.

O cálculo é feito da seguinte maneira: verifica-se quantos anéis são necessários no elemento submetido a esforços paralelos às fibras (0°), e quantos anéis são necessários no elemento submetido a esforços inclinados (θ).

Quando é necessário mais de um anel na ligação de dois elementos da treliça, usam-se os anéis soldados em chapas metálicas, de maneira adotada no LaMEM em casos anteriores.

Na figura 36 é apresentado um esboço das idéias até aqui expostas.

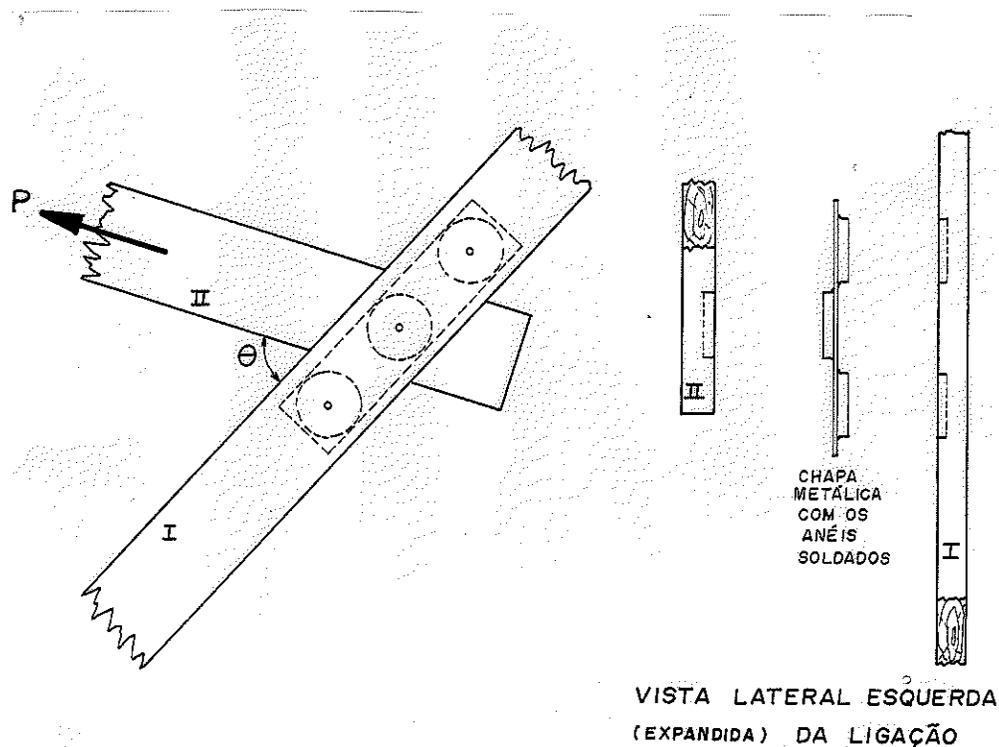


FIG. 36

No exemplo da figura 36, para que o esforço "P" seja absorvido pela peça II, com ângulo 0° em relação à direção de suas fibras, foi necessário um anel.

Para que o esforço "P" seja absorvido pela peça I com ângulo θ , em relação à direção de suas fibras, foram necessários dois anéis.

Para este cálculo, constam na tabela os seguintes dados:

- Esforço atuante: parcela do esforço do elemento, em uma peça de madeira que o compõe .
- Largura da peça: para a definição do diâmetro máximo no anel a ser utilizado.
- Ângulo (θ): indica a direção do esforço em relação à direção das fibras da madeira.

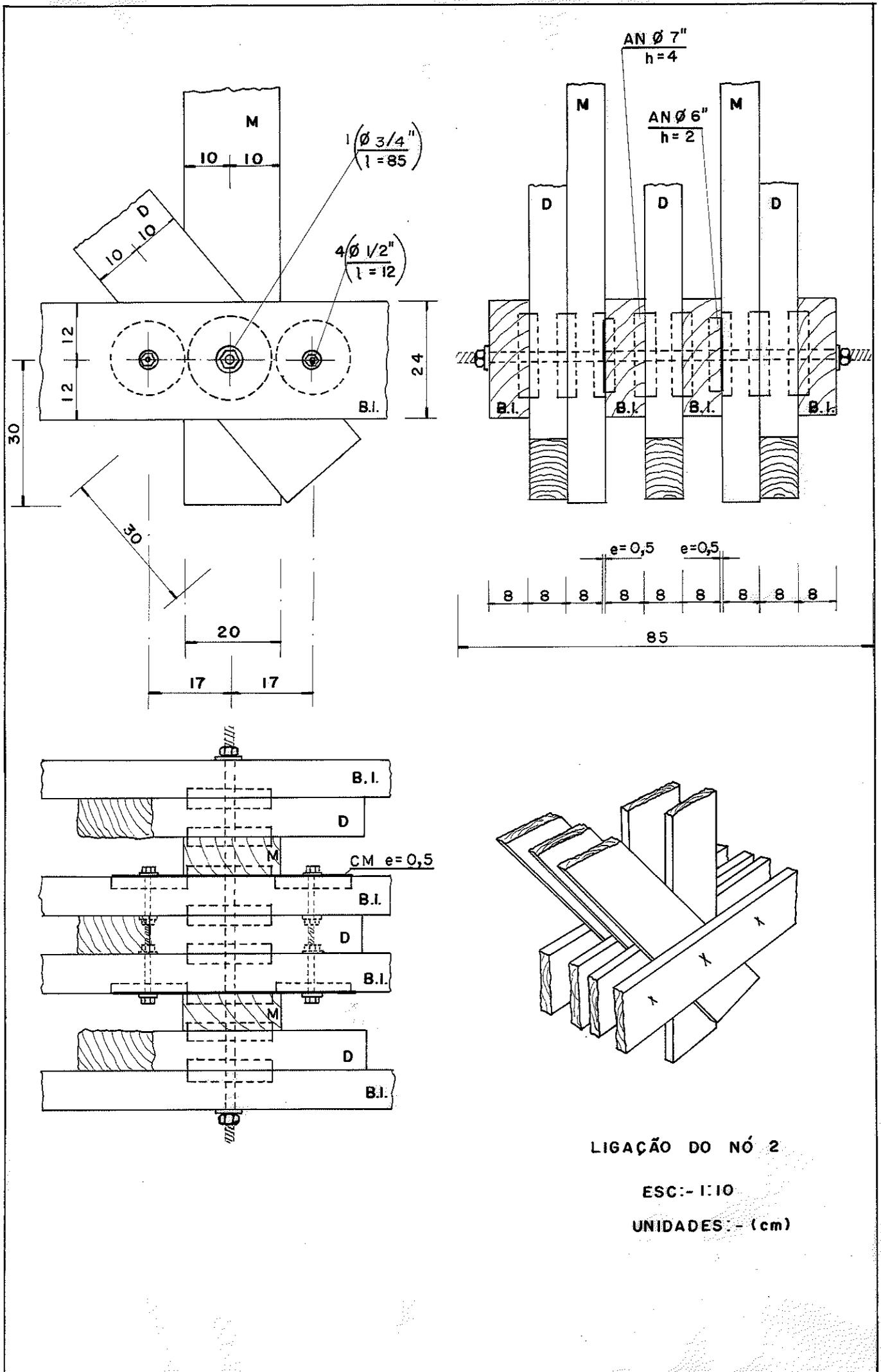
- Diâmetro do anel (ϕ): atendendo às condições anteriores.
- Esforço admissível (\bar{F}_p): esforço admissível atuando na direção paralela às fibras da madeira.
- Esforço admissível (\bar{F}_θ): esforço admissível formando ângulo (θ) com a direção das fibras da madeira.

Tendo o esforço admissível de um anel (\bar{F}_θ) e o esforço atuante na peça de madeira (P_t), verifica-se quantos anéis são necessários para suportar o esforço P_t .

- Número corrigido de anéis: verifica-se o número de anéis necessários para absorver o esforço da peça I, descarregando em II, e depois verifica-se o número de anéis necessários para absorver o esforço da peça II, descarregando em I (figura 36). Com esta verificação pode ser constatada a necessidade de dois anéis para um caso e um anel para o outro caso. Adota-se o maior número de anéis.

São apresentadas a seguir as tabelas anteriormente descritas, acompanhadas pelo desenho completo do nó estudado em cada uma delas.

O cálculo do nó 1, indicou a conveniência do uso de parafusos, dispensando o uso de anéis, e é apresentado imediatamente após as tabelas.



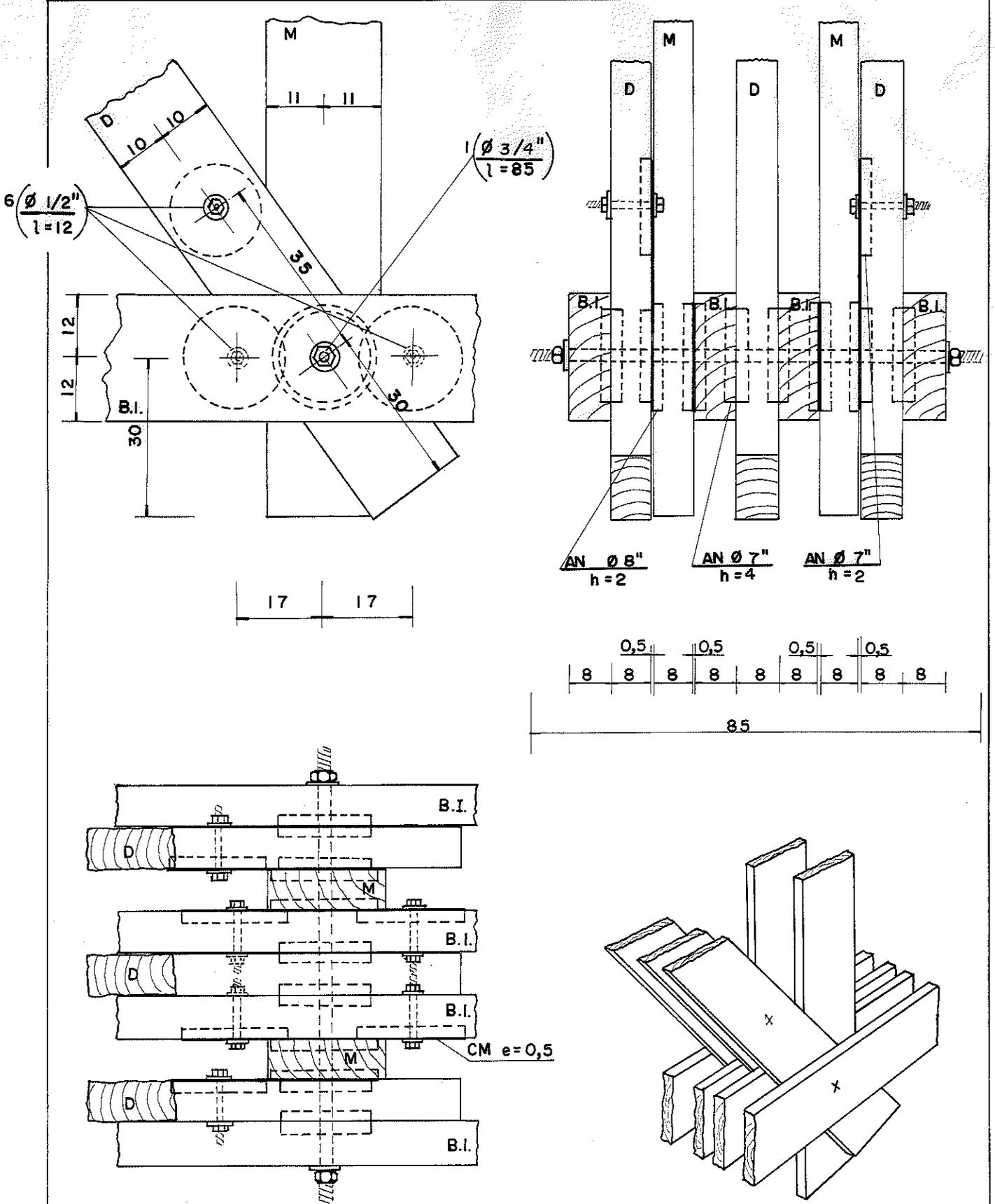
LIGAÇÃO DO NÓ 2

ESC:- 1:10

UNIDADES:- (cm)

DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES, COM ANÉIS

Nº DO NÓ		ESFORÇO ATUANTE (Pt) (Kg)	LARGURA DA PEÇA DE MADEIRA (cm)	θ	A.N. ϕ (cm)	ESFORÇO ADMISSÍVEL DO AN. PARALELO ÀS FIBRAS (Fp) (Kg)	ESFORÇO ADMISSÍVEL INCLINADO ÀS FIBRAS $F_{\theta} = \frac{F_p}{\sin \theta + 1}$	Nº DE AN.	Nº CORRIGIDO DE AN.
3									
D I A G O N A L	ENTRE (D) e (M)	PARA (M)	2079	22	36° 8"	5902	4386	1	1
		PARA (D)	2079	20	0° 7"	4519	4519	1	2
	ENTRE (D) e (BS)ou(BI)	PARA (BS)ou(BI)	2079	24	54° 7"	4519	2731	1	1
		PARA (D)	2079	20	0° 7"	4519	4519	1	1
M O N T A N T E	ENTRE (M) e (BS)ou(BI)	PARA (BS)ou(BI)	4955	24	90° 8"	5902	2951	2	2
		PARA (M)	4955	22	0° 8"	5902	5902	1	1
	ENTRE (M) e (D)	PARA (D)	4955	20	36° 7"	4519	3360	2	2
		PARA (M)	4955	22	0° 8"	5902	5902	1	1
B A N Z O S U P E R I O R	ENTRE (BSE) e (M)	PARA (M)							
		PARA (BSE)							
	ENTRE (BSE) e (D)	PARA (D)							
		PARA (BSE)							
	ENTRE (BSD) e (M)	PARA (M)							
		PARA (BSD)							
	ENTRE (BSD) e (D)	PARA (D)							
		PARA (BSD)							



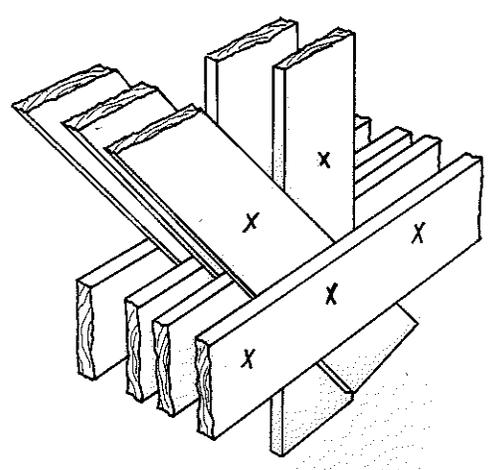
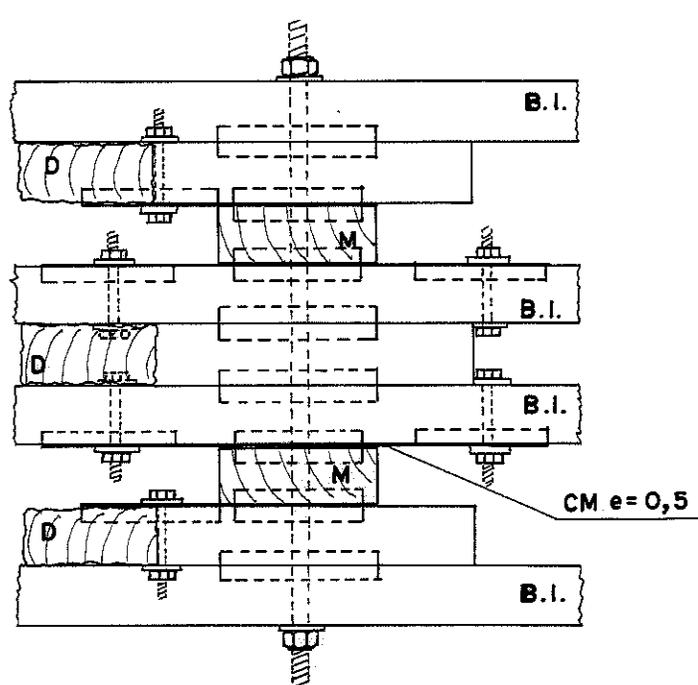
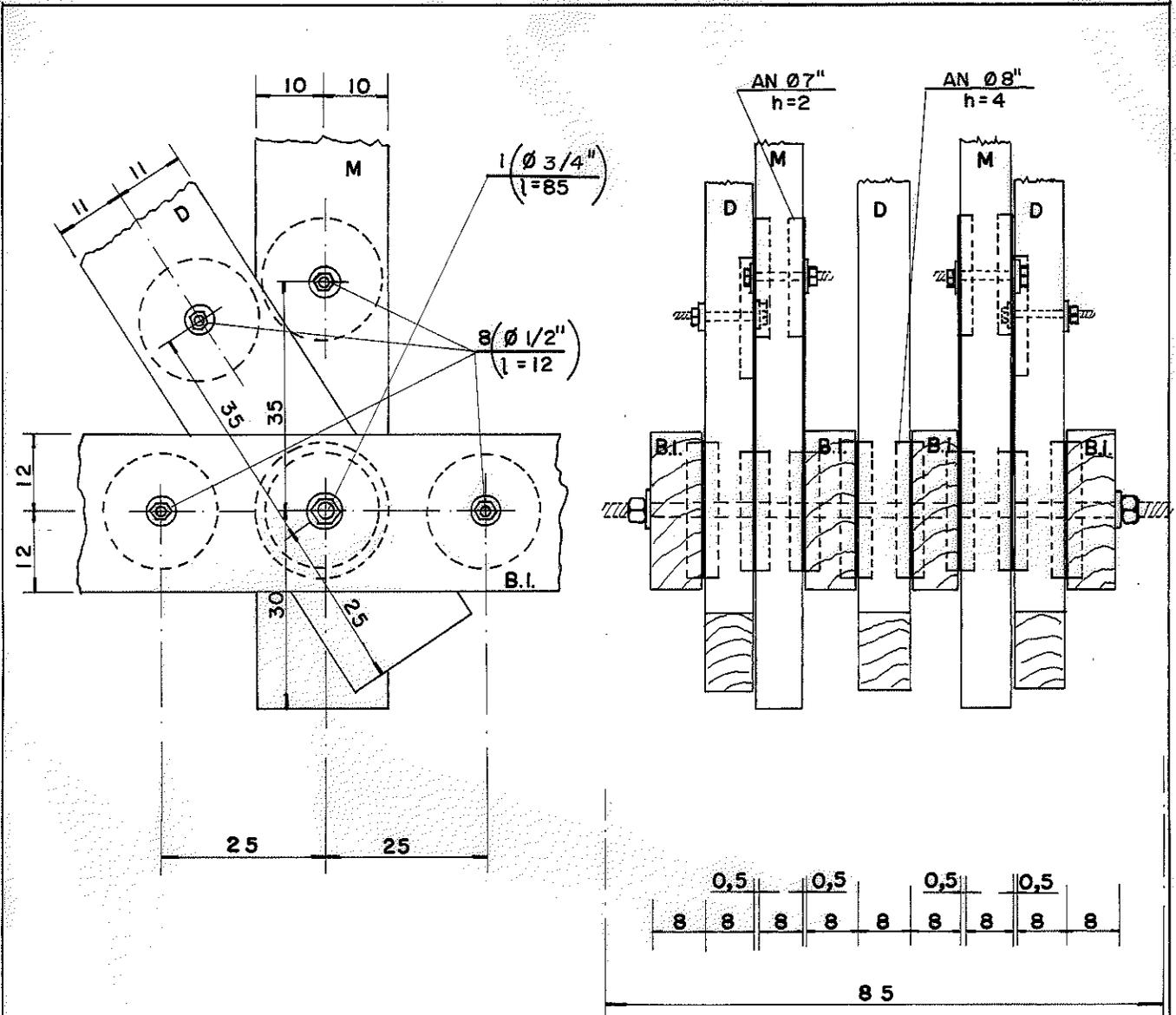
LIGAÇÃO DO NO 3

ESC:- 1:10

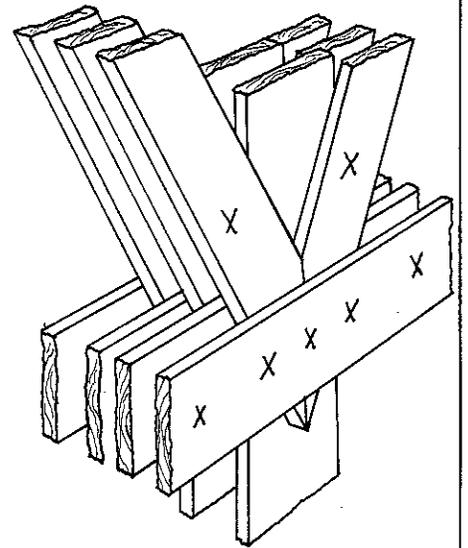
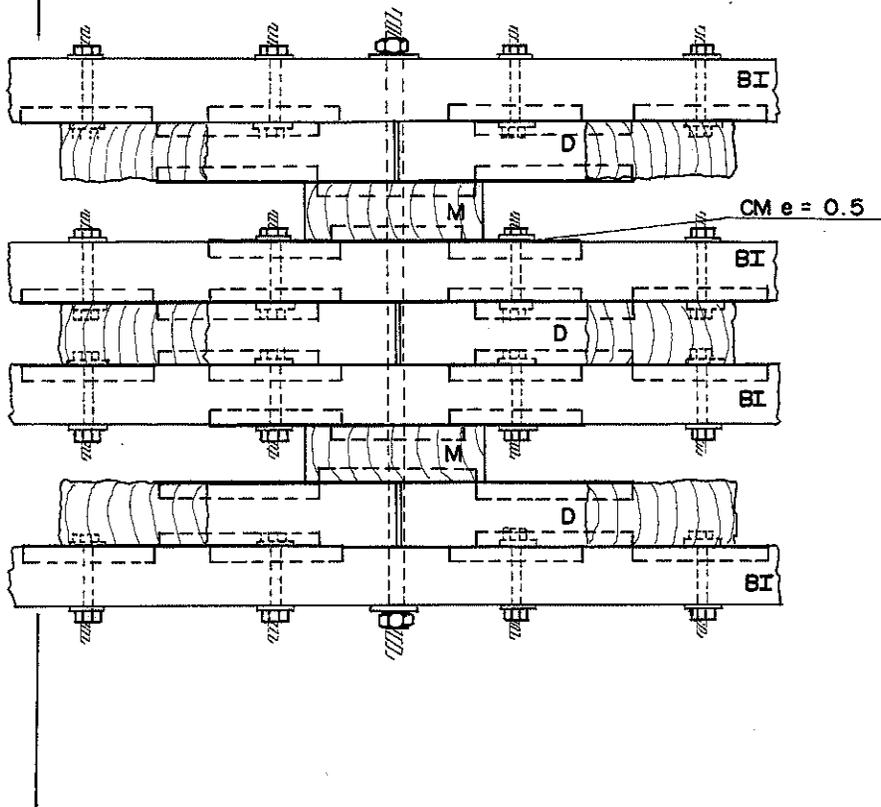
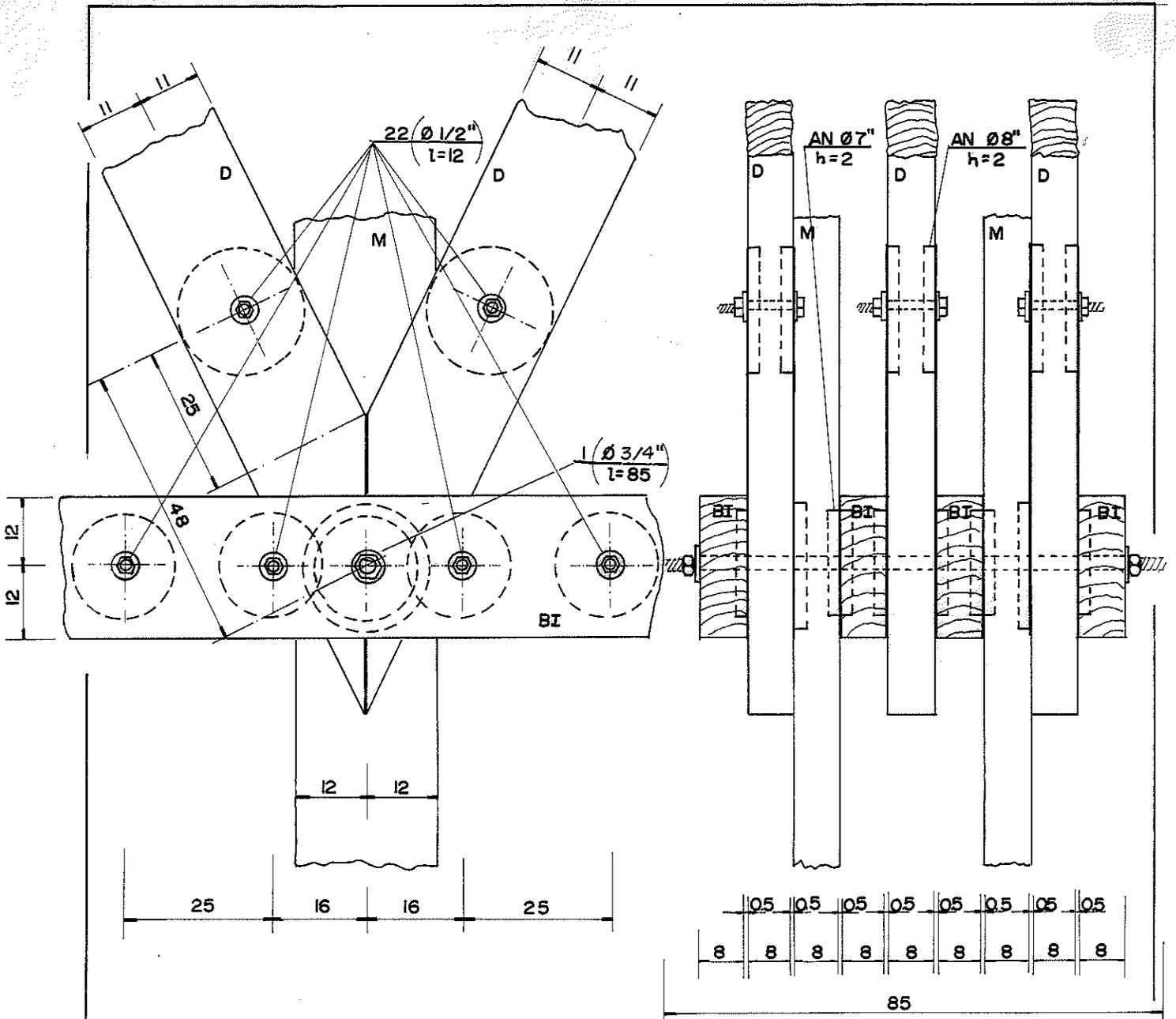
UNIDADES:- (cm)

DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES, COM ANÉIS

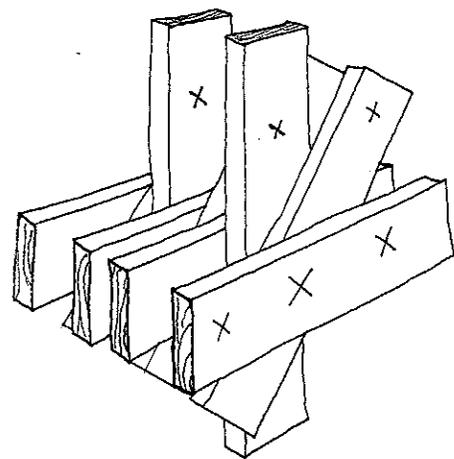
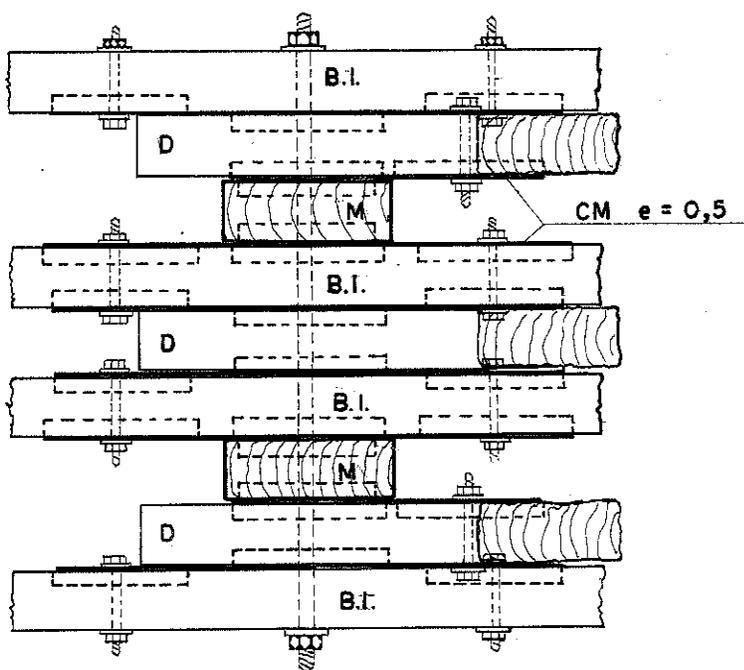
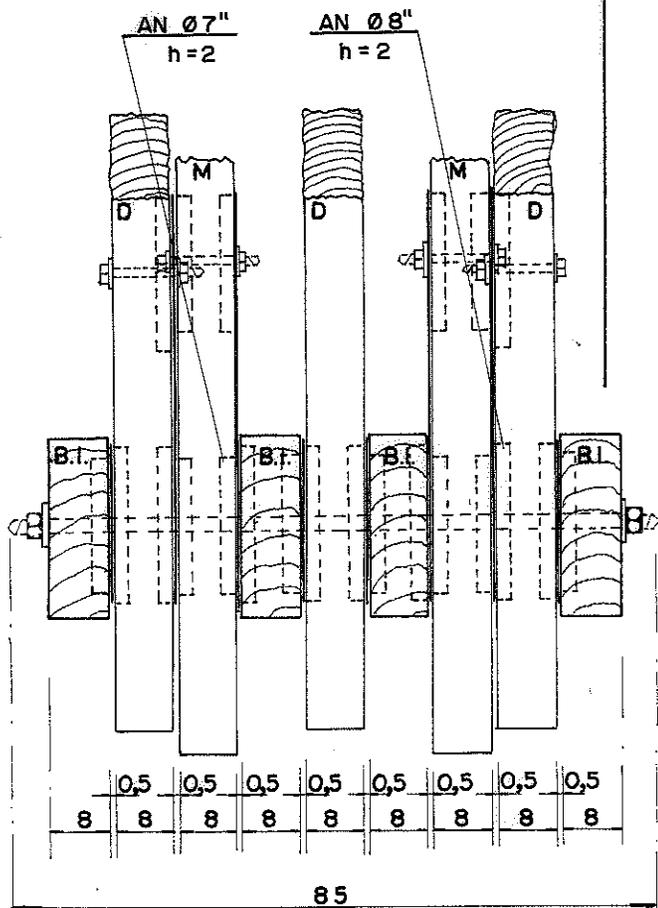
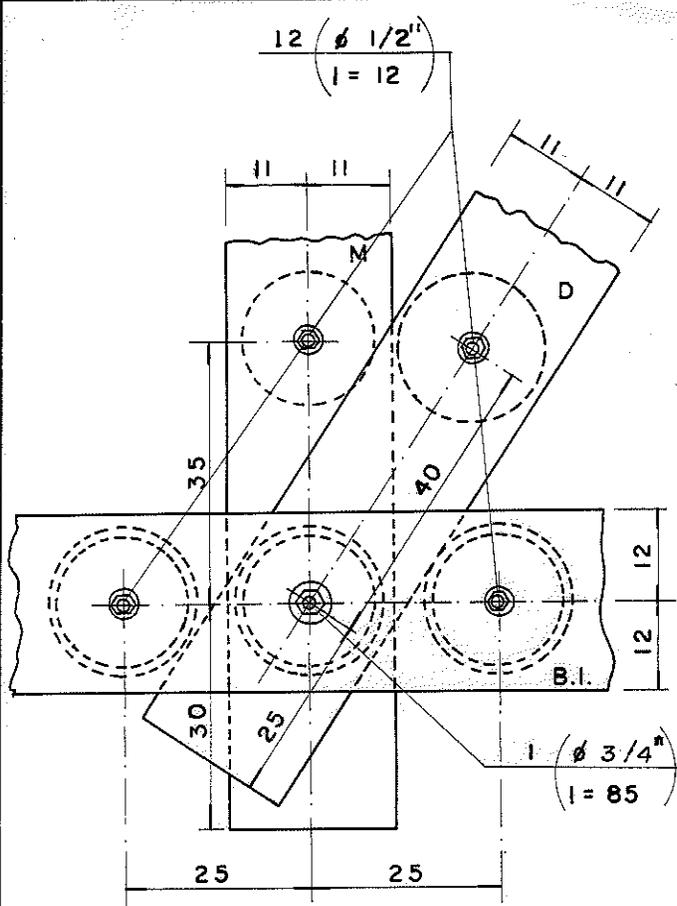
Nº DO N.º		ESFORÇO ATUANTE (Pt) (Kg)	LARGURA DA PEÇA DE MADEIRA (cm)	θ	A.N. ϕ (cm)	ESFORÇO ADMISSÍVEL DO AN. PARALELO ÀS FIBRAS (Fp) (Kg)	ESFORÇO ADMISSÍVEL INCLINADO ÀS FIBRAS $F_{\theta} = \frac{F_p}{\sin^2 \theta + 1}$	N.º DE AN.	N.º CORRIGIDO DE AN.
4									
D I A G O N A L	ENTRE (D) e (M)	PARA (M)	3021	20	33° 7"	4519	3485	1	2
		PARA (D)	3021	22	0° 7"	4519	4519	1	2
	ENTRE (D) e (BS)ou(BI)	PARA (BS)ou(BI)	3021	24	57° 8"	5902	3465	1	1
		PARA (D)	3021	22	0° 8"	5902	5902	1	1
M O N T A N T E	ENTRE (M) e (BS)ou(BI)	PARA (BS)ou(BI)	6546	24	90° 7"	4519	2260	3	3
		PARA (M)	6546	20	0° 7"	4519	4519	2	2
	ENTRE (M) e (D)	PARA (D)	6546	22	33° 7"	4519	3485	2	2
		PARA (M)	6546	20	0° 7"	4519	4519	2	2
B A N Z O S U P E R I O R	ENTRE (BSE) e (M)	PARA (M)							
		PARA (BSE)							
	ENTRE (BSE) e (D)	PARA (D)							
		PARA (BSE)							
	ENTRE (BSD) e (M)	PARA (M)							
		PARA (BSD)							
	ENTRE (BSD) e (D)	PARA (D)							
		PARA (BSD)							



LIGAÇÃO DO NÓ 4
 ESC:- 1:10
 UNIDADES: (cm)



LIGAÇÃO DO NÓ 5
 ESC. : 1:10
 UNIDADES : (cm)

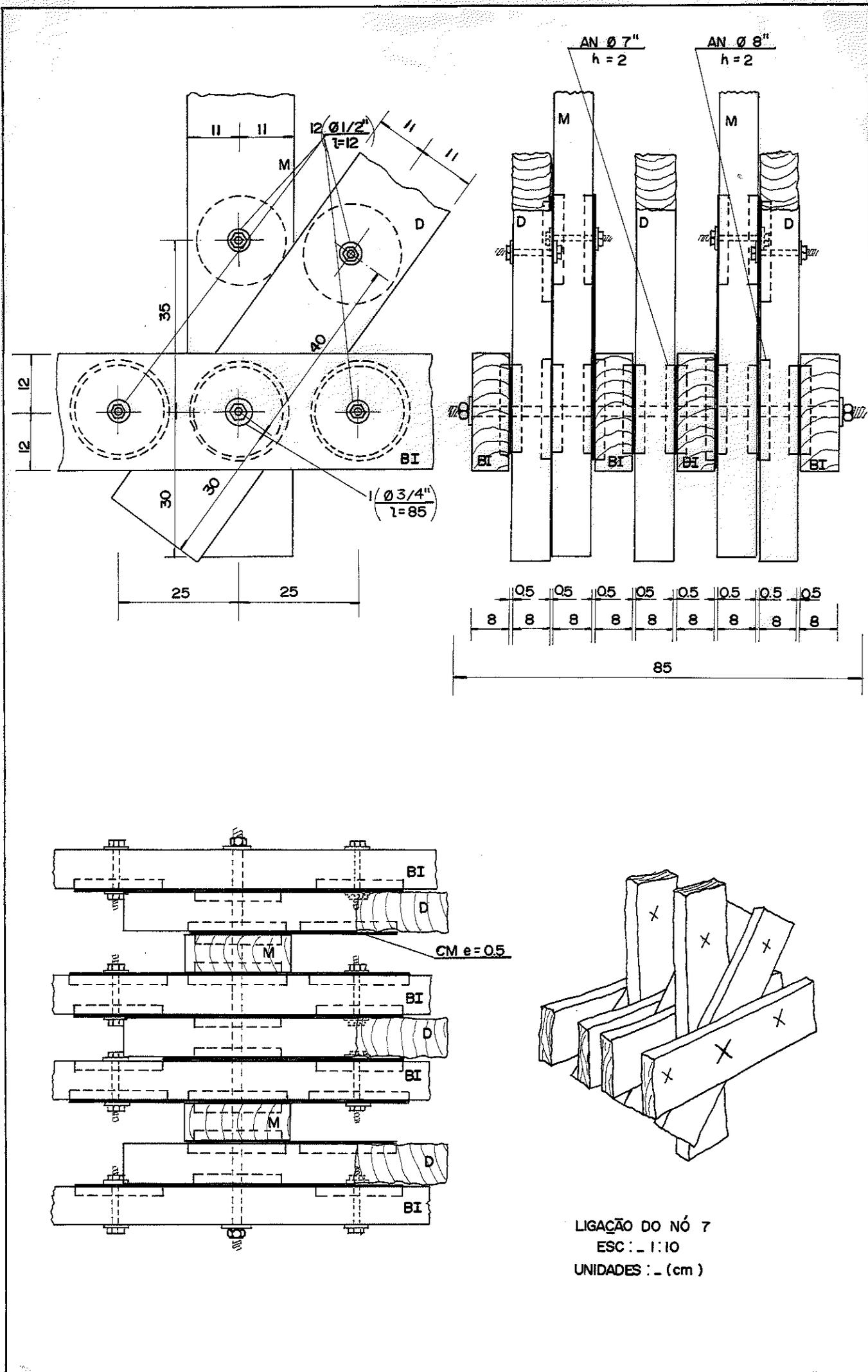


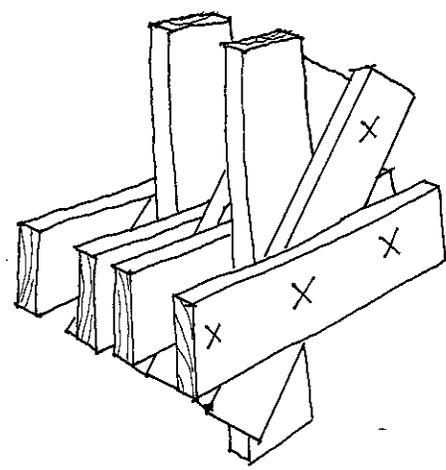
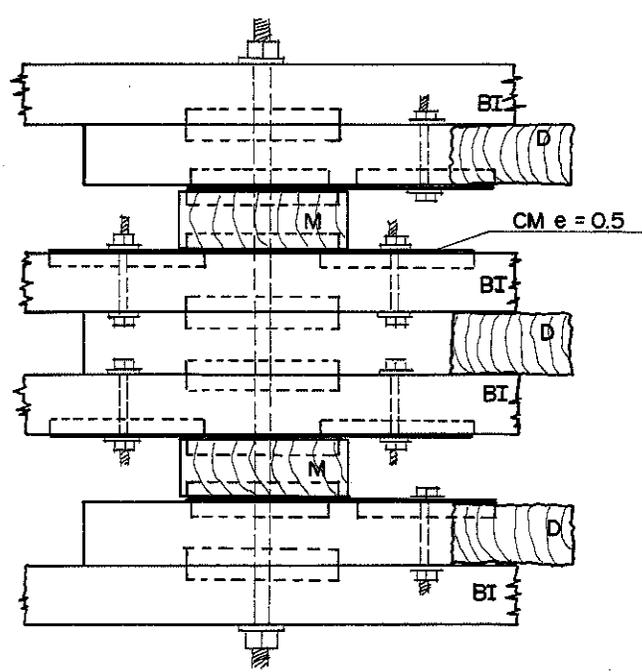
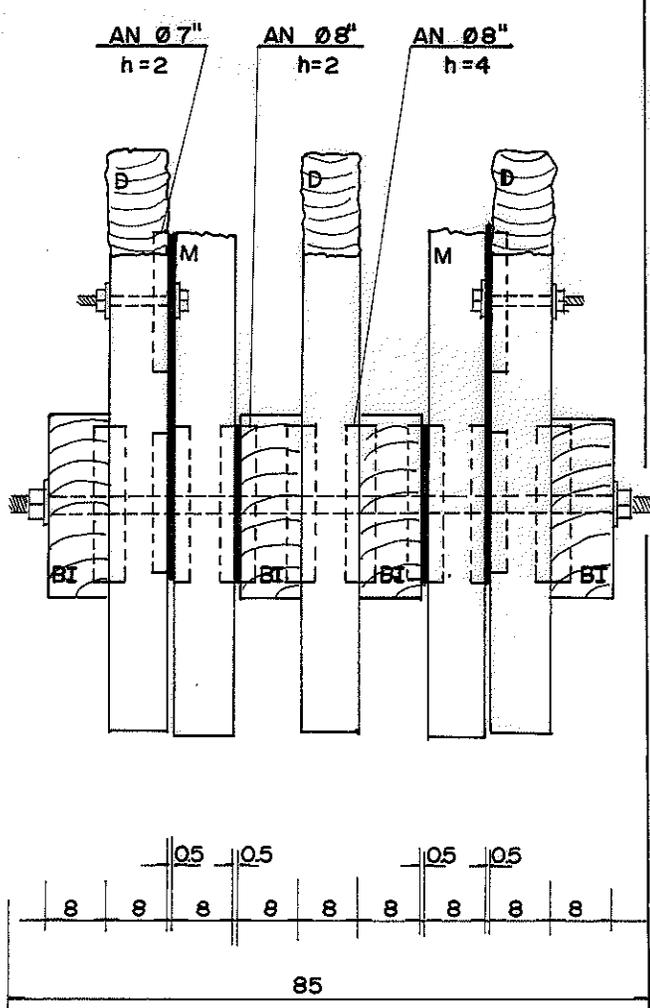
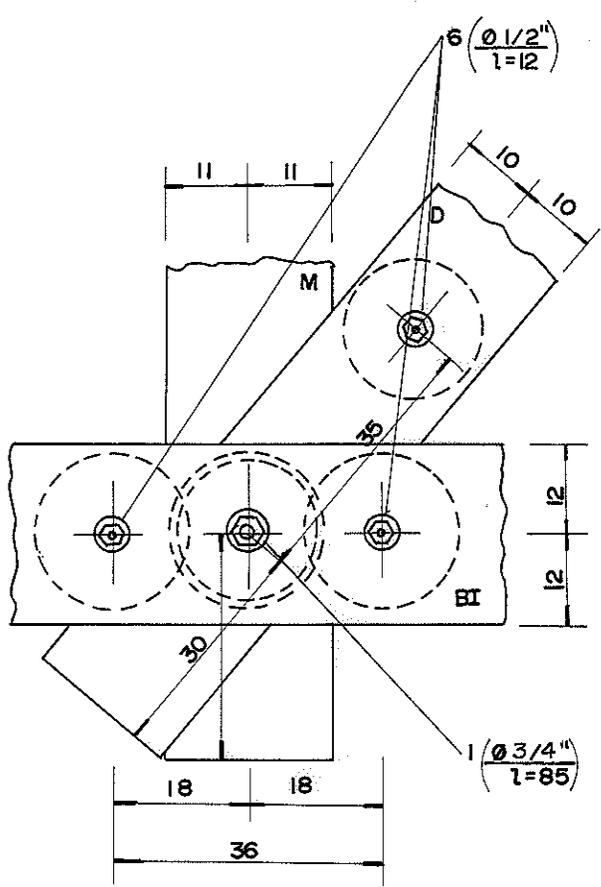
PERSPECTIVA

LIGAÇÃO DO N.º 6

ESCALA:- 1:10

UNIDADE : (cm)

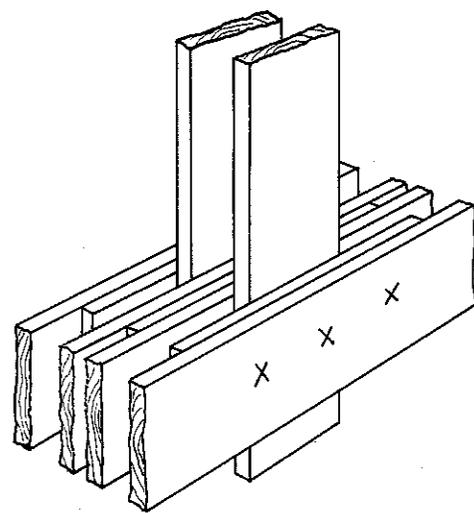
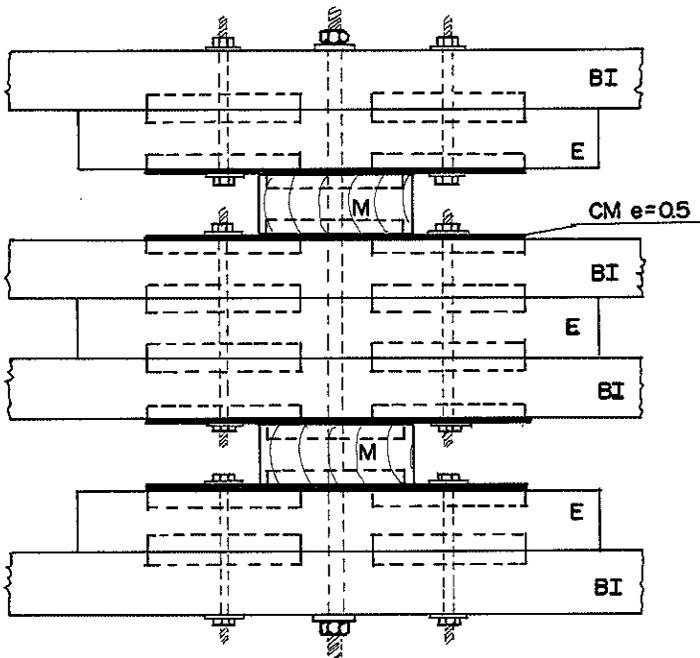
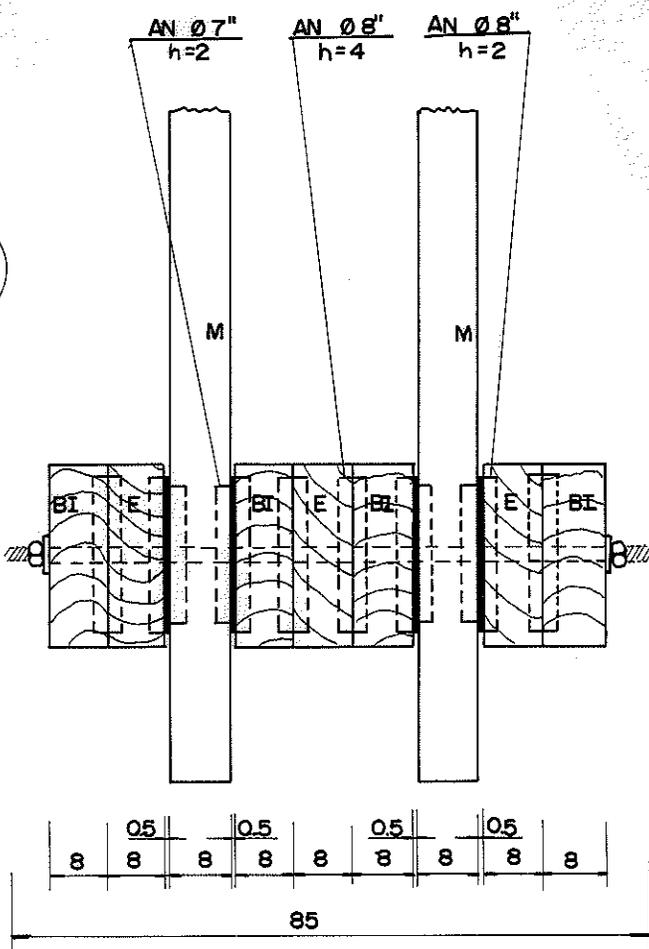
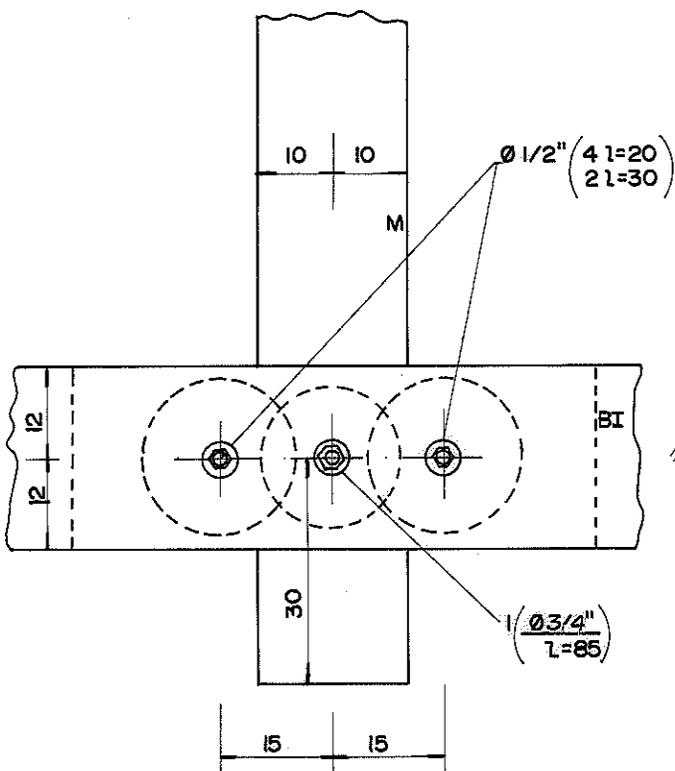




LIGAÇÃO DO NÓ 8
 ESC. : - 1:10
 UNIDADES : - (cm)

DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES, COM ANÉIS

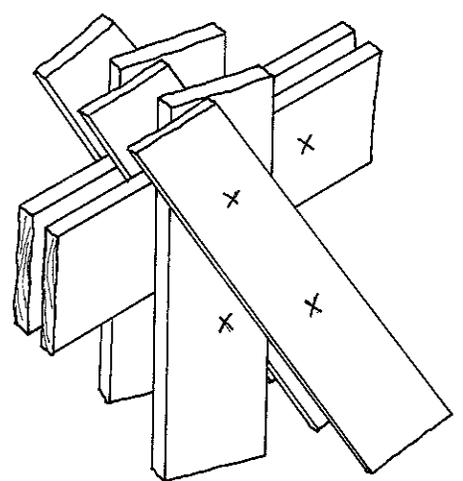
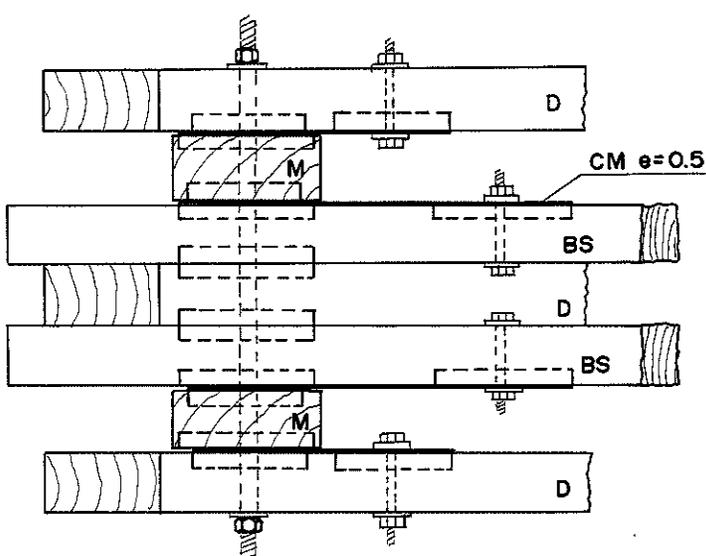
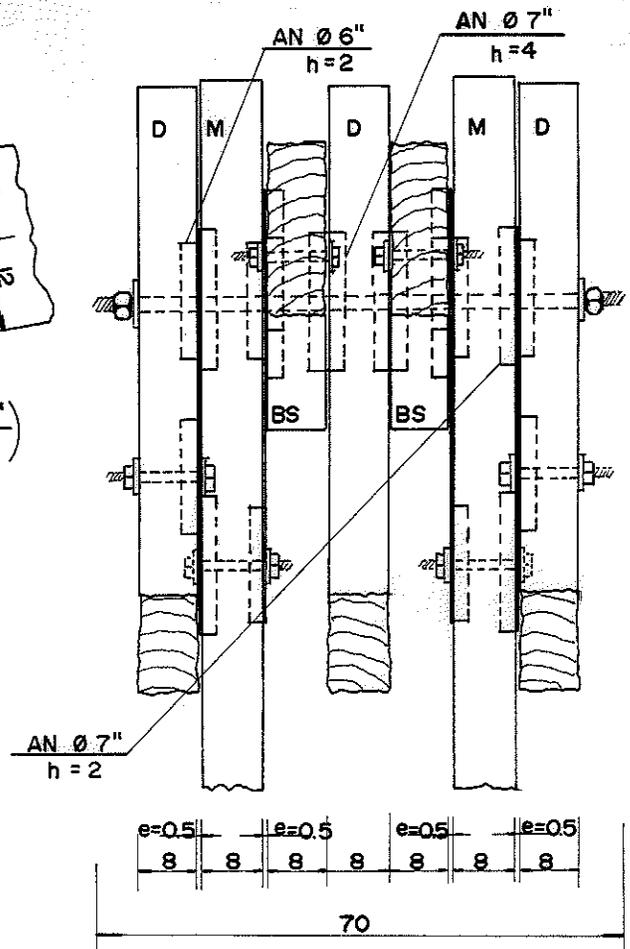
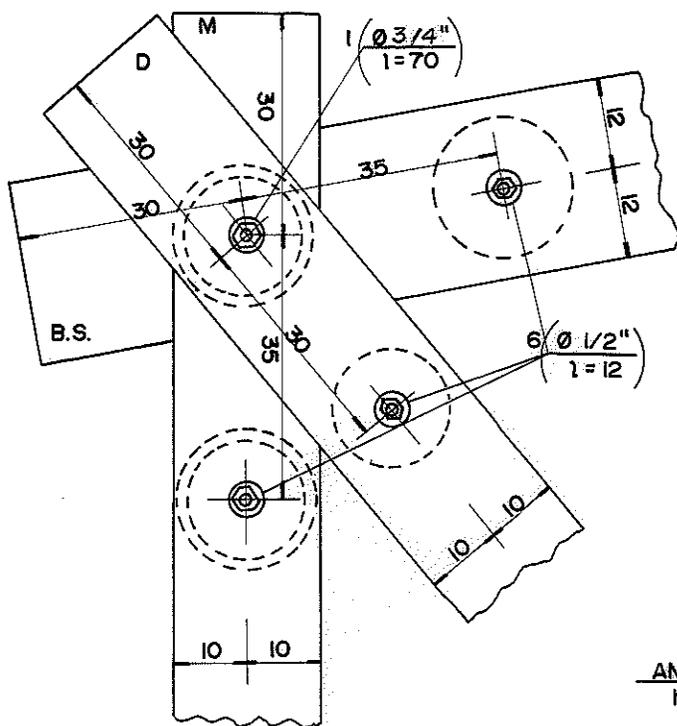
Nº DO NÓ		ESFORÇO ATUANTE (Pt) (Kg)	LARGURA DA PEÇA DE MADEIRA (cm)	θ	AN. ϕ (cm)	ESFORÇO ADMISSÍVEL DO AN. PARALELO AS FIBRAS (Fp) (Kg)	ESFORÇO ADMISSÍVEL INCLINADO AS FIBRAS $F_{\theta} = \frac{F_p}{\sin \theta + 1}$	Nº DE AN.	Nº CORRIGIDO DO DE AN.	
9										
D I A G O N A L	ENTRE (D) e (M)	PARA (M)								
		PARA (D)								
	ENTRE (D) e (BS)ou(BI)	PARA (BS)ou(BI)								
		PARA (D)								
M O N T A N T E	ENTRE (M) e (E) ou (BS)ou(BI)	PARA (E) ou (BS)ou(BI)	3945	24	90°	8"	5902	2951	2	2
		PARA (M)	3945	20	0°	7"	4519	4519	1	1
	ENTRE (BI) e (E)	PARA (E)	3945	24	90°	8"	5902	2951	2	2
		PARA (BI)	3945	24	90°	8"	5902	2951	2	2
B A N Z O S U P E R I O R	ENTRE (BSE) e (M)	PARA (M)								
		PARA (BSE)								
	ENTRE (BSE) e (D)	PARA (D)								
		PARA (BSE)								
	ENTRE (BSD) e (M)	PARA (M)								
		PARA (BSD)								
ENTRE (BSD) e (D)	PARA (D)									
	PARA (BSD)									



LIGAÇÃO DO NÓ 9
 ESC. : 1:10
 UNIDADES : (cm)

DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES, COM ANÉIS

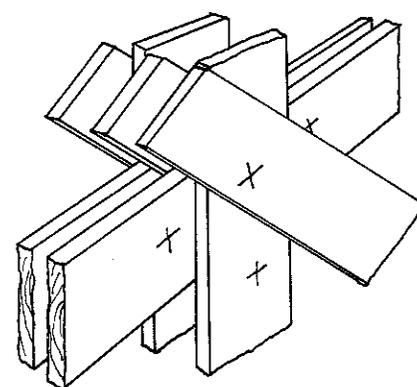
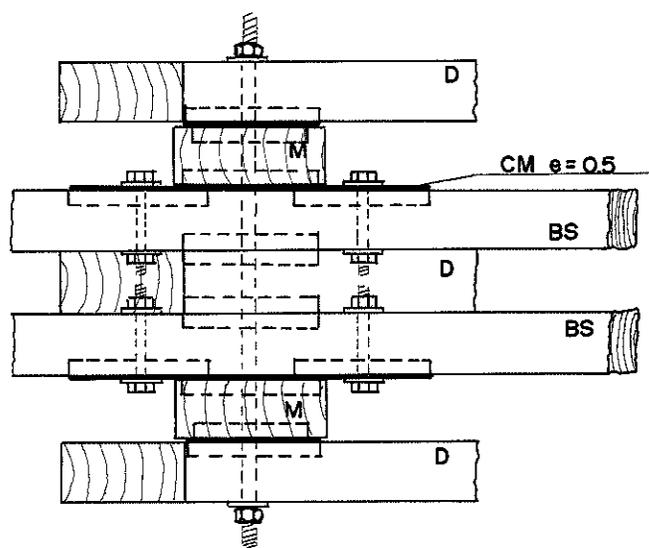
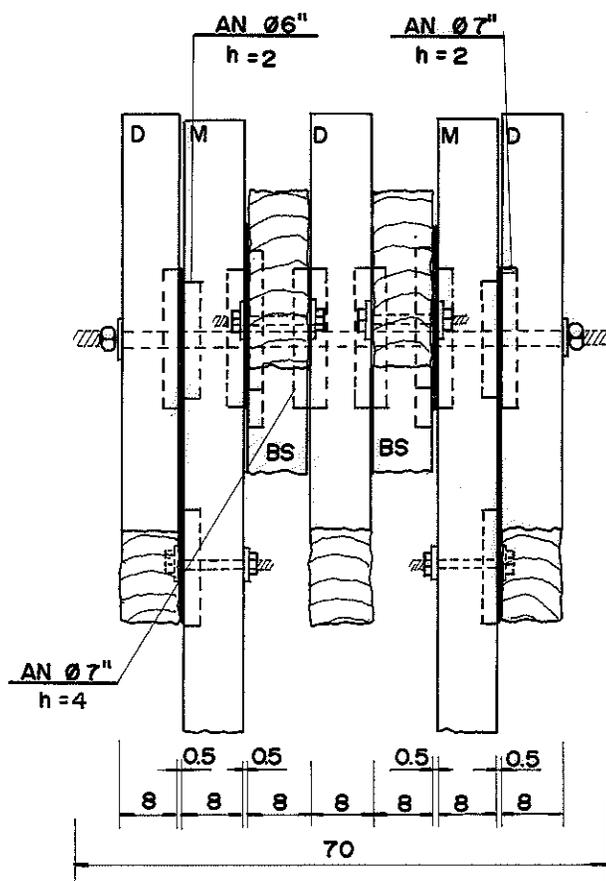
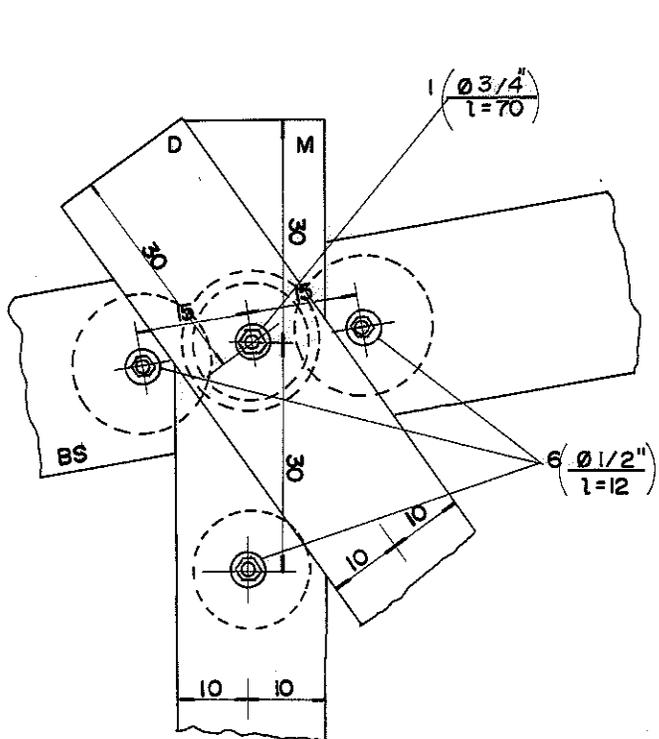
Nº DO NÓ		ESFORÇO ATUANTE (Pt) (Kg)	LARGURA DA PEÇA DE MADEIRA (cm)	θ	AN. Ø (cm)	ESFORÇO ADMISSÍVEL DO AN. PARALELO ÀS FIBRAS (Fp) (Kg)	ESFORÇO ADMISSÍVEL INCLINADO ÀS FIBRAS $F_p = \frac{F_p}{\sin^2 \theta + 1}$	Nº DE AN.	Nº CORRIGIDO DO DE AN.	
18										
D I A G O N A L	ENTRE (D) e (M)	PARA (M)	4988	20	40°	7"	4519	3198	2	2
		PARA (D)	4988	20	0°	6"	3320	3320	2	2
	ENTRE (D) e (BS)ou(BI)	PARA (BS)ou(BI)	2494	24	60°	7"	4519	2582	1	1
		PARA (D)	2494	20	0°	7"	4519	4519	1	1
M O N T A N T E	ENTRE (M) e (BS)ou(BI)	PARA (BS)ou(BI)	3302	24	80°	7"	4519	2294	2	2
		PARA (M)	3302	20	0°	6"	3320	3320	1	2
	ENTRE (M) e (D)	PARA (D)	3302	20	40°	6"	3320	2349	2	2
		PARA (M)	3302	20	0°	7"	4519	4519	1	2
B A N Z O S U P E R I O R	ENTRE (BSE) e (M)	PARA (M)								
		PARA (BSE)								
	ENTRE (BSE) e (D)	PARA (D)								
		PARA (BSE)								
	ENTRE (BSD) e (M)	PARA (M)	2432	20	80°	6"	3320	1685	2	2
		PARA (BSD)	2432	24	0°	7"	4519	4519	1	2
	ENTRE (BSD) e (D)	PARA (D)	2432	20	60°	7"	4519	2382	1	1
		PARA (BSD)	2432	24	0°	7"	4519	4519	1	1



LIGAÇÃO DO NÓ 18
 ESC.: - 1:10
 UNIDADES: - (cm)

DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES, COM ANÉIS

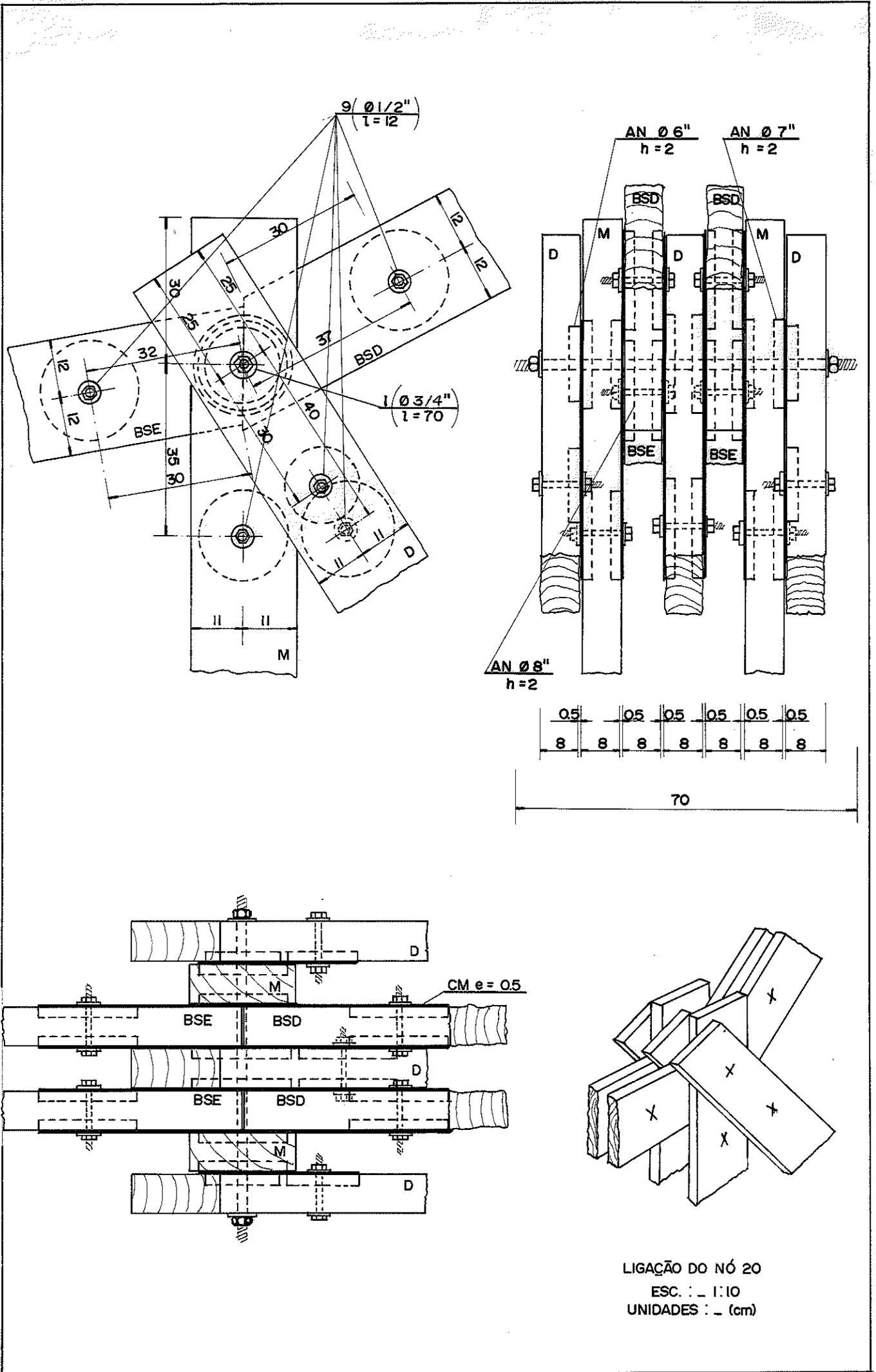
Nº DO N.º		ESFORÇO ATUANTE (Pt) (Kg)	LARGURA DA PEÇA DE MADEIRA (cm)	θ	A.N. ϕ (cm)	ESFORÇO ADMISSÍVEL DO AN. PARALELO ÀS FIBRAS (Fp) (Kg)	ESFORÇO ADMISSÍVEL INCLINADO ÀS FIBRAS $F_{\theta} = \frac{F_p}{\sin \theta + 1}$	N.º DE AN.	N.º CORRIGIDO DE AN.
19									
D I A G O N A L	ENTRE (D) e (M)	PARA (M)	4158	20	36° 6"	3320	2467	2	2
		PARA (D)	4158	20	0° 7"	4519	4519	1	1
	ENTRE (D) e (BS)ou(BI)	PARA (BS)ou(BI)	2079	24	64° 7"	4519	2500	1	1
		PARA (D)	2079	20	0° 7"	4519	4519	1	1
M O N T A N T E	ENTRE (M) e (BS)ou(BI)	PARA (BS)ou(BI)	3026	24	80° 7"	4519	2294	2	2
		PARA (M)	3026	20	0° 7"	4519	4519	1	1
	ENTRE (M) e (D)	PARA (D)	3026	20	36° 7"	4519	3359	1	1
		PARA (M)	3026	20	0° 6"	3320	3320	1	2
B A N Z O S U P E R I O R	ENTRE (BSE) e (M)	PARA (M)							
		PARA (BSE)							
	ENTRE (BSE) e (D)	PARA (D)							
		PARA (BSE)							
	ENTRE (BSD) e (M)	PARA (M)							
		PARA (BSD)							
	ENTRE (BSD) e (D)	PARA (D)							
		PARA (BSD)							

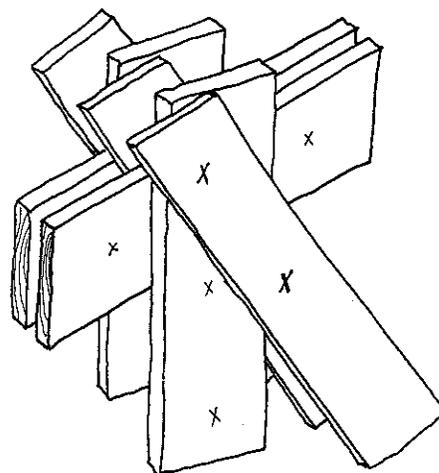
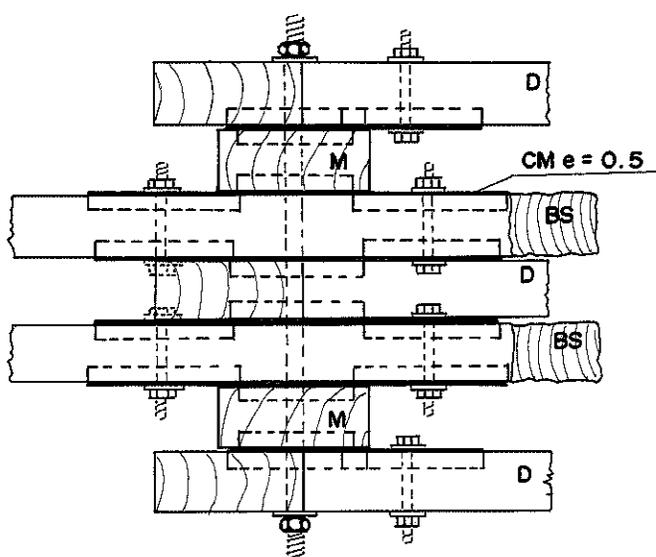
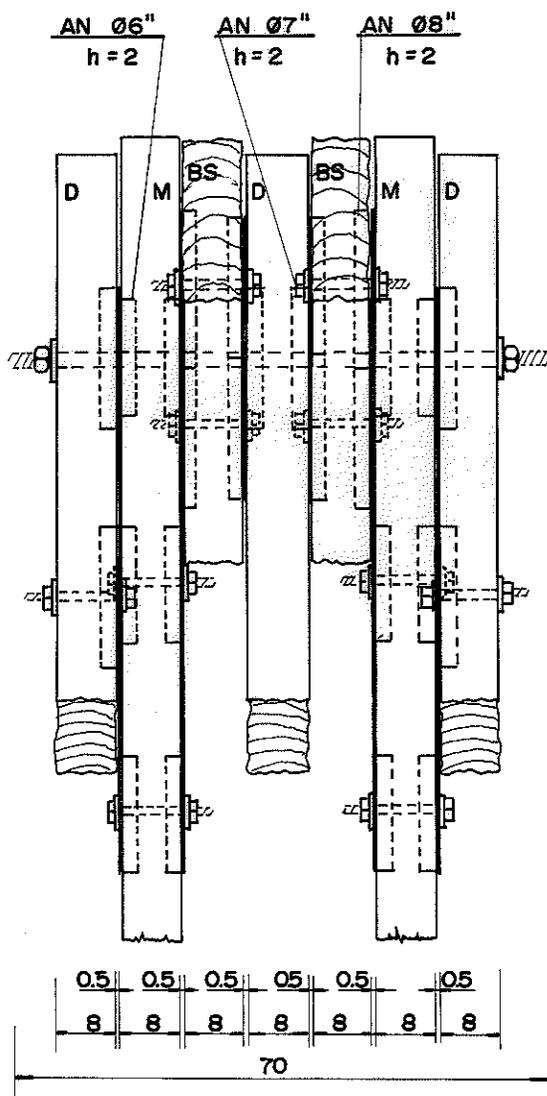
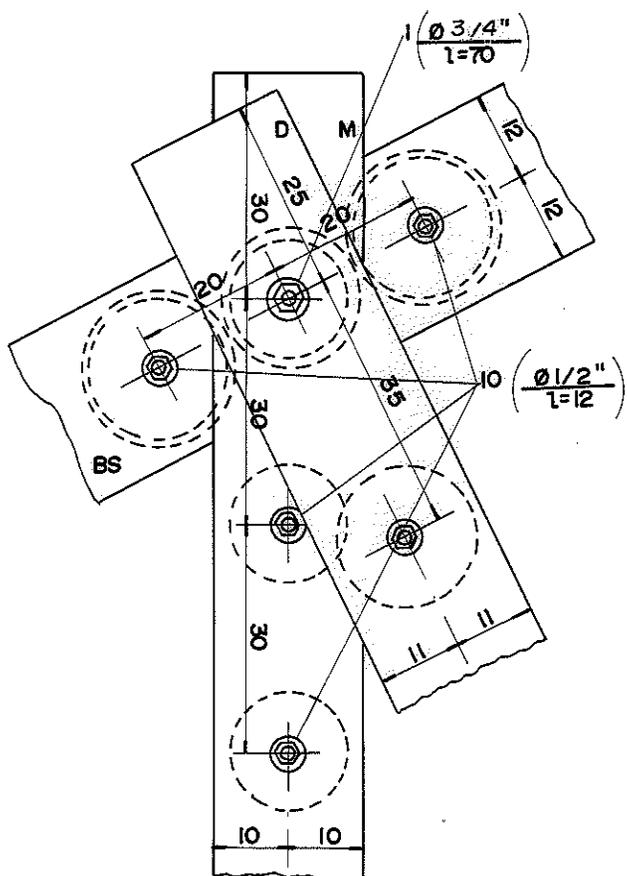


LIGAÇÃO DO NÓ 19
 ESC: 1:10
 UNIDADES: (cm)

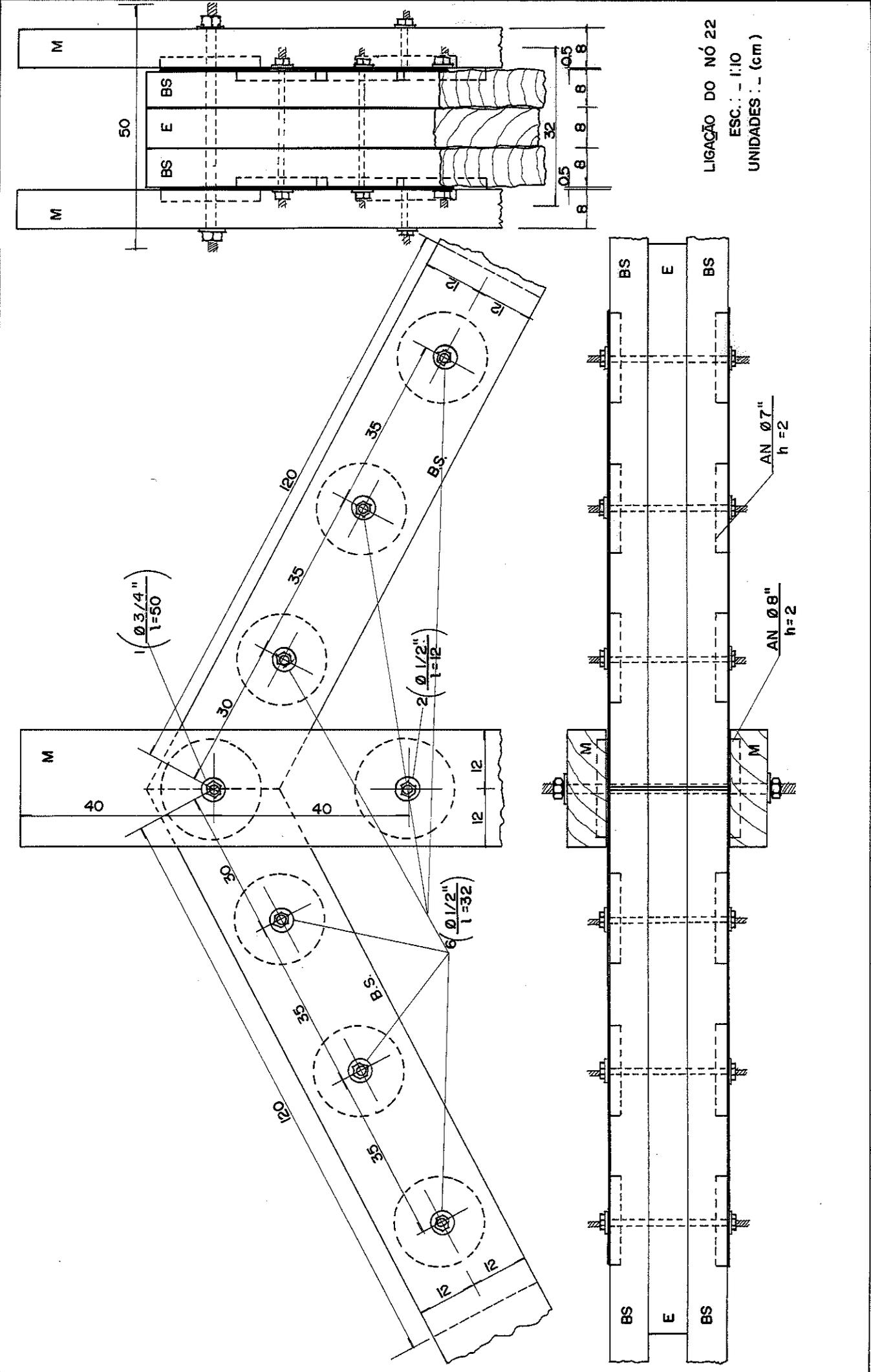
DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES, COM ANÉIS

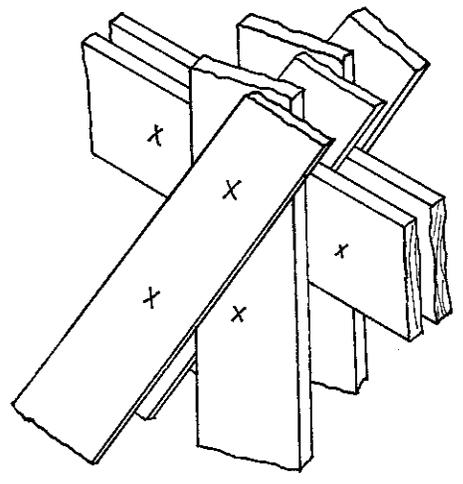
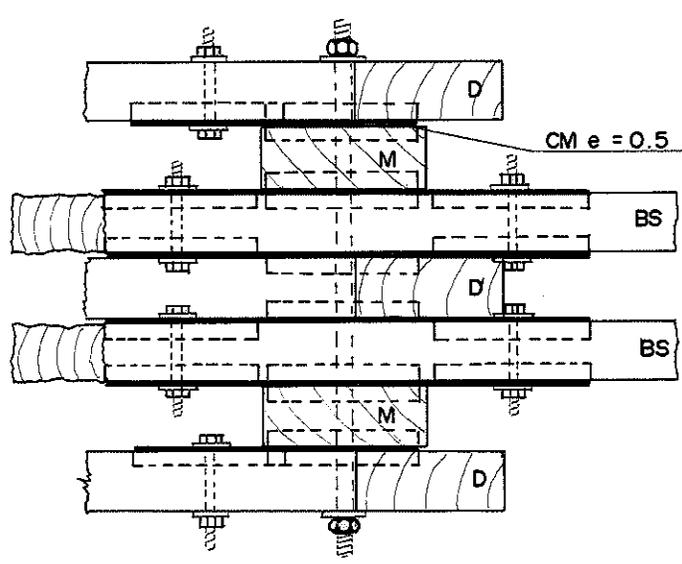
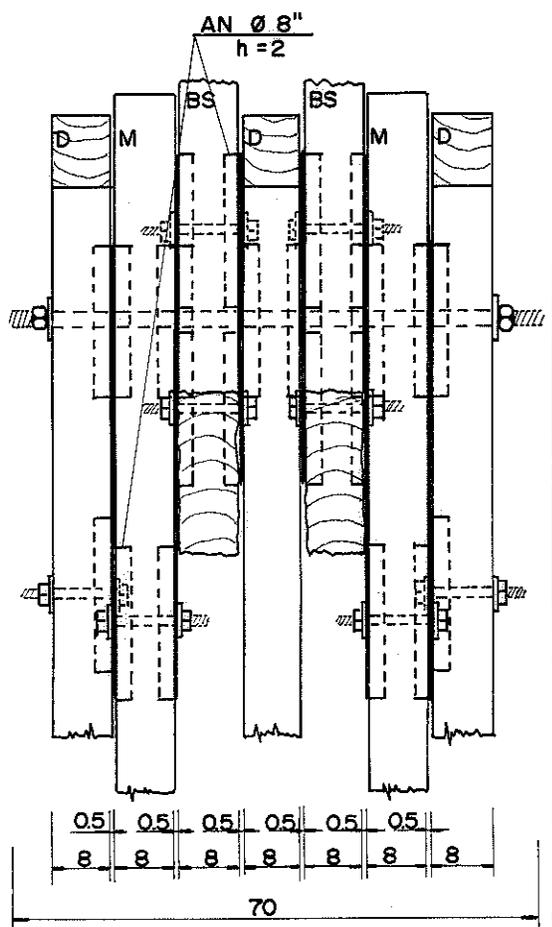
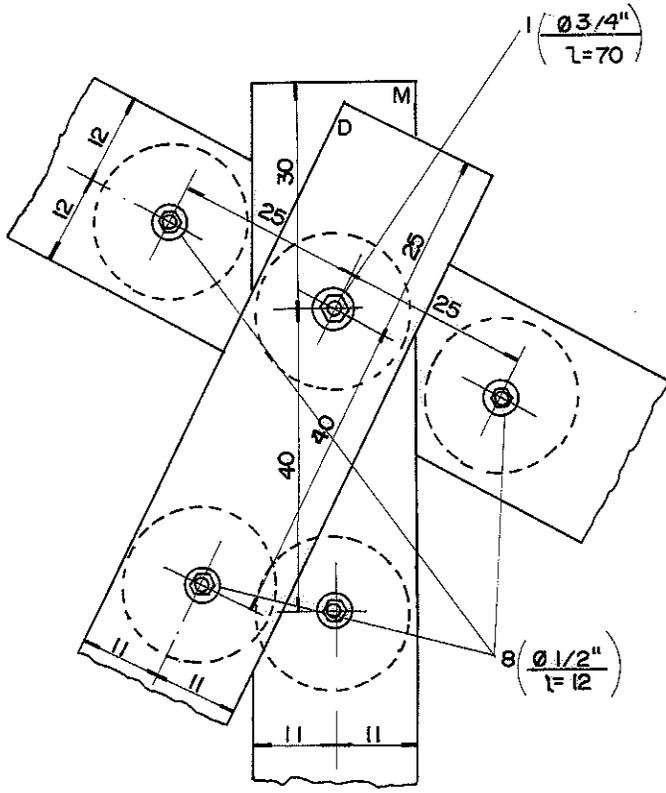
Nº DO Nº		ESFORÇO ATUANTE (Pt) (Kg)	LARGURA DA PEÇA DE MADEIRA (cm)	θ	AN. ϕ (cm)	ESFORÇO ADMISSÍVEL DO AN. PARALELO ÀS FIBRAS (Fp) (Kg)	ESFORÇO ADMISSÍVEL INCLINADO ÀS FIBRAS $F_{\theta} = \frac{F_p}{\sin^2 \theta + 1}$	Nº DE AN.	Nº CORRIGIDO DE AN.	
20										
D I A G O N A L	ENTRE (D) e (M)	PARA (M)	6042	22	33°	7"	4519	3485	2	2
		PARA (D)	6042	22	0°	6"	3320	3320	2	2
	ENTRE (D) e (BS)ou(BI)	PARA (BS)ou(BI)	3021	24	85°	8"	5902	2963	2	2
		PARA (D)	3021	22	0°	8"	5902	5902	1	2
M O N T A N T E	ENTRE (M) e (BS)ou(BI)	PARA (BS)ou(BI)	4955	24	80°	8"	5902	2996	2	2
		PARA (M)	4955	22	0°	7"	4519	4519	2	2
	ENTRE (M) e (D)	PARA (D)	4955	22	33°	6"	3320	2560	2	2
		PARA (M)	4955	22	0°	7"	4519	4519	2	2
B A N Z O S U P E R I O R	ENTRE (BSE) e (M)	PARA (M)	2976	22	80°	7"	4519	2294	2	2
		PARA (BSE)	2976	24	0°	8"	5902	5902	1	1
	ENTRE (BSE) e (D)	PARA (D)	2976	22	67°	8"	5902	3195	1	2
		PARA (BSE)	2976	24	0°	8"	5902	5902	1	2
	ENTRE (BSD) e (M)	PARA (M)	4431	22	62°	7"	4519	2539	2	2
		PARA (BSD)	4431	24	0°	8"	5902	5902	1	1
	ENTRE (BSD) e (D)	PARA (D)	4431	22	85°	8"	5902	2963	2	2
		PARA (BSD)	4431	24	0°	8"	5902	5902	1	2





LIGAÇÃO DO NÓ 21
 ESC. : 1:10
 UNIDADES. : (cm)





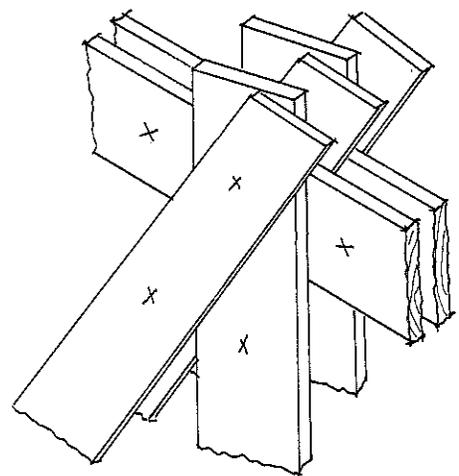
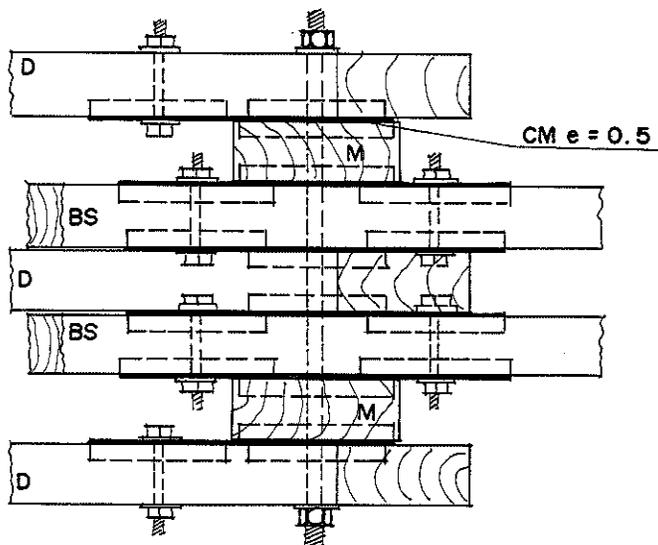
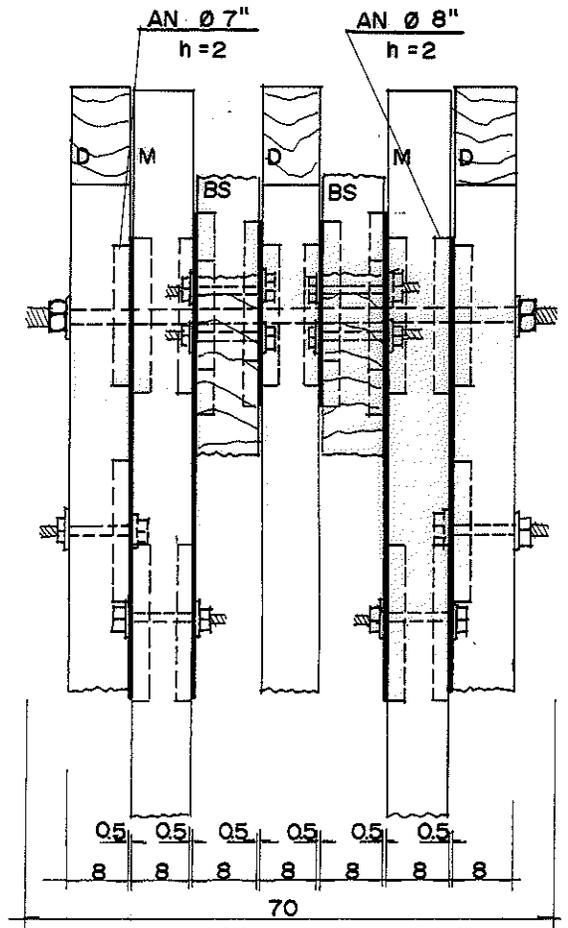
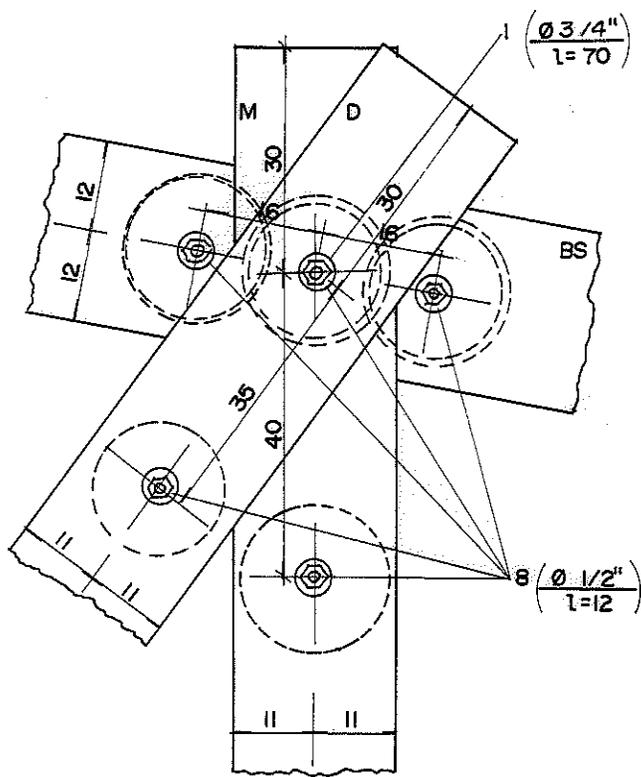
LIGAÇÃO DO NÓ 23
 ESC. : 1:10
 UNIDADES : (cm)

DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES, COM ANÉIS

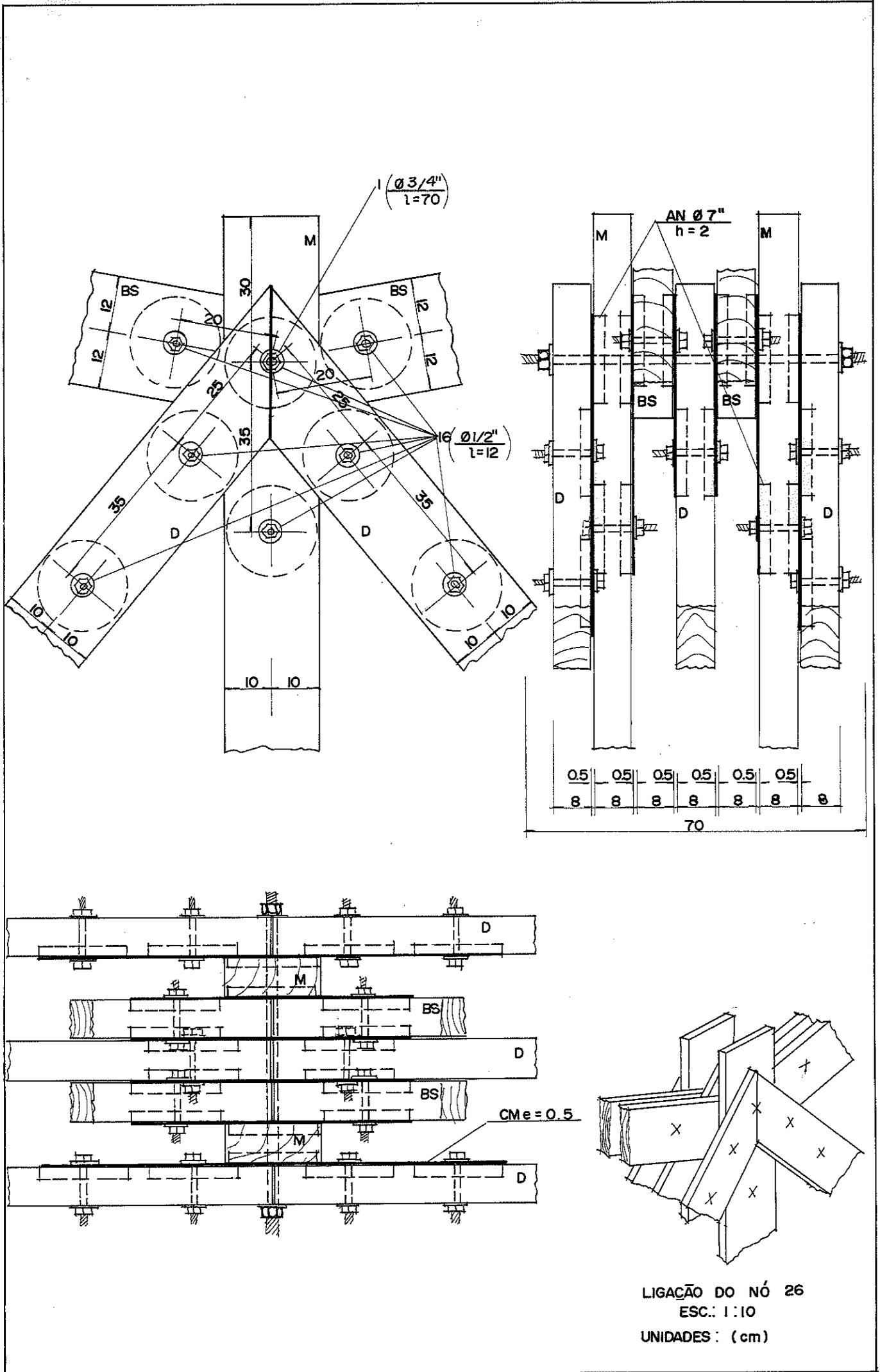
Nº DO NÓ		ESFORÇO ATUANTE (Pt) (Kg)	LARGURA DA PEÇA DE MADEIRA (cm)	θ	A.N. ϕ (cm)	ESFORÇO ADMISSÍVEL DO AN. PARALELO ÀS FIBRAS (Fp) (Kg)	ESFORÇO ADMISSÍVEL INCLINADO ÀS FIBRAS $F_e = \frac{F_p}{\text{sen}^2 \theta + 1}$	Nº DE AN.	Nº CORRIGIDO DE AN.	
24										
D I A G O N A L	ENTRE (D) e (M)	PARA (M)	9024	22	33°	8"	5902	4552	2	2
		PARA (D)	9024	22	0°	8"	5902	5902	2	2
	ENTRE (D) e (BS) ou (BI)	PARA (BS) ou (BI)	4512	24	85°	8"	5902	2962	2	2
		PARA (D)	4512	22	0°	8"	5902	5902	1	2
M O N T A N T E	ENTRE (M) e (BS) ou (BI)	PARA (BS) ou (BI)	7118	24	80°	7"	4519	2294	4	4
		PARA (M)	7118	22	0°	7"	4519	4519	2	2
	ENTRE (M) e (D)	PARA (D)	7118	22	33°	8"	5902	4552	2	2
		PARA (M)	7118	22	0°	8"	5902	5902	2	2
B A N Z O S U P E R I O R	ENTRE (BSE) e (M)	PARA (M)	3082	22	62°	7"	4519	2540	2	2
		PARA (BSE)	3082	24	0°	7"	4519	4519	1	2
	ENTRE (BSE) e (D)	PARA (D)	3082	22	85°	8"	5902	2963	2	2
		PARA (BSE)	3082	24	0°	8"	5902	5902	1	2
	ENTRE (BSD) e (M)	PARA (M)	2114	22	80°	7"	4519	2294	1	2
		PARA (BSD)	2114	24	0°	7"	4519	4519	1	2
	ENTRE (BSD) e (D)	PARA (D)	2114	22	67°	8"	5902	3195	1	2
		PARA (BSD)	2114	24	0°	8"	5902	5902	1	2

DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES, COM ANÉIS

Nº DO Nº		ESFORÇO ATUANTE (Pt) (Kg)	LARGURA DA PEÇA DE MADEIRA (cm)	θ	AN. ϕ (cm)	ESFORÇO ADMISSÍVEL DO AN. PARALELO ÀS FIBRAS (Fp) (Kg)	ESFORÇO ADMISSÍVEL INCLINADO ÀS FIBRAS $F_{\theta} = \frac{F_p}{\sin^2 \theta + 1}$	Nº DE AN.	Nº CORRIGIDO DO DE AN.
25									
D I A G O N A L	ENTRE (D) e (M)	PARA (M)	8088	22	36° 8"	5902	4387	2	2
		PARA (D)	8088	22	0° 7"	4519	4519	2	2
	ENTRE (D) e (BS)ou(BI)	PARA (BS)ou(BI)	4044	24	64° 7"	4519	2500	2	2
		PARA (D)	4044	22	0° 7"	4519	4519	1	1
M O N T A N T E	ENTRE (M) e (BS)ou(BI)	PARA (BS)ou(BI)	5532	24	80° 8"	5902	2996	2	2
		PARA (M)	5532	22	0° 8"	5902	5902	1	1
	ENTRE (M) e (D)	PARA (D)	5532	22	36° 7"	4519	3385	2	2
		PARA (M)	5532	22	0° 8"	5902	5902	1	2
B A N Z O S U P E R I O R	ENTRE (BSE) e (M)	PARA (M)							
		PARA (BSE)							
	ENTRE (BSE) e (D)	PARA (D)							
		PARA (BSE)							
	ENTRE (BSD) e (M)	PARA (M)							
		PARA (BSD)							
	ENTRE (BSD) e (D)	PARA (D)							
		PARA (BSD)							

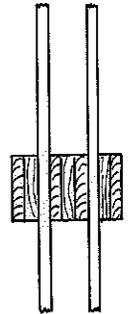
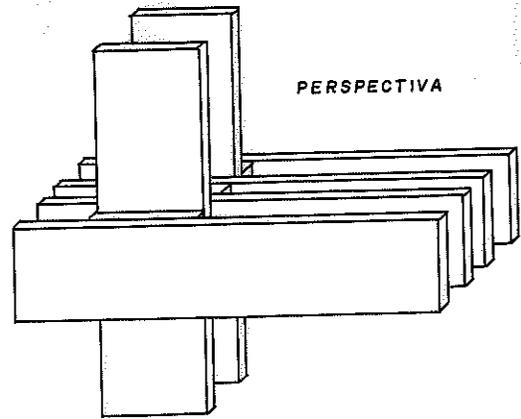
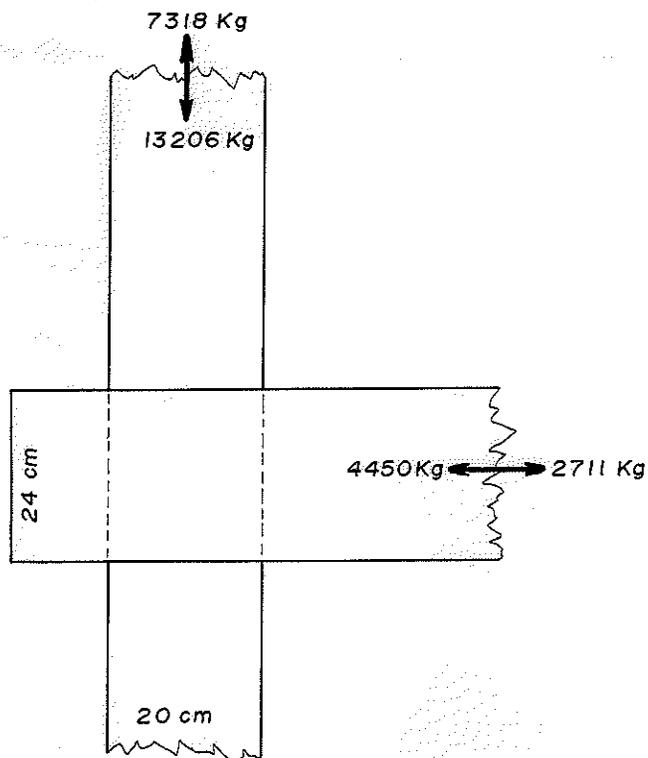


LIGAÇÃO DO NÓ 25
 ESC. : 1:10
 UNIDADES : (cm)



LIGAÇÃO DO NÓ 26
 ESC.: 1:10
 UNIDADES: (cm)

Nó 1 - Apoio extremo



- Ligando o banco inferior ao montante, com parafusos:
Para Peroba Rosa

$$\bar{F}_N \leq \begin{cases} 37\eta b\phi \\ 270\eta\phi^2 \end{cases} \cdot \{ 10.49 \}$$

Os valores acima referem-se a dois planos de cisalhamento. Podem ser multiplicados por 2, porque neste caso, tem-se 4 planos de cisalhamento.

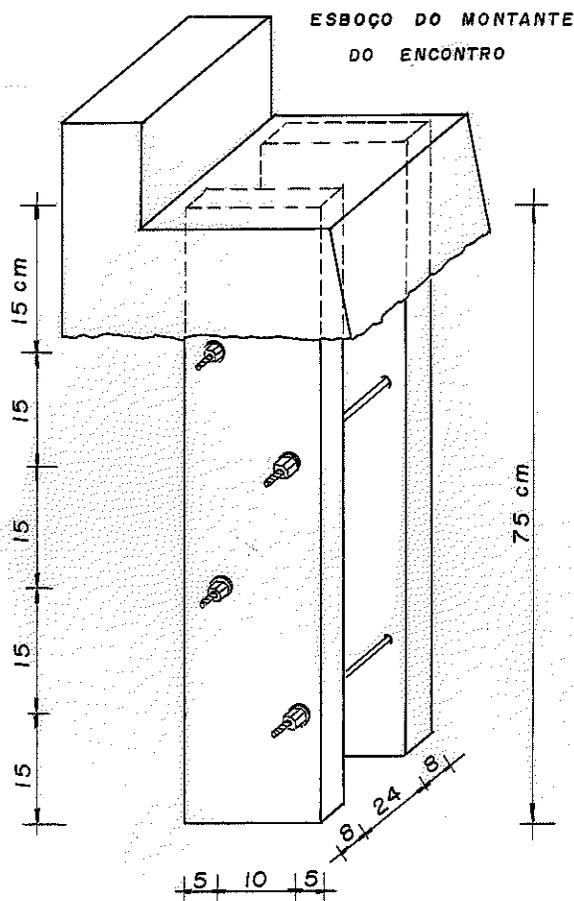
Usando parafuso de $\phi 3/4''$ ($\approx 1,90\text{cm}$)

$$\bar{F}_N \leq \begin{cases} 2 \cdot [37 \cdot 1,41 \cdot 8 \cdot 1,90] = 1586\text{kg} \\ 2 \cdot [270 \cdot 1,41 \cdot 1,90^2] = 2749\text{kg} \end{cases}$$

$$\text{Número de parafusos} = \frac{4450}{1586} = 2,80$$

Não havendo diagonais, usa-se enchimento e adotam-se quatro parafusos, tendo em vista maior rigidez.

- Fixação do montante no concreto do encontro



Usando parafusos de $\phi 3/4''$ e comprimento 50cm

Compressão na madeira:

$$S = 2(8 \cdot \phi)$$

$$S = 2(8 \cdot 1,90) = 30\text{cm}^2$$

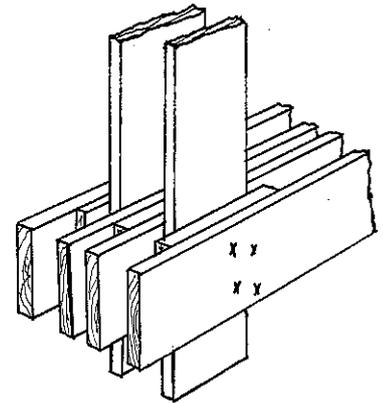
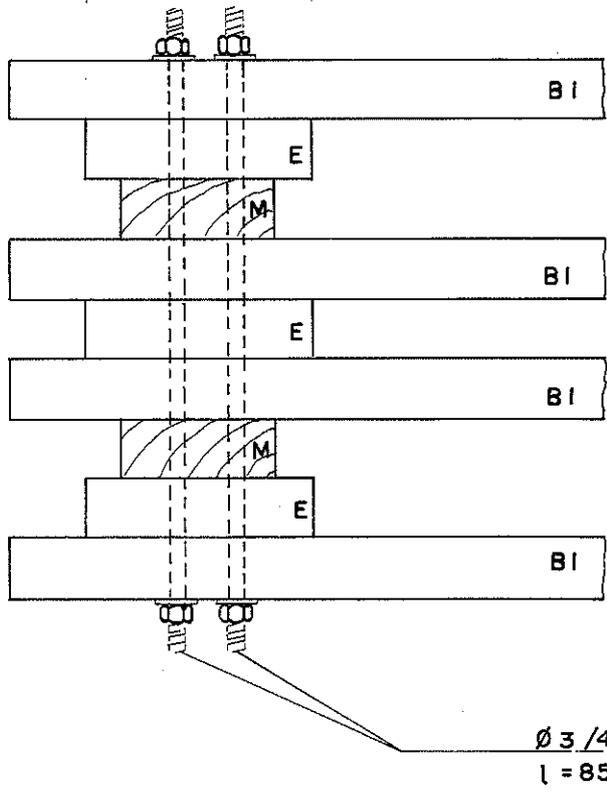
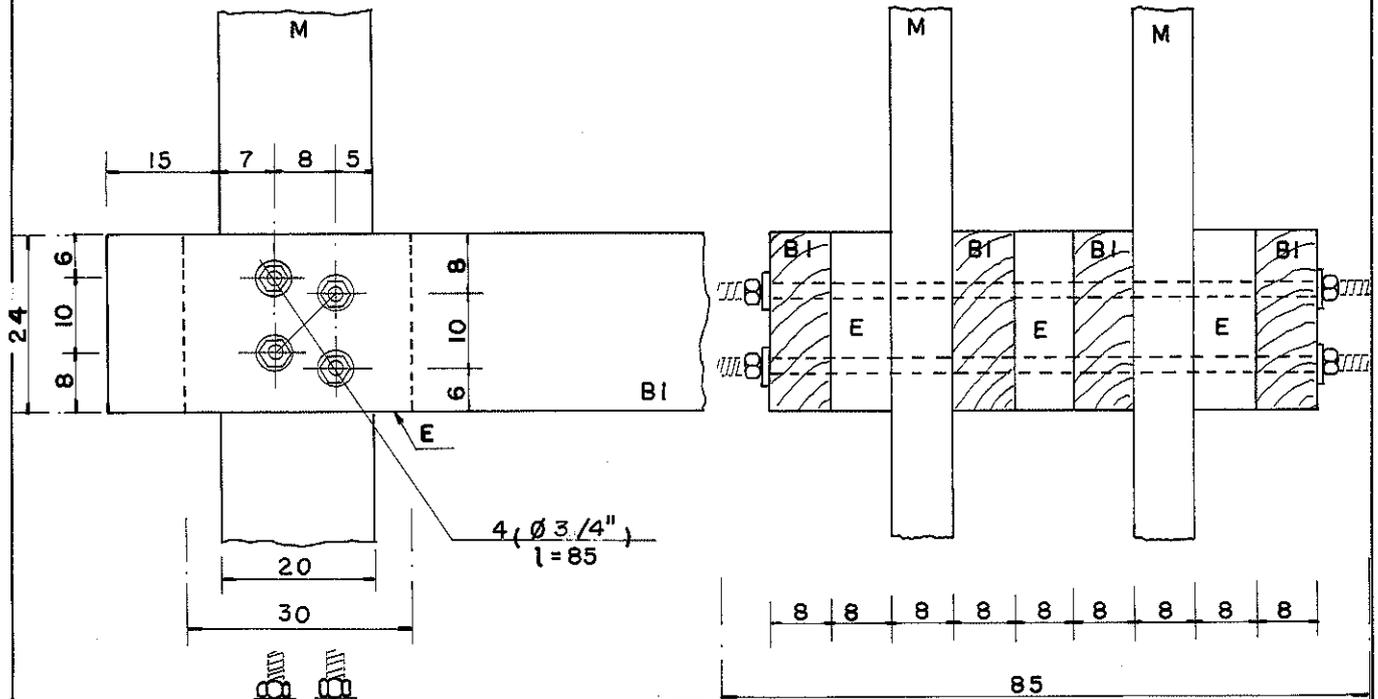
$$\bar{\sigma}_c = 85\text{kg/cm}^2 \quad \{ 2,21 \}$$

1 parafuso resiste:

$$P_{1\text{Par.}} = 85 \cdot 30 = 2550\text{kg}$$

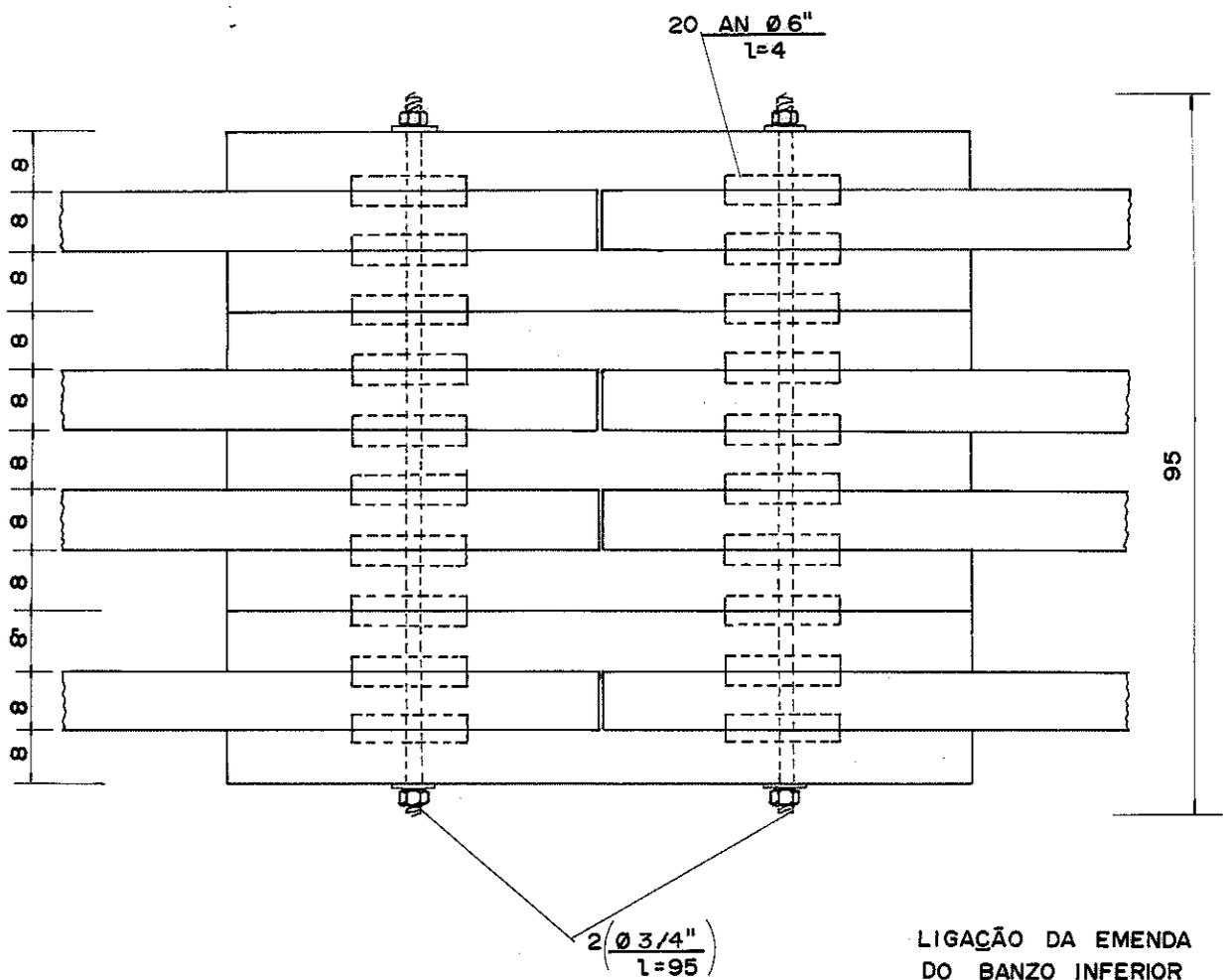
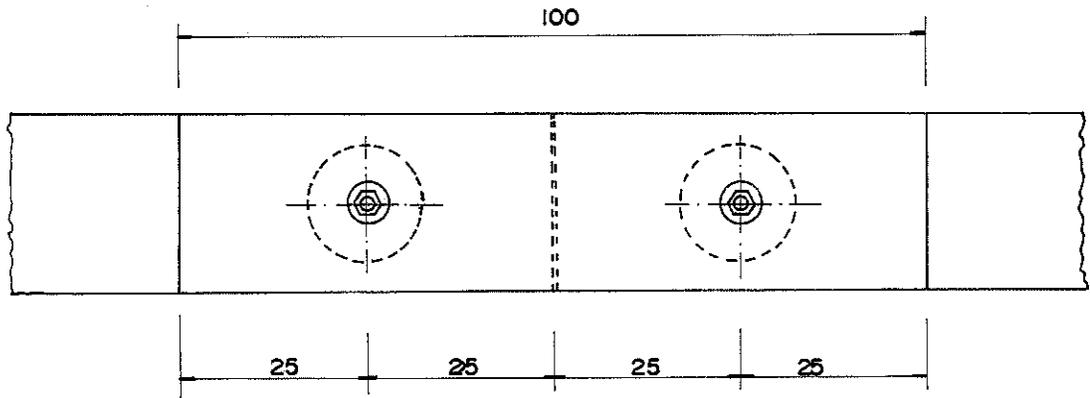
$$\text{Número de parafusos} = \frac{7318}{2550} = 2,9$$

Resultando 4 $\phi 3/4''$



LIGAÇÃO DO NÓ 1
 ESC: 1:10
 UNIDADES: - (cm)

L1

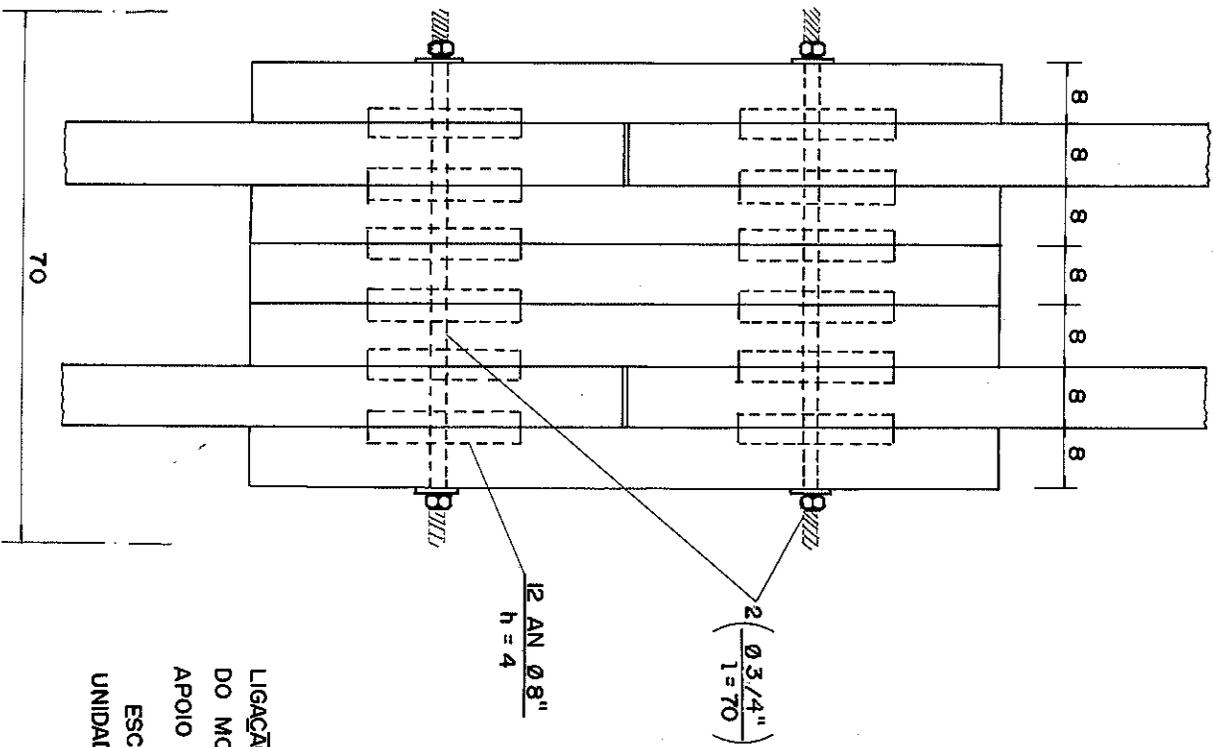
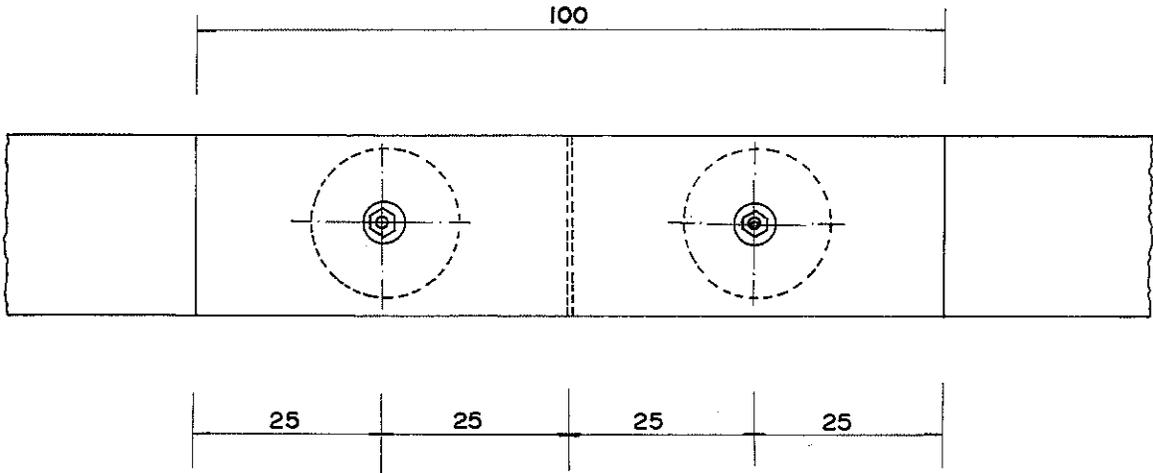


LIGAÇÃO DA EMENDA
DO BANZO INFERIOR

ESC. : 1:10

UNIDADES : (cm)

L2



LIGAÇÃO DA EMENDA
DO MONTANTE DO
APOIO INTERNO

ESC.: - 1:10
UNIDADES: - (cm)

III.6.2 - Verificação das placas de ligação
com os anéis soldados

- Características da chapa e do anel:

Anel: menor diâmetro \cong 15cm

Chapa: espessura (e) = 3/16 \cong 0,50cm

largura (b) = 15cm

- Tensões admissíveis para o aço carbono:

Chapas de fixação = 1400kg/cm²

Solda (cisalhamento) = 700kg/cm² { 20 }

No caso dessas ligações, deve ser levado em consideração o coeficiente de impacto. $\phi = 1,24$

- Verificação da chapa (tração ou compressão):

$S = 15 \cdot 0,50 = 7,5\text{cm}^2$

$\bar{P} = 1400 \cdot 7,5 = 10500\text{kg}$

Reduzindo com o coeficiente de impacto, supondo a favor da segurança toda a carga como acidental, tem-se o máximo que uma chapa pode suportar que é o esforço de:

$$10500 : 1,24 \cong 8470\text{kg}$$

Como o número máximo de chapas na ligação dos elementos é quatro, tem-se como esforço admissível, $4 \cdot 8470 = 33880\text{kg}$, enquanto se tem como esforço máximo nos elementos da estrutura, 32565kg. Portanto, o esforço máximo atuante é menor que o admissível.

- Verificação da solda do anel na chapa:

Será feita para o anel (8") que suporta maior esforço admissível (5902kg).

Supondo largura de solda = 0,35cm

$S = 0,35 \cdot (\pi \phi)$

$S = 0,35 \cdot \pi \cdot 20,32 \cong 22\text{cm}^2$

$\bar{P}_{\text{solda/anel}} = 700 \cdot 22 = 15400\text{kg}$

Como o diâmetro do anel é maior que a largura da chapa, será su posto que somente a metade do perímetro do anel é soldada.

$$\bar{P}_{\text{solda/anel}} = \frac{15400}{2} = 7700\text{kg}$$

Fazendo-se ainda a mesma consideração anterior, a favor da segurança, conclui-se que com a redução do coeficiente de impacto, a carga admissível de cisalhamento da solda, é de:

$$\bar{P}_{\text{solda/anel}} = \frac{7700}{1,24} = 6210\text{kg} > 5902\text{kg}$$

III.7 - Flecha da estrutura

A flecha final da estrutura deve ser tal que não ultrapasse a flecha admissível normalizada pela NB - 11, Art. 69a. { 2.20 }

A flecha máxima foi pesquisada pelo programa "STRESS", ocorre no meio do vão central e de acordo com a numeração da figura 33 é o ponto 9.

III.7.1 - Carregamento

Os carregamentos máximos para os nós da viga treliçada já foram estudados, e podem ser encontrados resumidamente na figura 32.

Pode ser adiantado que o carregamento acidental que proporciona flecha mais desfavorável para o ponto 9 é o de "carga acidental 1", da figura 32.

III.7.2 - Linhas de influência

Foram encontradas duas linhas de influência, a fim de atender à NB - 11, Art. 69a. Para a carga acidental o módulo de elasticidade da Peroba Rosa é $E_a = 94100\text{kg/cm}^2$ e para carga permanente $E_p = 62700\text{kg/cm}^2$.

III.7.3 - Verificação

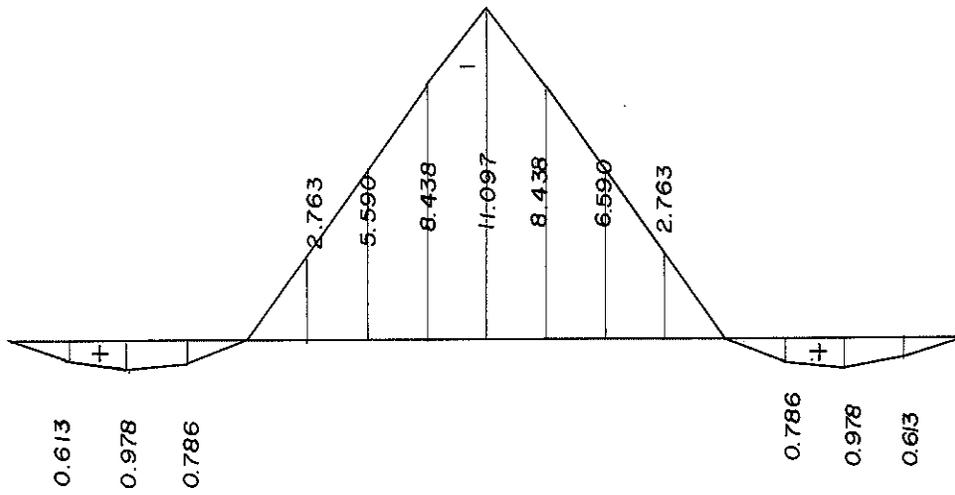
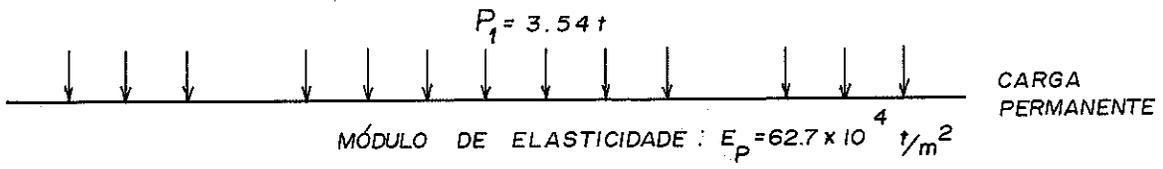
Para maior precisão, o programa "STRESS" foi operado com módulo de elasticidade igual a $62,7\text{t/m}^2$ ou $94,1\text{t/m}^2$. Logo, é o mesmo que estar multiplicando a flecha por (10^4) .

Evidentemente, o resultado final da flecha deve ser multiplicado por (10^{-4}) . Este resultado se encontra na página 180.

Segundo a NB - 11, Art. 69b, a flecha admissível está normalizada em $l/350$. Portanto, para a estrutura em questão onde o vão central é de 2000cm, a flecha admissível será de: { 2.20 }

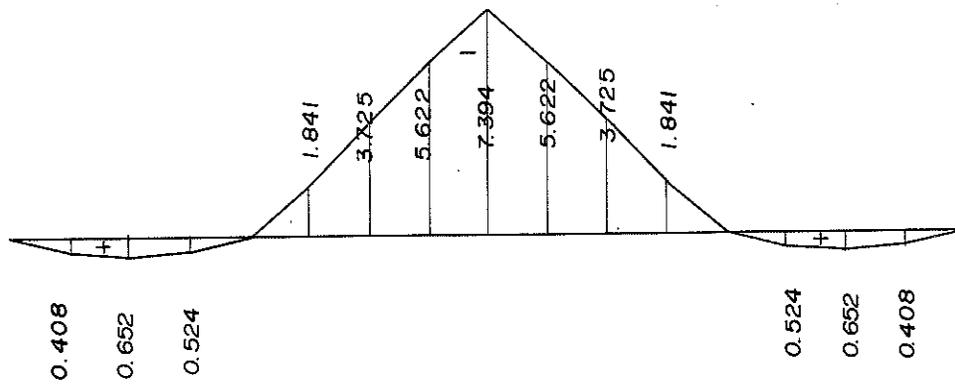
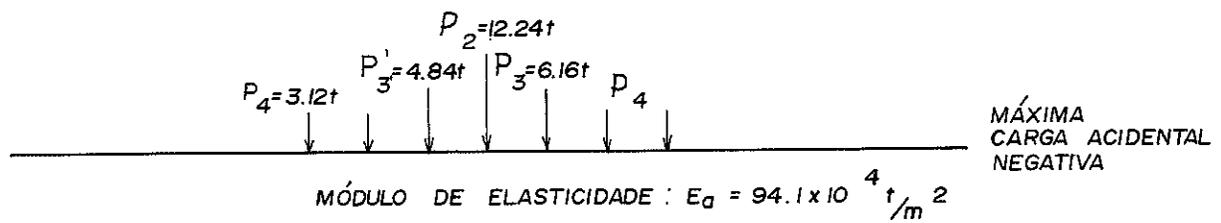
$$\frac{2000}{350} = 5,71\text{cm}$$

A seguir, encontram-se as linhas de influência e respectivas cargas, oferecendo as flechas máximas para a carga permanente e acidental.



$$f_p = -141.34 \times 10^{-4} \text{ m}$$

ESTUDO DA FLECHA



$$f_a = -187.08 \times 10^{-4} \text{ m}$$

ESTUDO DA FLECHA

Com os resultados, contidos nas linhas de influência, tem-se:

$$f = f_p + f_a$$

$$f = (-141,34 \cdot 10^{-4}) + (-187,8 \cdot 10^{-4})$$

$$f = - 328,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$f = - 3,28\text{cm}$, onde o sinal negativo indica que a flecha é para baixo, portanto contrária à coordenada "y" usada pelo programa "STRESS".

Como conclusão final da análise da flecha, pode ser verificado que a flecha máxima que ocorre na estrutura, está 43% abaixo da flecha admissível.

Entretanto, é importante salientar que o esperado na prática, é uma deformação um pouco maior que a encontrada teoricamente, isto se deve ao fato de se usar anéis metálicos nas ligações, pois segundo ensaios realizados no LaMEM os anéis ficam sempre com uma pequena folga, para que possam penetrar nos sulcos feitos na madeira, e é essa folga que dá uma deformação inicial, sem no entanto, solicitar os elementos da viga treliçada.

CAPÍTULO IV

APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA

CAPÍTULO IV

Apresentação da estrutura

No presente capítulo, é apresentado o desenho em escala de meia estrutura, em viga contínua treliçada, com a conotação não só de um resumo do capítulo anterior, mas também com a finalidade de esclarecer e reunir todos os detalhes que compõem a estrutura.

A apresentação da estrutura é feita em duas pranchas, contendo desenho em escala 1:40.

A primeira prancha (figura 37) consta de um resumo dos nós da estrutura, onde são apresentados sem maiores detalhes, a configuração e posição de cada nó.

A segunda prancha (figura 38) consta de um resumo das dimensões de toda a estrutura, onde são apresentadas as dimensões (comprimento e seção) dos diversos elementos da viga treliçada, bem como dimensões externas da estrutura.

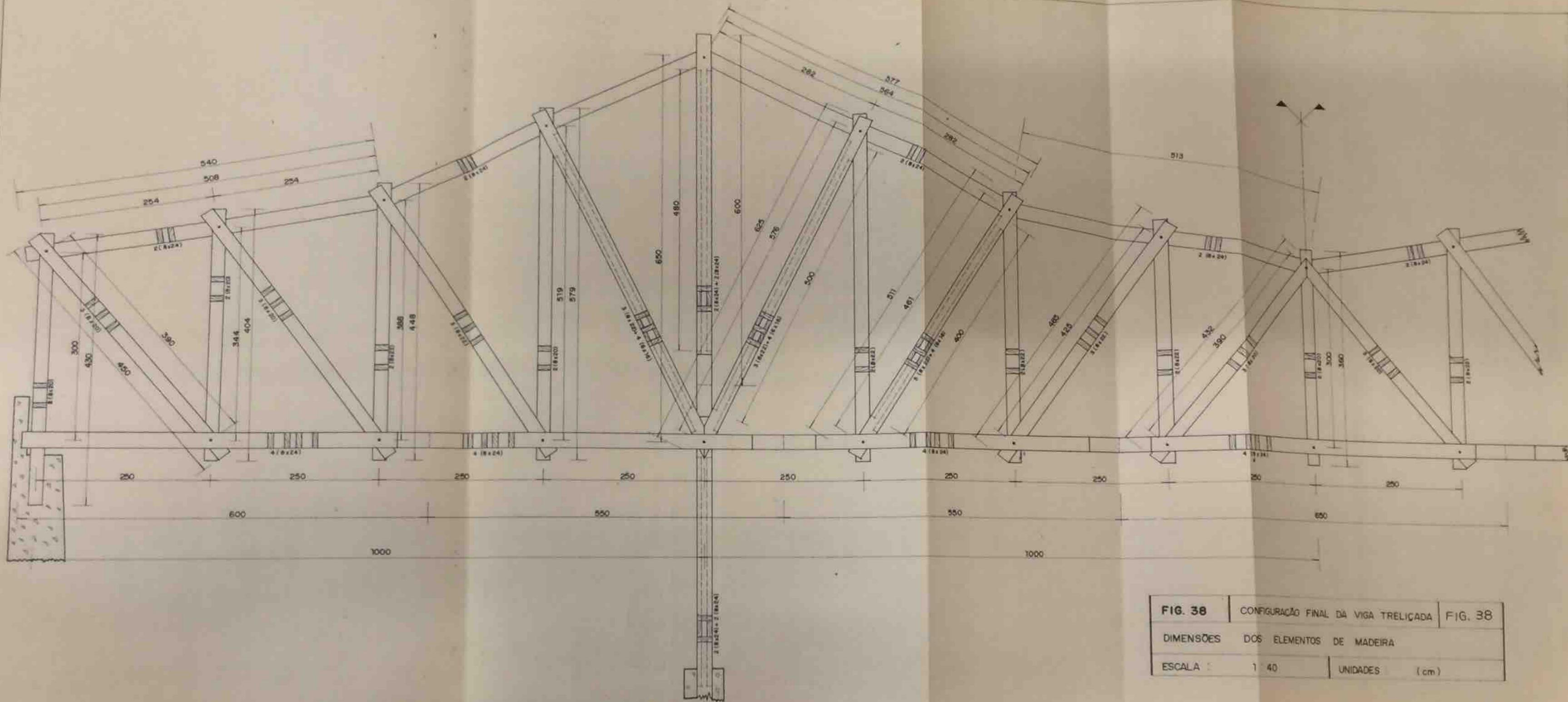


FIG. 38	CONFIGURAÇÃO FINAL DA VIGA TRELIÇADA	FIG. 38
DIMENSÕES DOS ELEMENTOS DE MADEIRA		
ESCALA :	1 : 40	UNIDADES (cm)

CAPÍTULO V

PROCESSO DE MONTAGEM DA PONTE EM VIGA TRELIÇADA

CAPÍTULO V

Processo de montagem do modelo da ponte em viga treliçada

Apresenta-se a seguir uma explanação de como associar os vários elementos da viga treliçada às chapas metálicas com anéis, a fim de tornar esta associação, aparentemente complexa, numa seqüência simplificada de montagem.

Essa explanação estará voltada para a montagem de um modelo pouco reduzido, tendo em vista uma primeira experiência construtiva e uma abertura para serem desenvolvidos novos trabalhos no LaMEM, como:

- Estudo de processos de carregamento de modelos reduzidos - É um trabalho no qual pode ser feito o estudo de vários modelos de carregamento para os ensaios de laboratório; quando se tratar do ensaio de uma só viga treliçada, estudar os modelos de carregamento para aplicação através dos nós da treliça; quando se tratar do ensaio da ponte como um todo, estudar os modelos de carregamento para aplicação através do tabuleiro.

- Estudo experimental de linhas de influência - É um trabalho no qual pode ser feita a aplicação de uma carga constante "P" em cada nó, sucessivamente, e verificar a propagação desta carga em todos os elementos da treliça. No final todos os valores seriam divididos por "P" dando as linhas de influência obtidas experimentalmente; através da aplicação da carga unitária P/P.

Além destes dois trabalhos, o modelo pouco reduzido dará a oportunidade de experimentação didática para os futuros estagiários do LaMEM, tanto da Graduação como da Pós-Graduação.

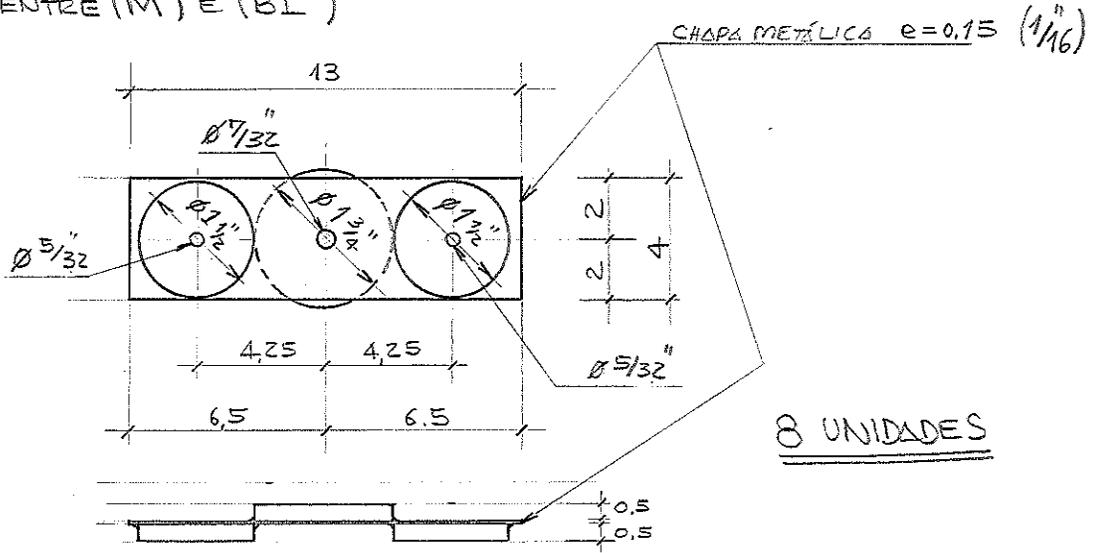
V.1 - Peças de ligação

Conforme já mencionado no início deste item, são apresentadas nas páginas seguintes as peças de ligação - chapas metálicas com os anéis soldados, já dimensionados para a construção de um modelo pouco reduzido (proporção 1:4).

As quantidades que aparecem sublinhadas são referentes à construção de duas vigas treliçadas, já com a idéia de se ter a ponte como um todo.

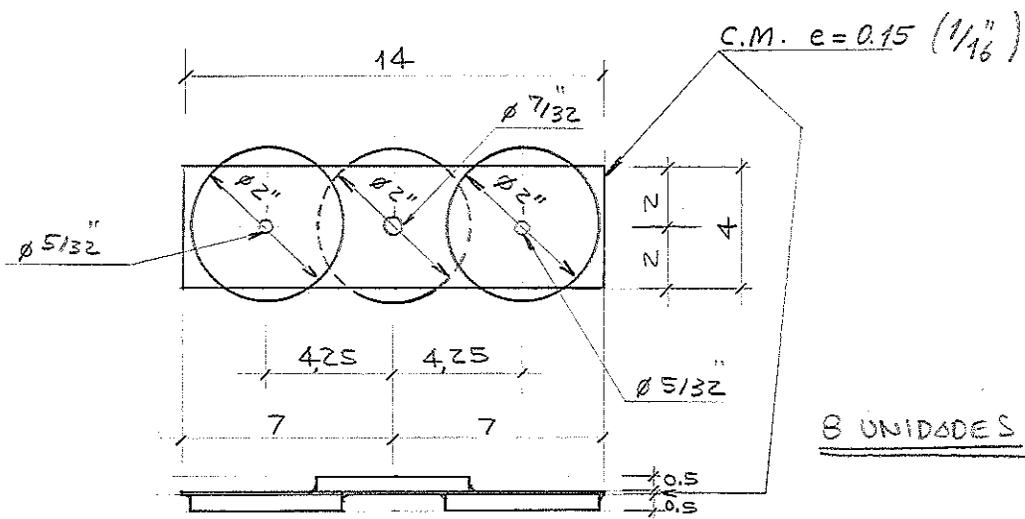
NO 2

A) ENTRE (M) E (BI)

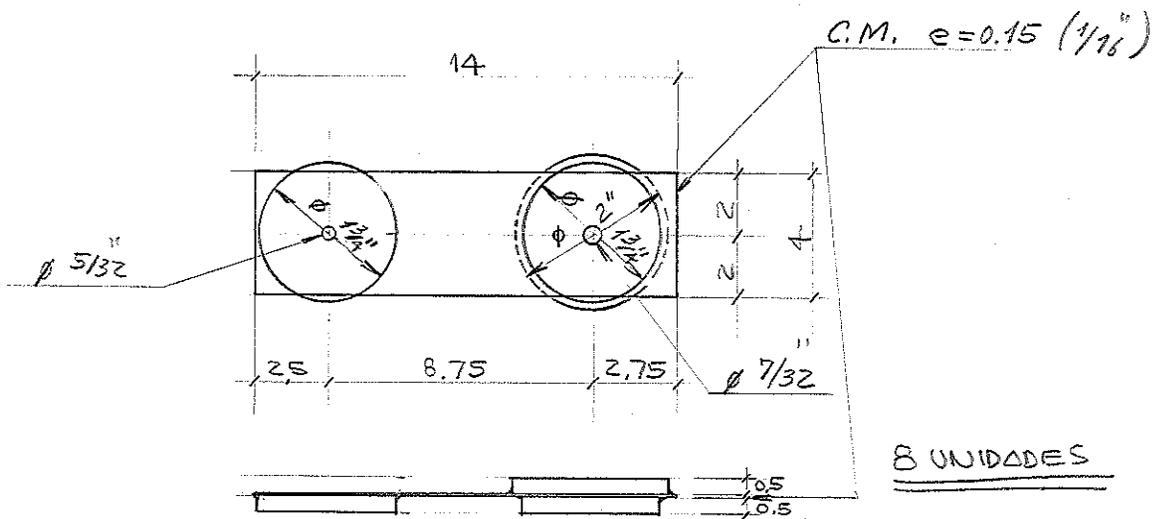


NO 3

A) ENTRE (M) E (BI)

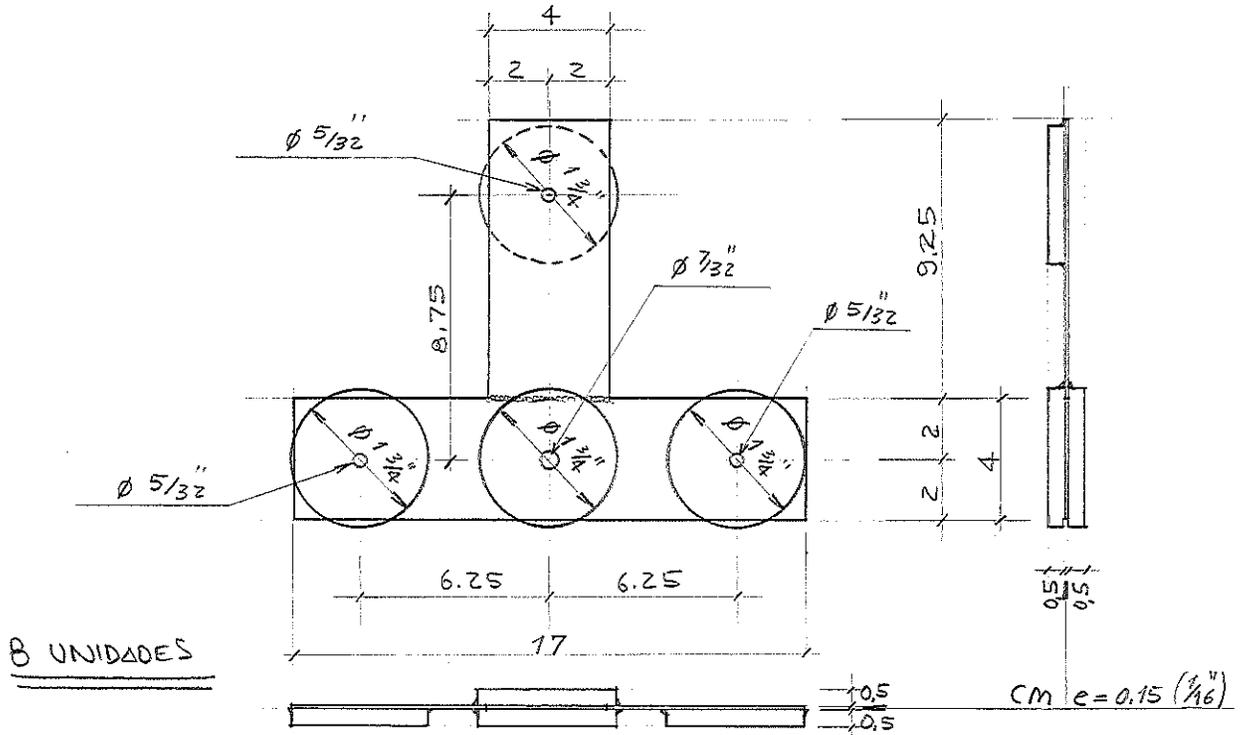


B) ENTRE (M) E (D)

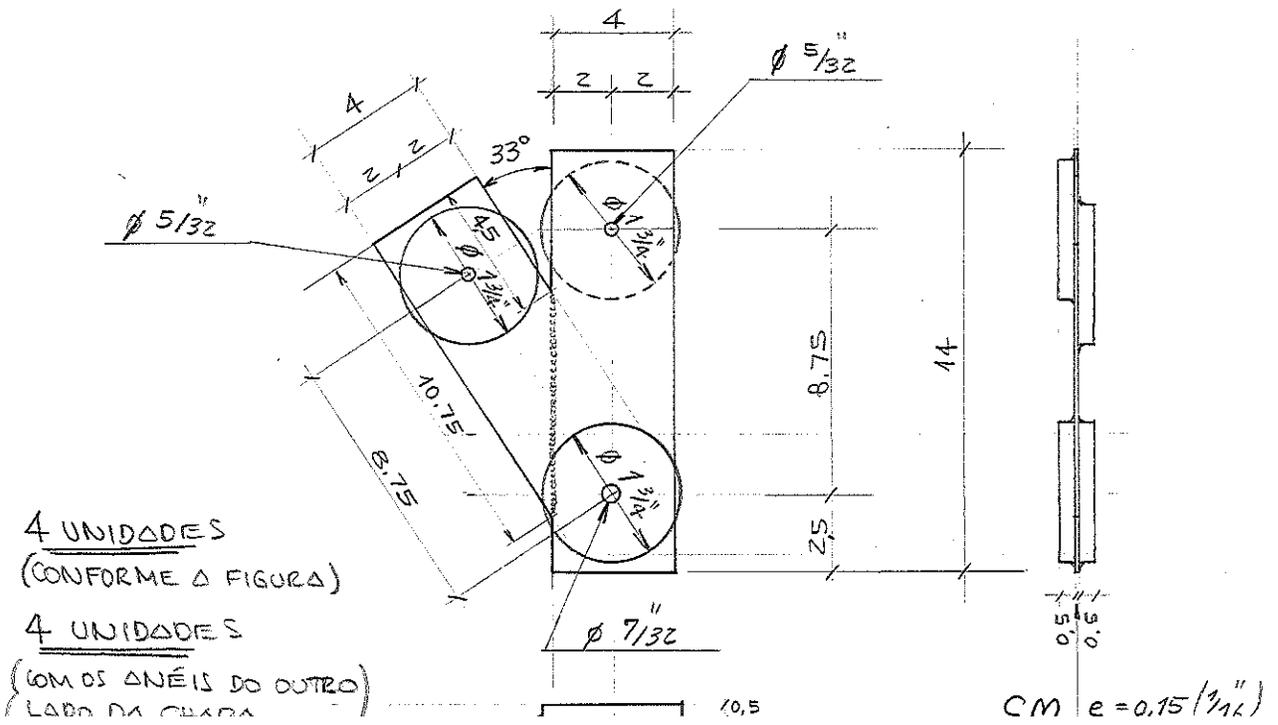


NÓ 4

A) ENTRE (M) E (BI)

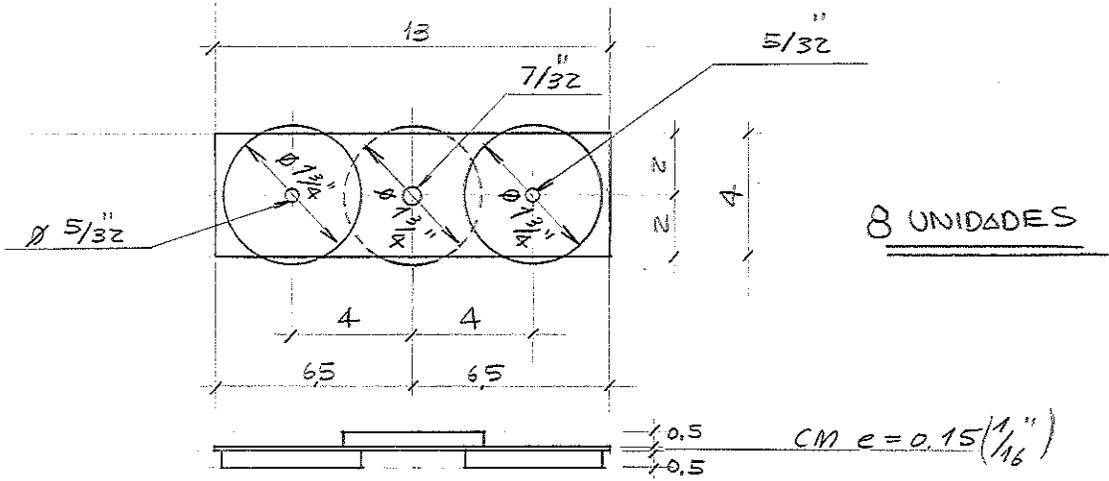


B) ENTRE (M) E (D)

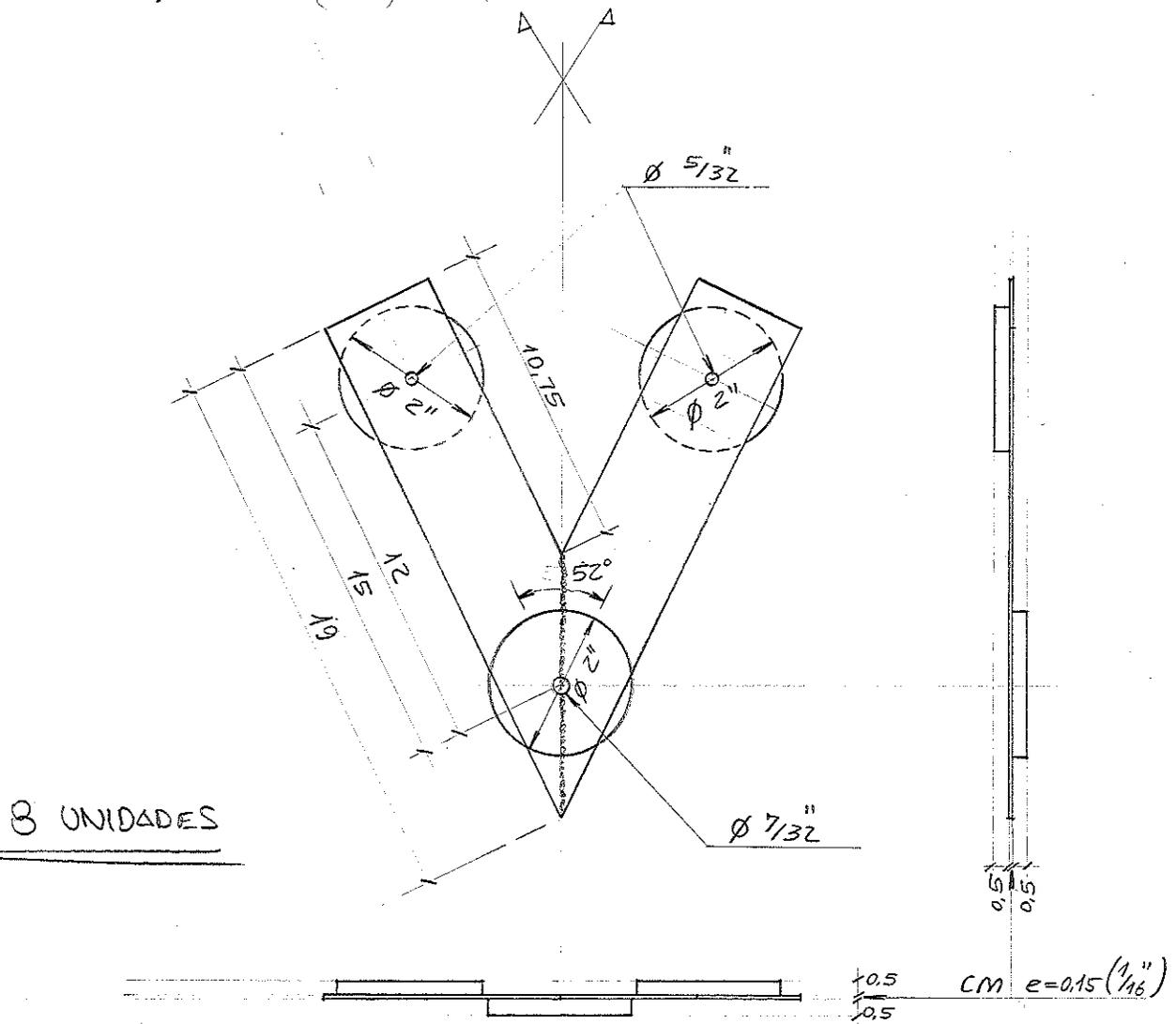


Nº 5

A) ENTRE (M) E (BI)

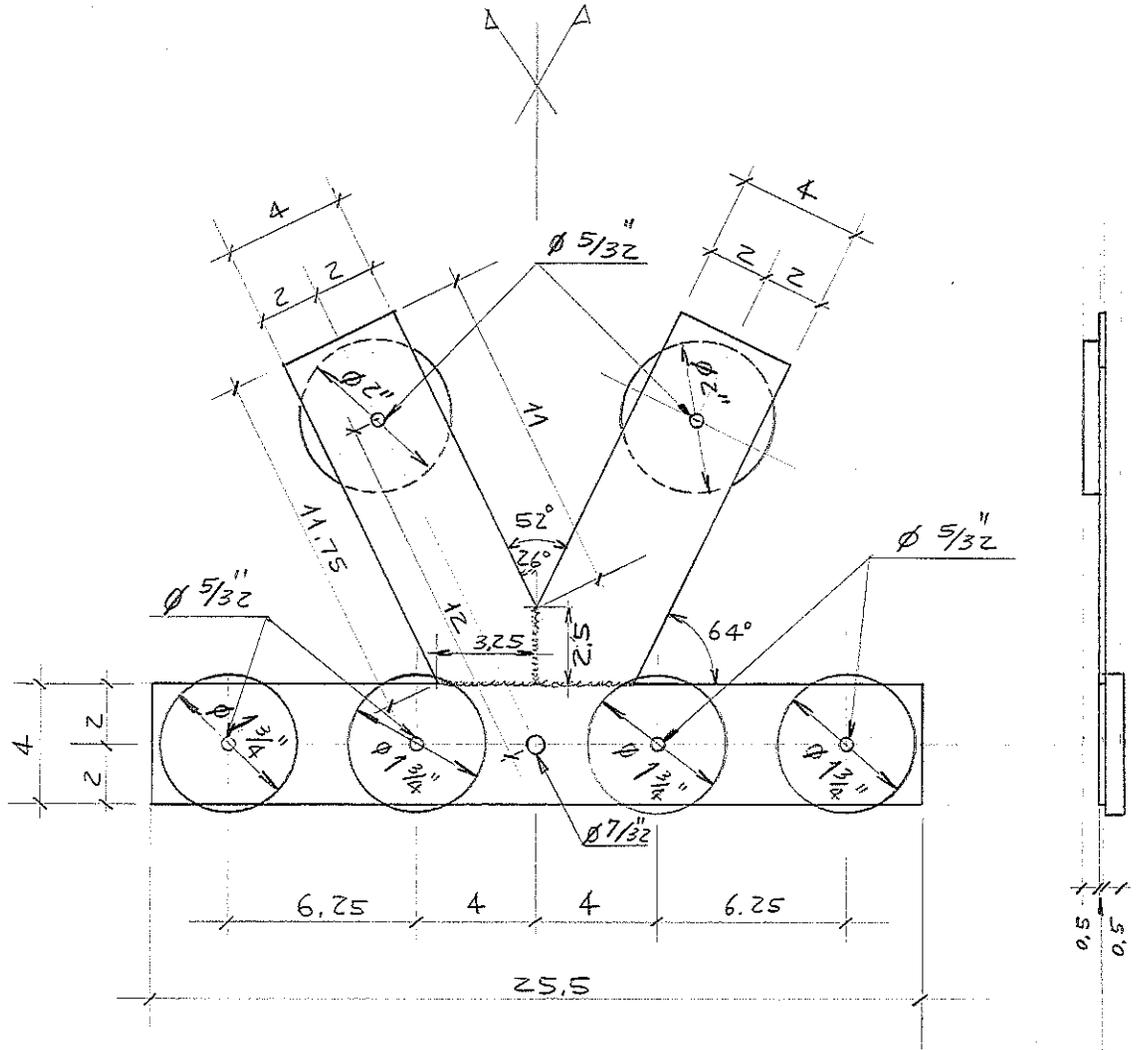


B) ENTRE (M) E (D)

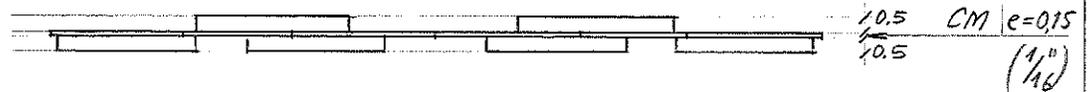


CONTINUAÇÃO DO N.º 5

C) ENTRE (D) E (BI)

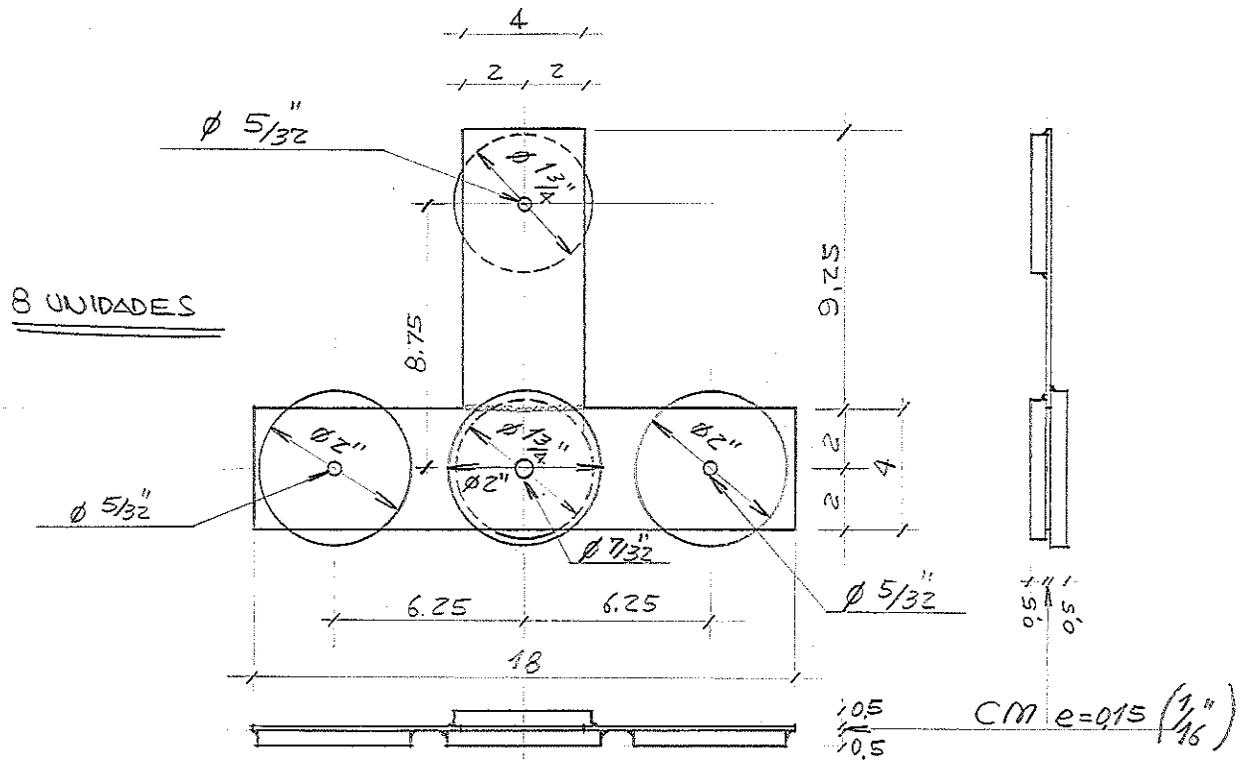


16 UNIDADES

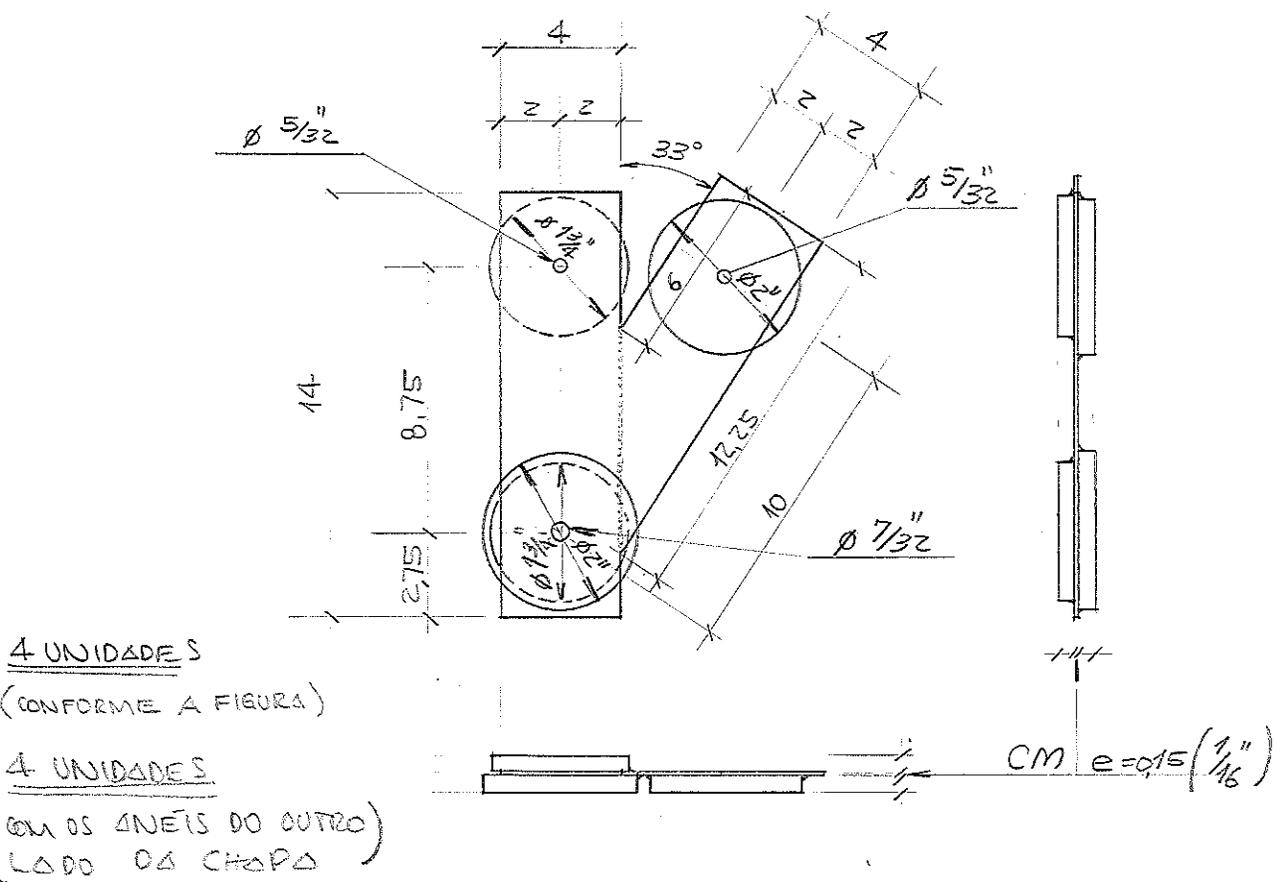


Nº 6

A) ENTRE (M) E (BI)

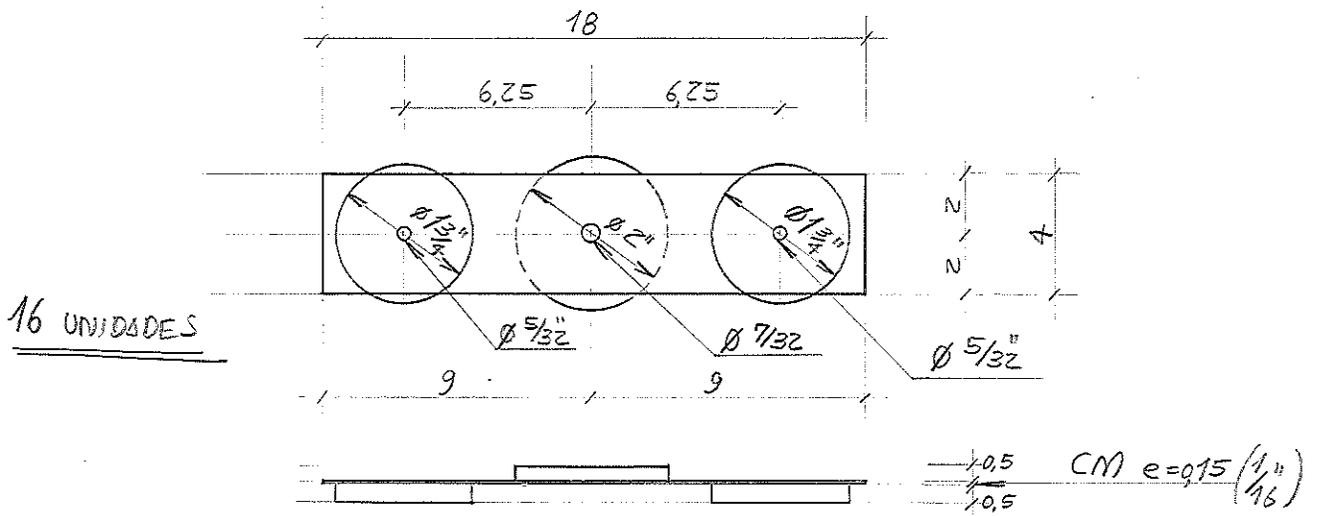


B) ENTRE (M) E (D)



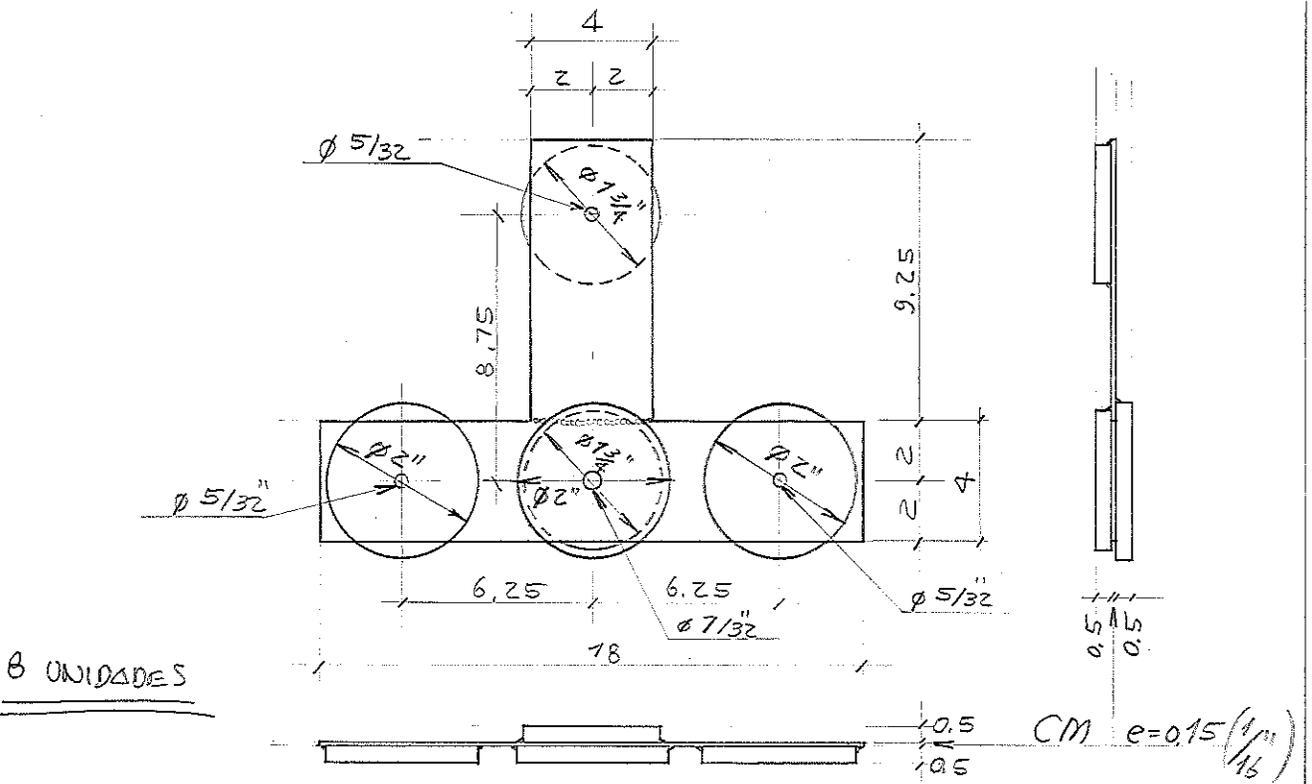
CONTINUAÇÃO DO Nº 6

C) ENTRE (D) E (BI)



Nº 7

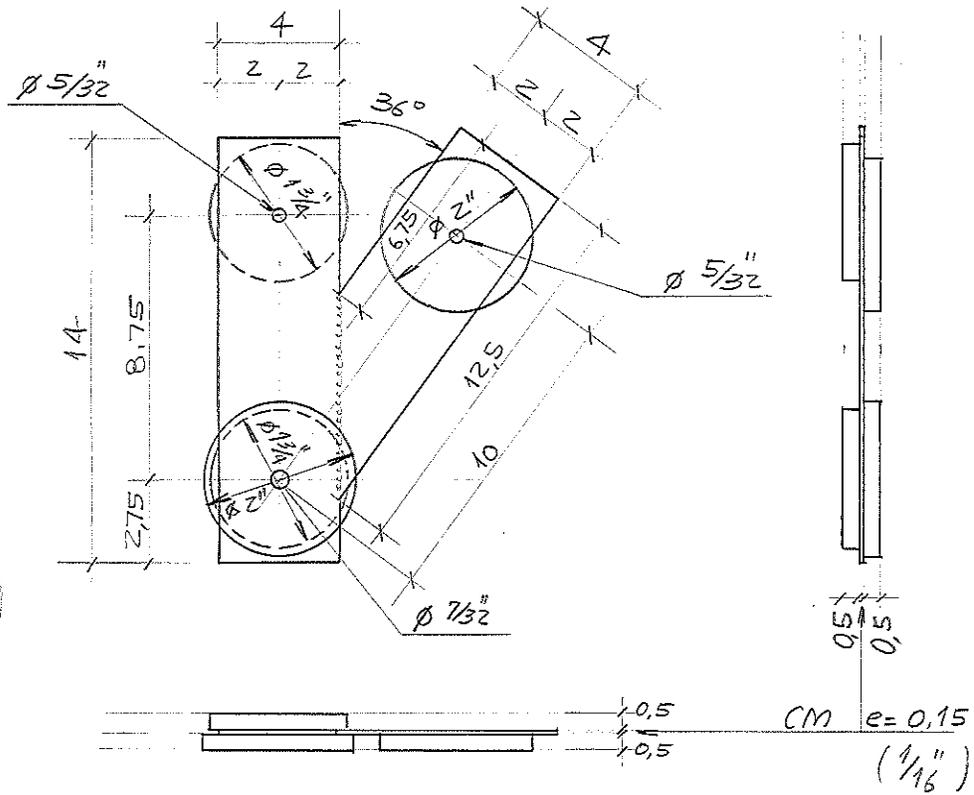
A) ENTRE (M) E (BI)



CONTINUAÇÃO DO N° 7

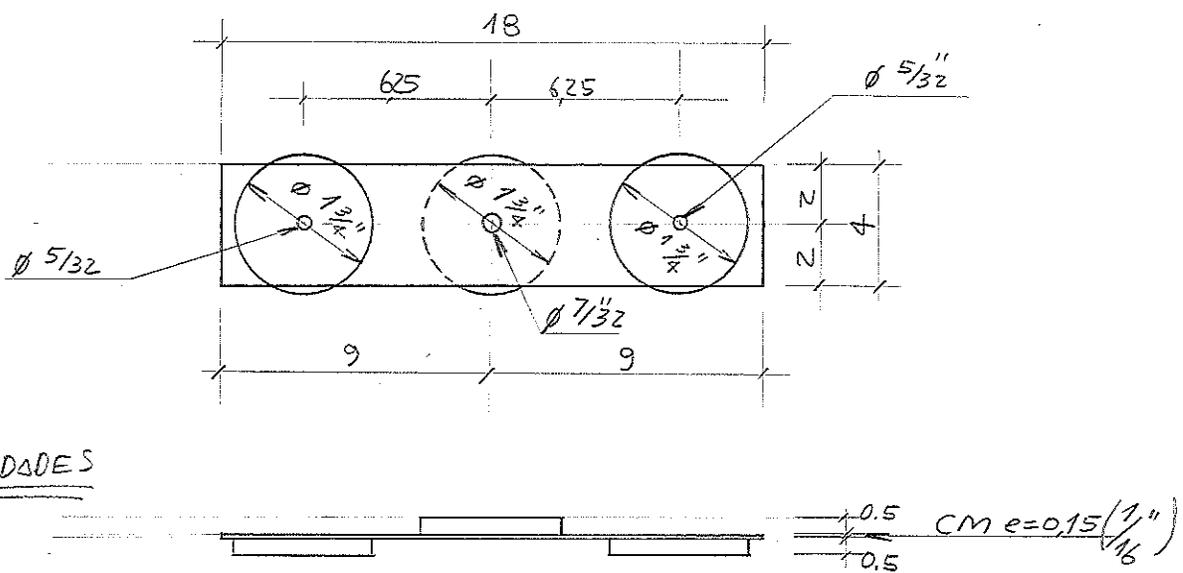
B) ENTRE (M) E (D)

4 UNIDADES
(CONFORME A FIGURA)
4 UNIDADES
(COM OS ANÉIS DO
OUTRO LADO DA CHAPA)



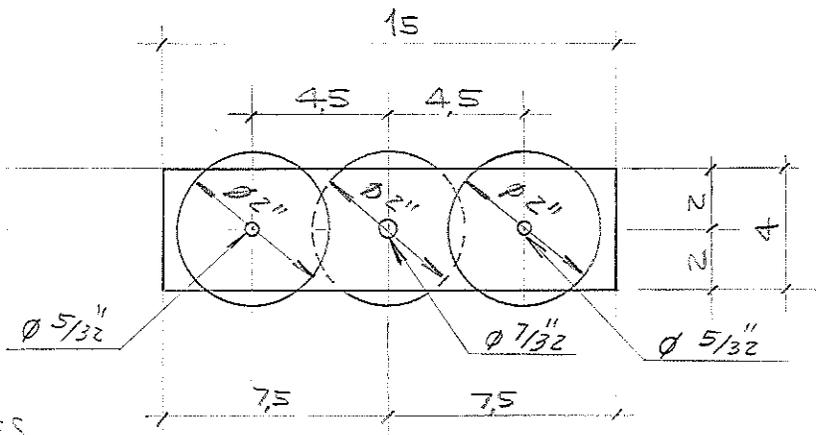
C) ENTRE (D) E (BI)

16 UNIDADES



Nº 8

A) ENTRE (M) E (BI)

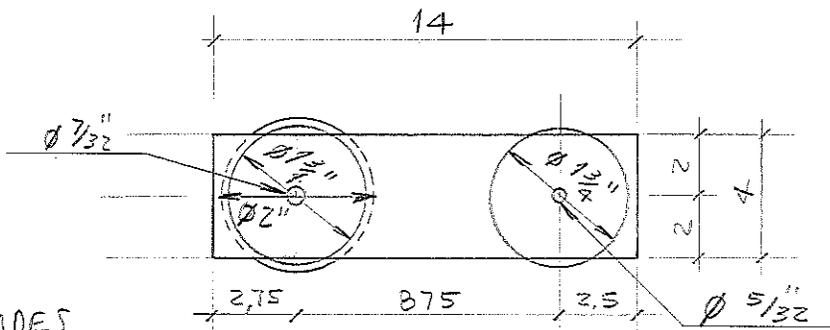


8 UNIDADES



$\frac{10.5}{10.5} CM e=0.15 \left(\frac{1}{16} \right)$

B) ENTRE (M) E (O)



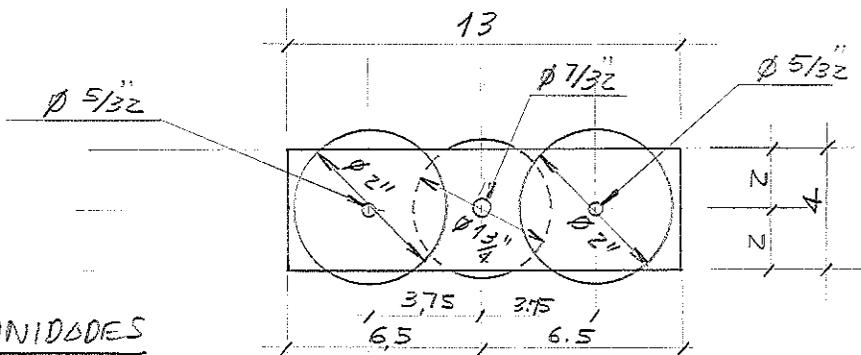
8 UNIDADES



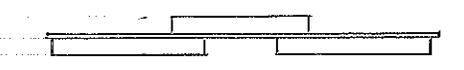
$\frac{10.5}{10.5} CM e=0.15 \left(\frac{1}{16} \right)$

Nº 9

A) ENTRE (M) E (BI) OU (E)



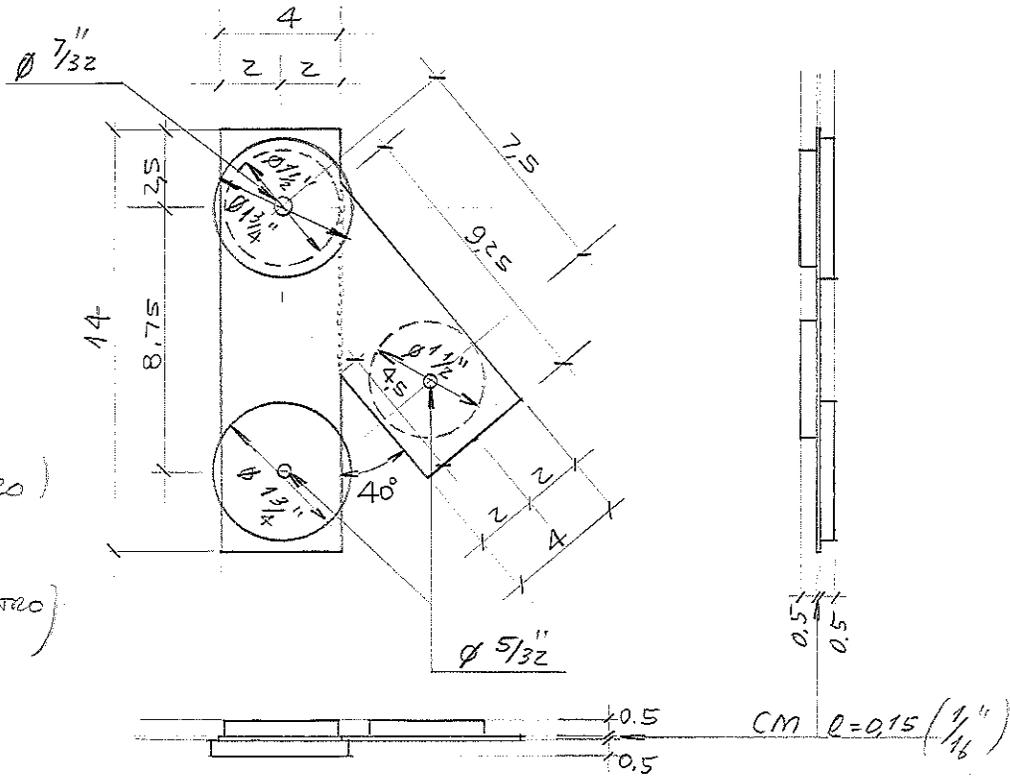
16 UNIDADES



$\frac{10.5}{10.5} CM e=0.15 \left(\frac{1}{16} \right)$

Nº 18

A) ENTRE (M) E (D)



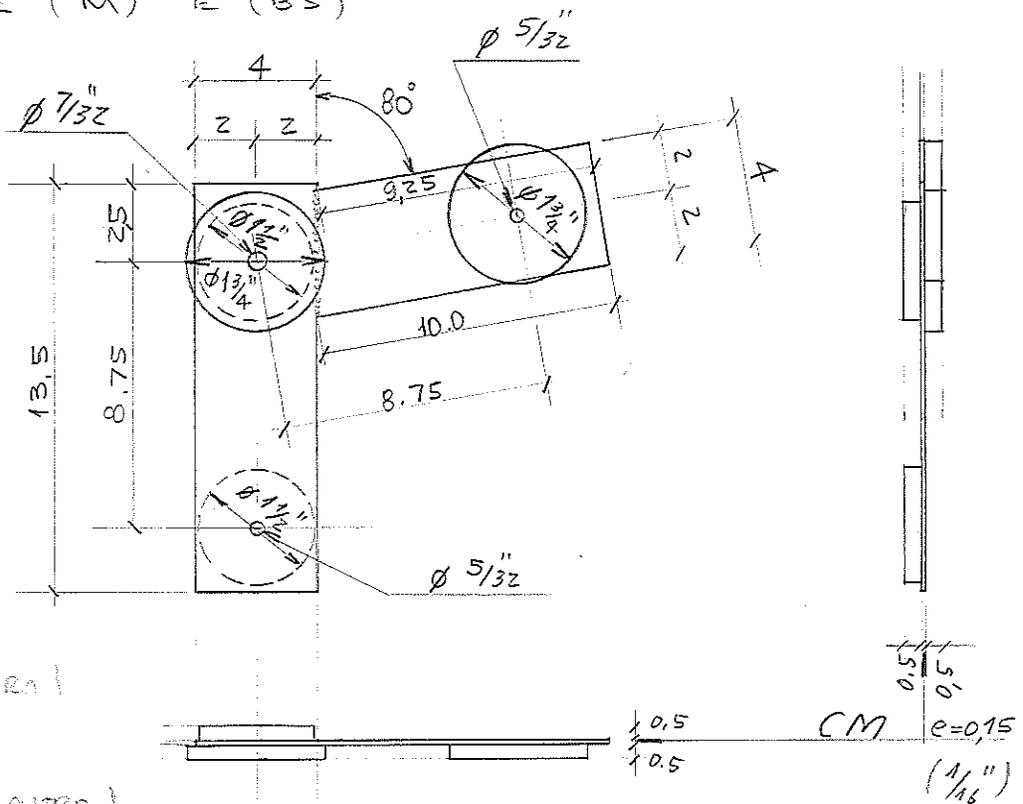
4 UNIDADES

(CONFORME A FIGURA)

4 UNIDADES

(COM OS ANÉIS DO OUTRO)
(LADO DA CHAPA)

B) ENTRE (M) E (BS)



4 UNIDADES

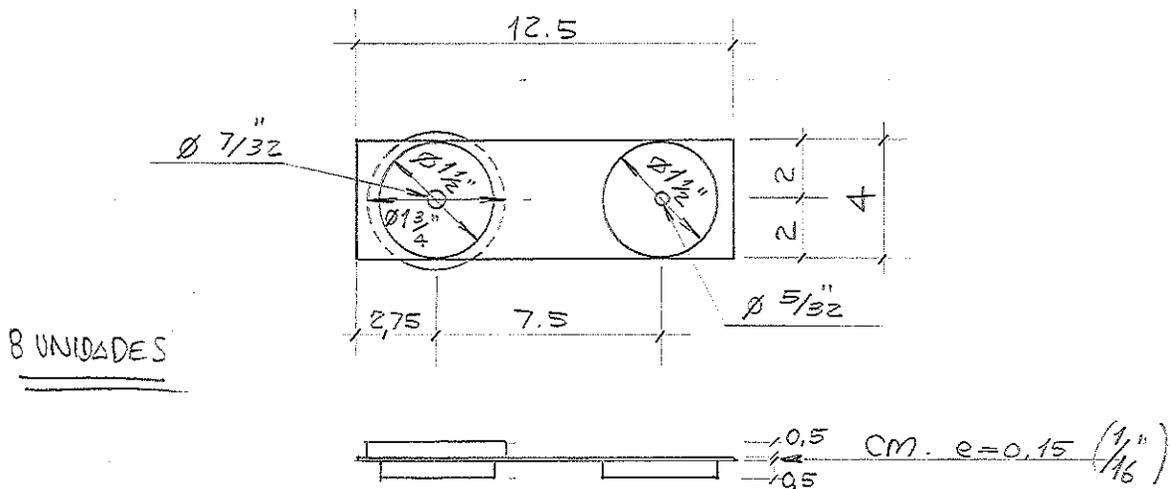
(CONFORME A FIGURA)

4 UNIDADES

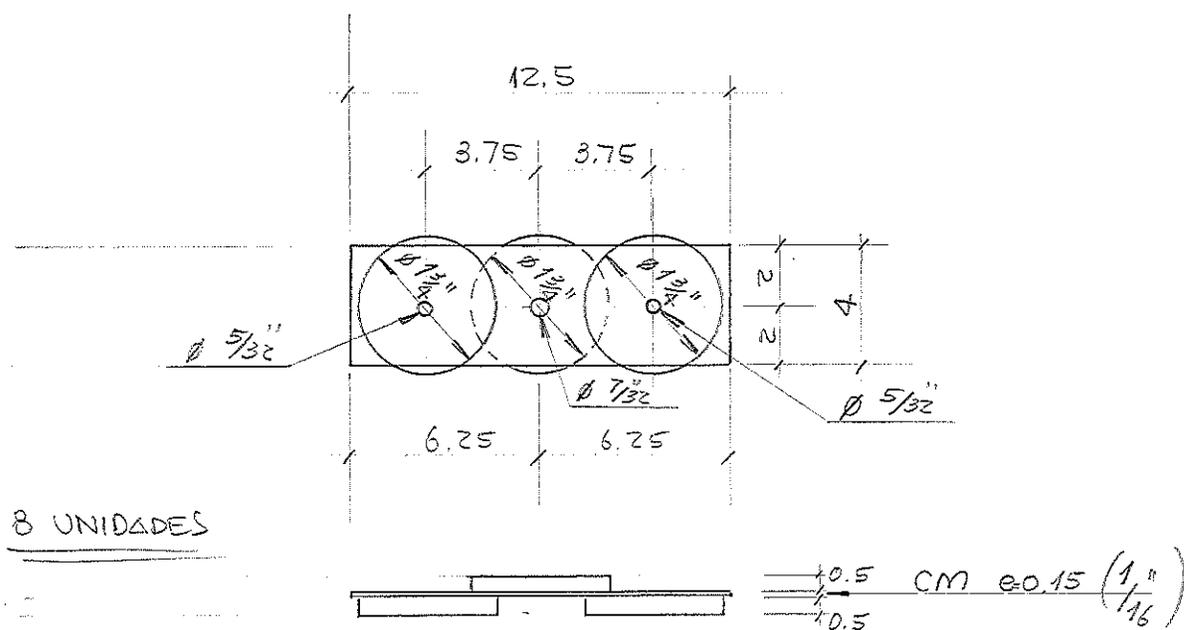
(COM OS ANÉIS DO OUTRO)
(LADO DA CHAPA)

Nº 19

A) ENTRE (M) E (D)



B) ENTRE (M) E (BS)



Nº 20

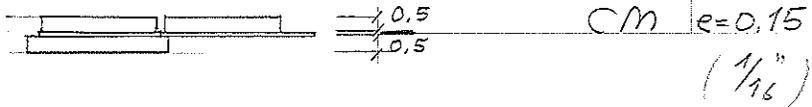
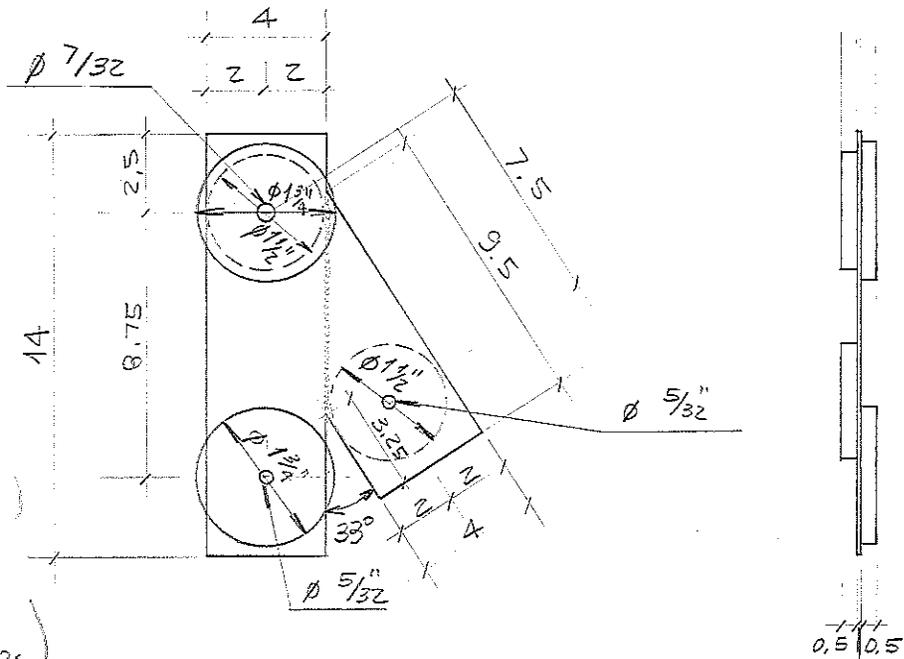
A) ENTRE (M) E (D)

4 UNIDADES

(CONFORME Δ FIGURA)

4 UNIDADES

(COM OS ANÉIS DO OUTRO LADO DA CHAPA)



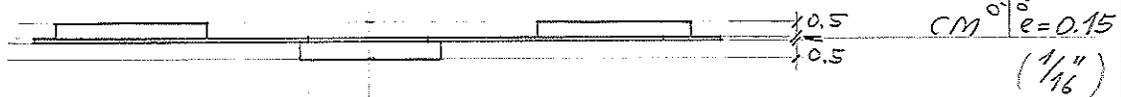
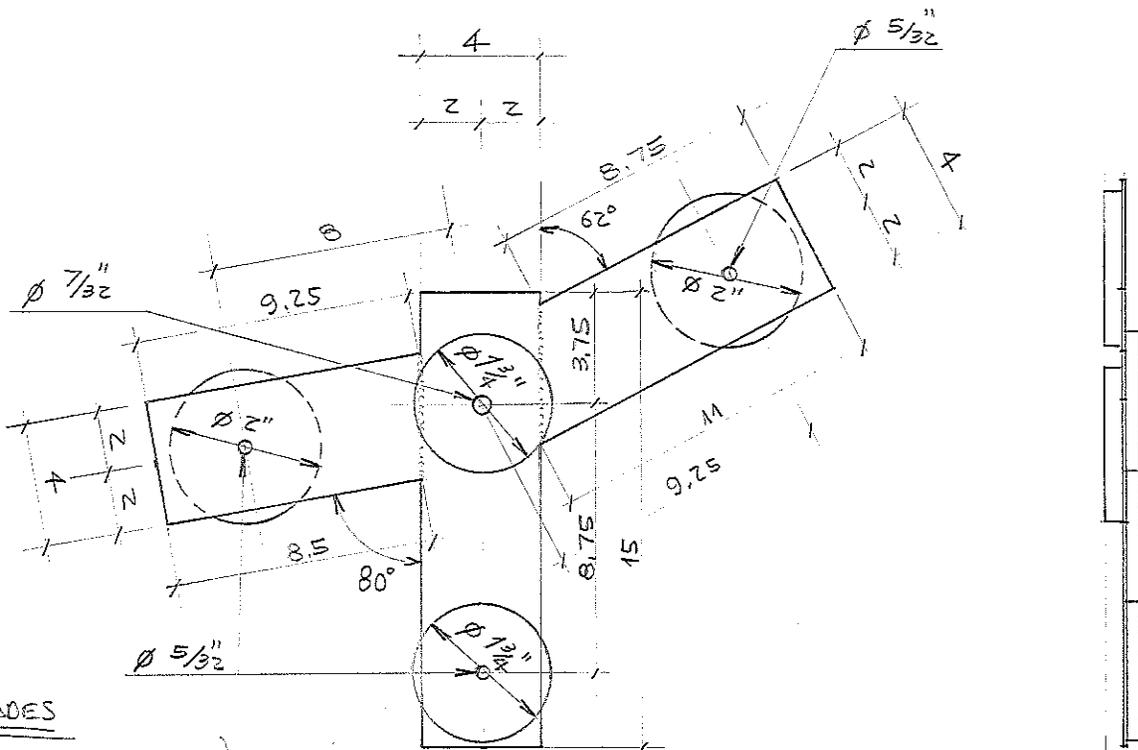
B) ENTRE (M) E (BS)

4 UNIDADES

(CONFORME Δ FIGURA)

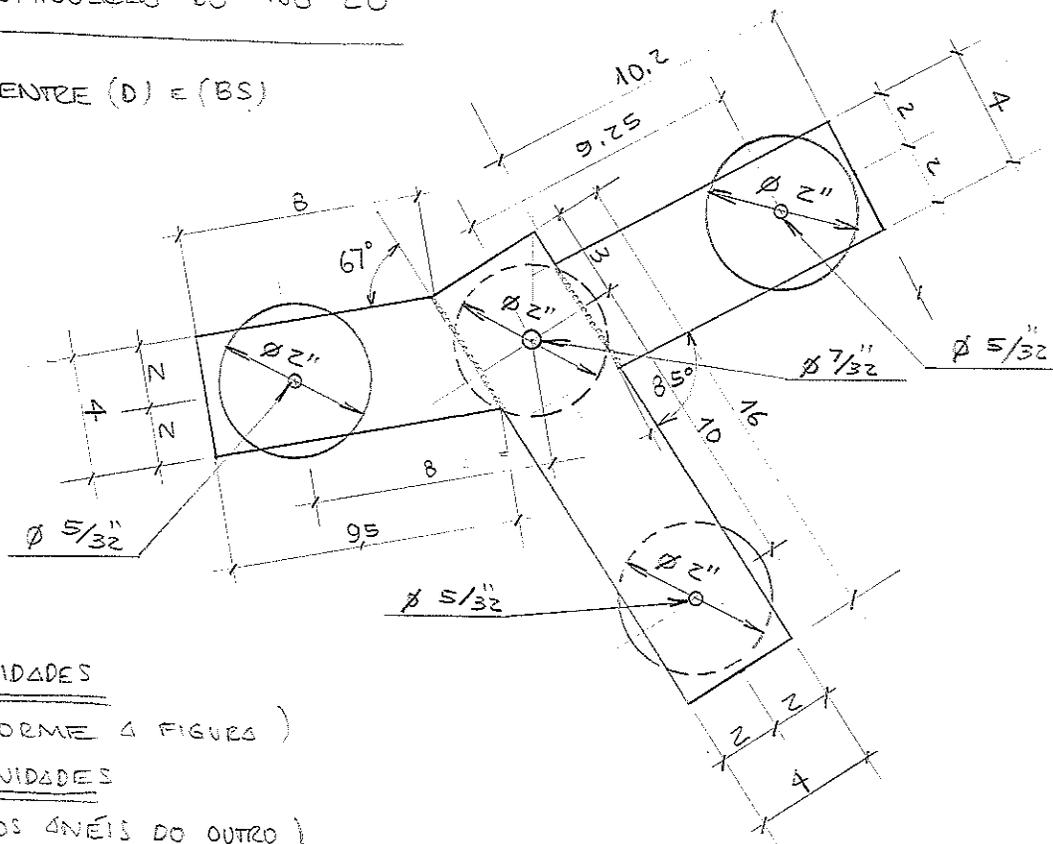
4 UNIDADES

(COM OS ANÉIS DO OUTRO LADO DA CHAPA)



CONTINUAÇÃO DO NÓ 20

C) ENTRE (D) E (BS)

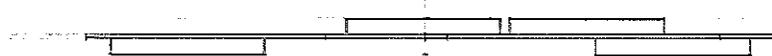


4 UNIDADES

(CONFORME A FIGURA)

4 UNIDADES

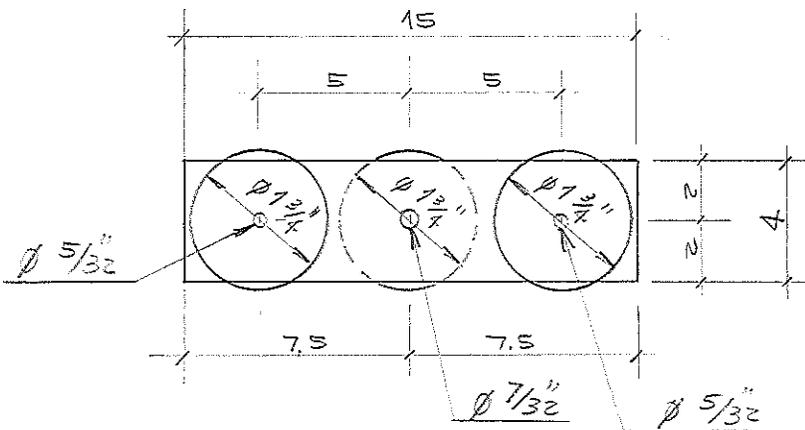
(COM OS ANÉIS DO OUTRO LADO DA CHAPA)



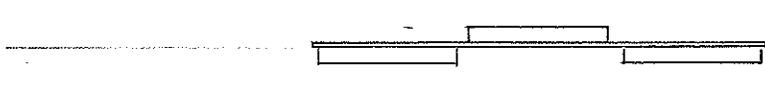
10,5
10,5 CM e = 0,15
(1/16)

NÓ 21

A) ENTRE (D) E (BS)



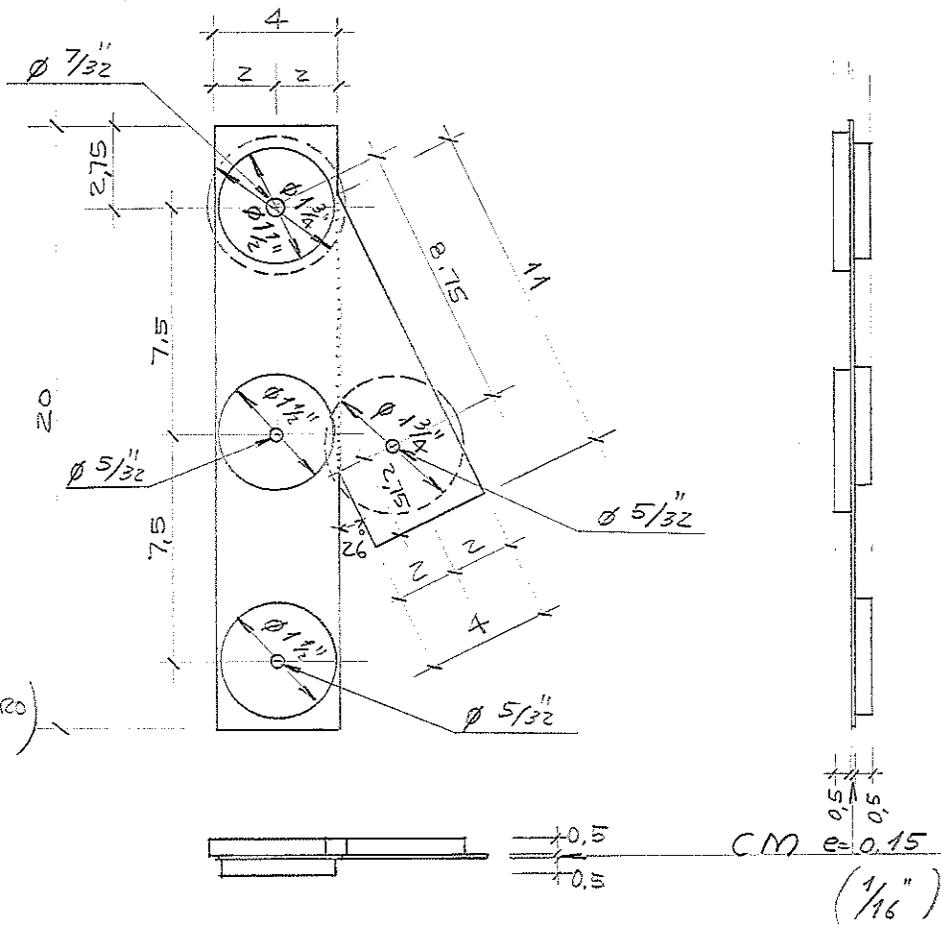
8 UNIDADES



CM e = 0,15 (1/16)

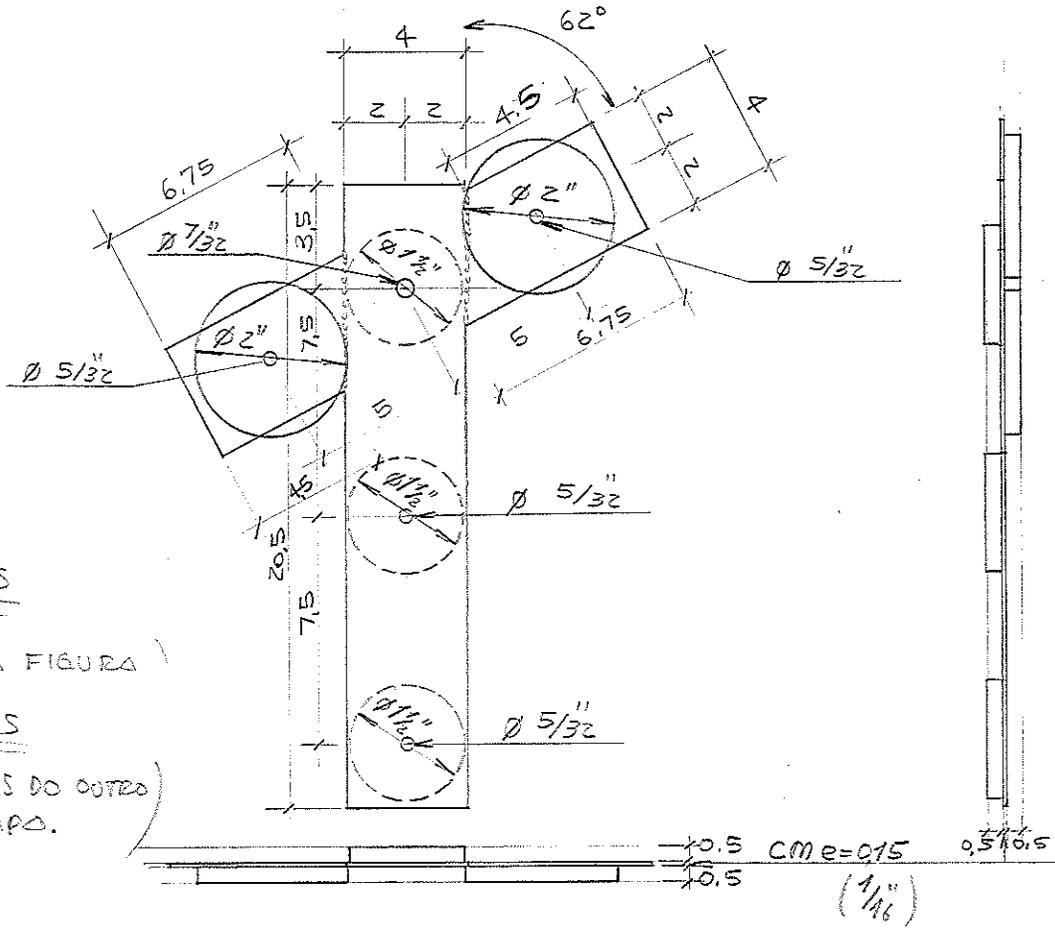
CONTINUAÇÃO DO Nº 21

B) ENTRE (M) E (D)



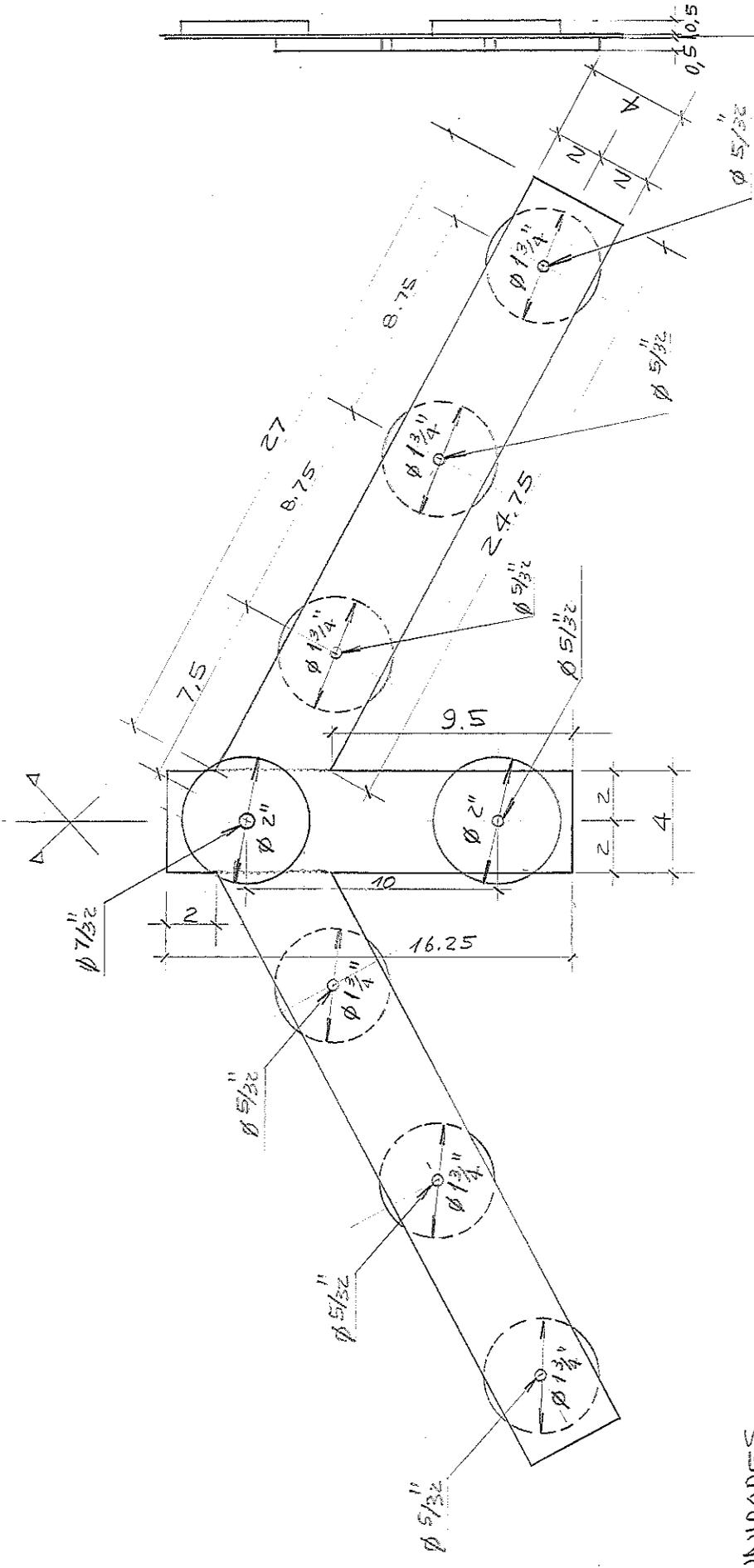
4 UNIDADES
(CONFORME A FIGURA)
4 UNIDADES
(COM OS ANEIS DO OUTRO LADO DA CHAPA.)

C) ENTRE (M) E (BS)



4 UNIDADES
(CONFORME A FIGURA)
4 UNIDADES
(COM OS ANEIS DO OUTRO LADO DA CHAPA.)

NO. 22



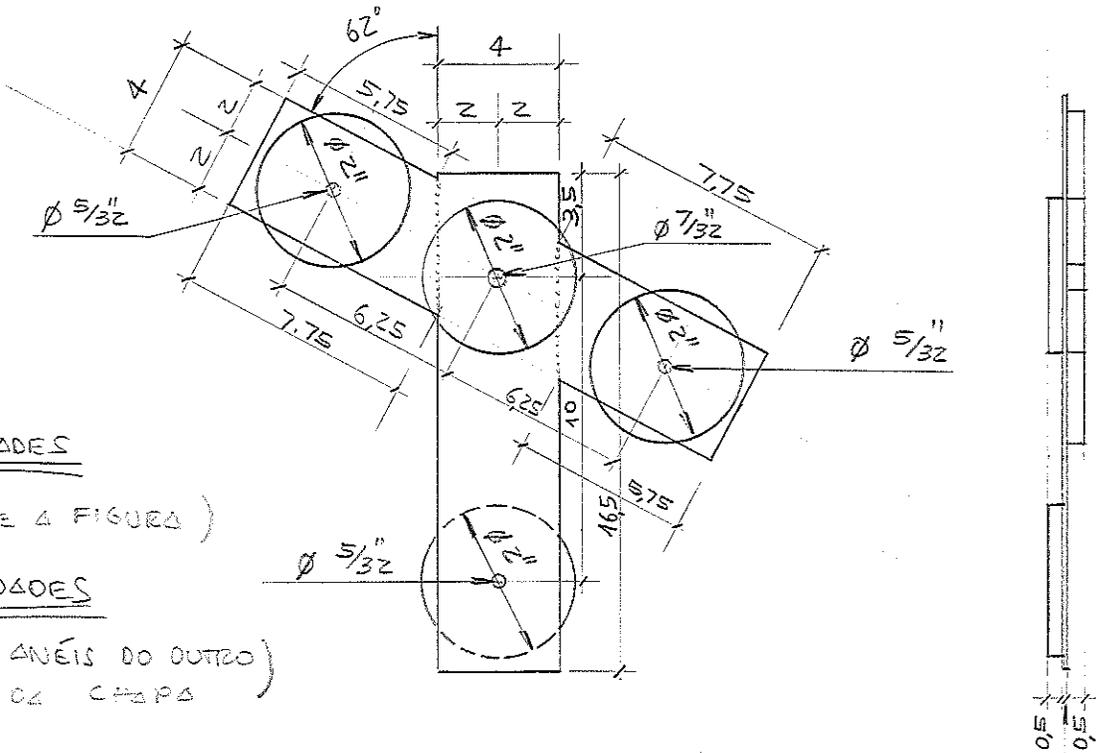
0.5 CM $e=0.15$
 1.05
 (1.1)



8 UNIDADES

Nº 23

A) ENTRE (M) E (BS)

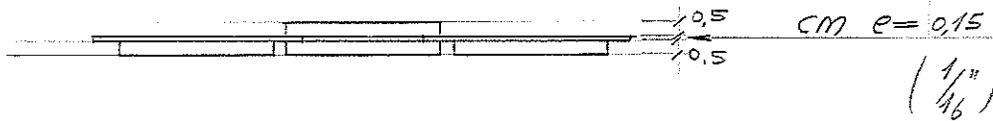


4 UNIDADES

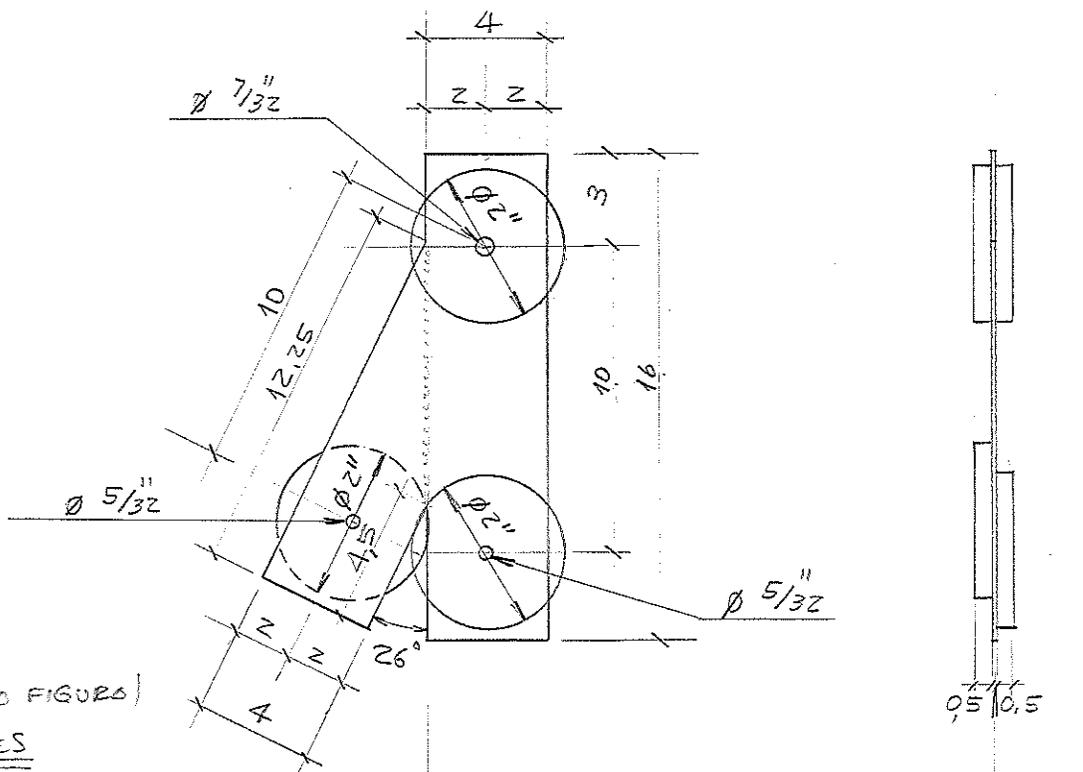
(CONFORME A FIGURA)

4 UNIDADES

(COM OS ANÉIS DO OUTRO LADO DA CHAPA)



B) ENTRE (M) E (D)

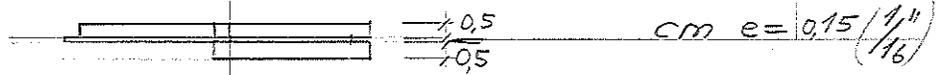


4 UNIDADES

(CONFORME A FIGURA)

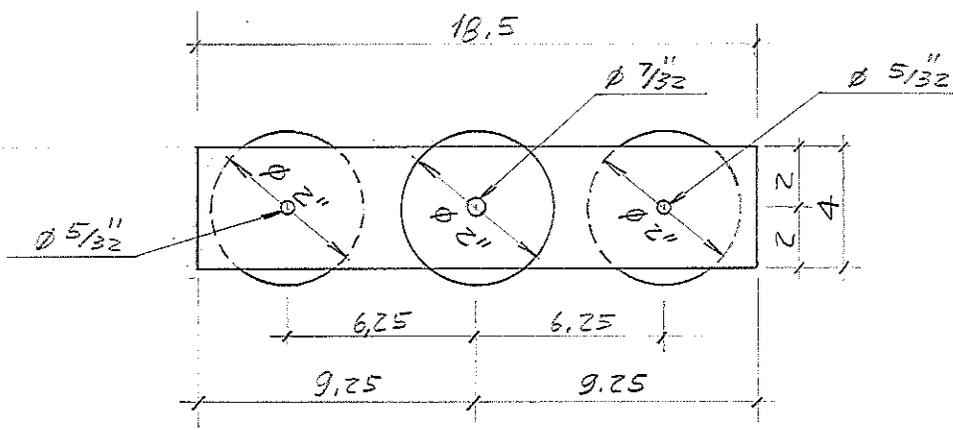
4 UNIDADES

(COM OS ANÉIS DO OUTRO LADO DA CHAPA)



CONTINUAÇÃO DO Nº 23

C) ENTRE (D) E (BS)



8 UNIDADES



Nº 24

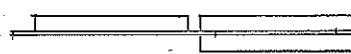
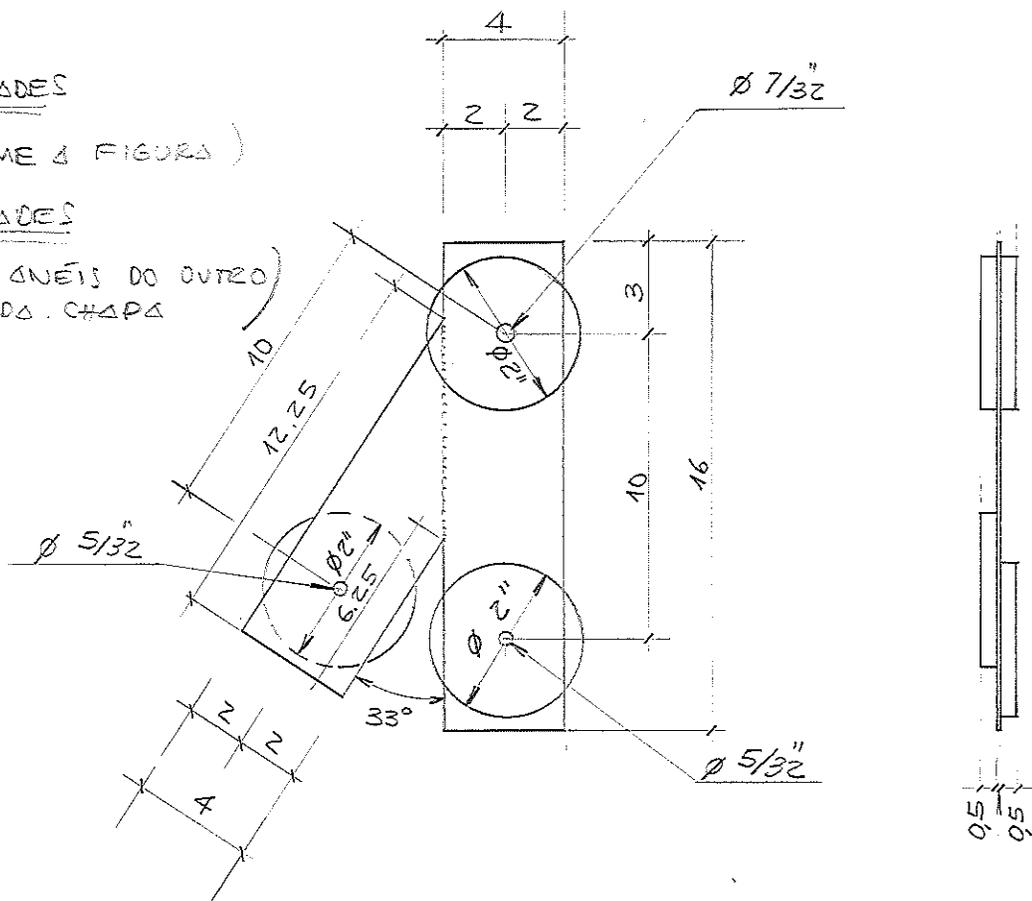
A) ENTRE (M) E (D)

4 UNIDADES

(CONFORME A FIGURA)

4 UNIDADES

(COM OS ANÉIS DO OUTRO LADO DA CHAPA)

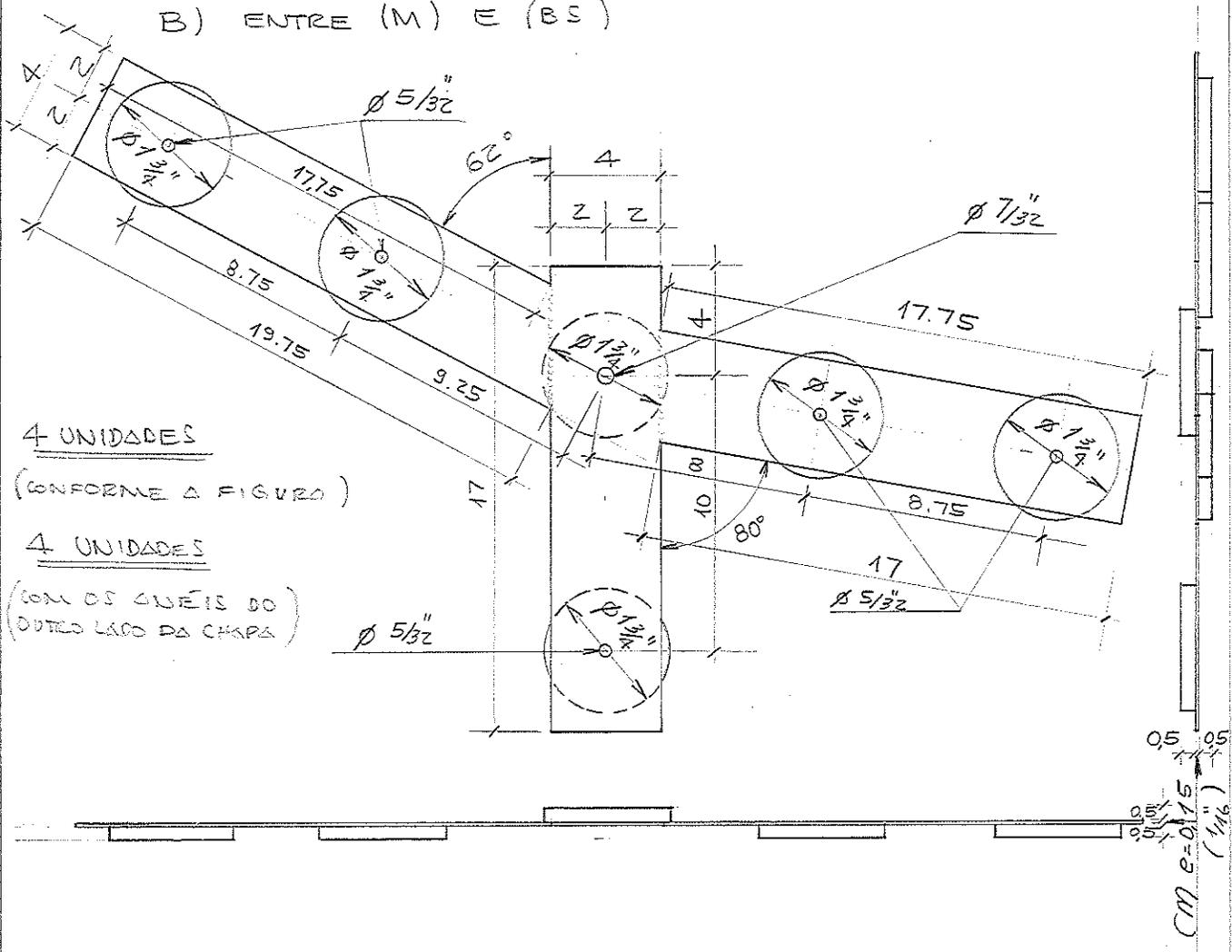


0.5
1.1

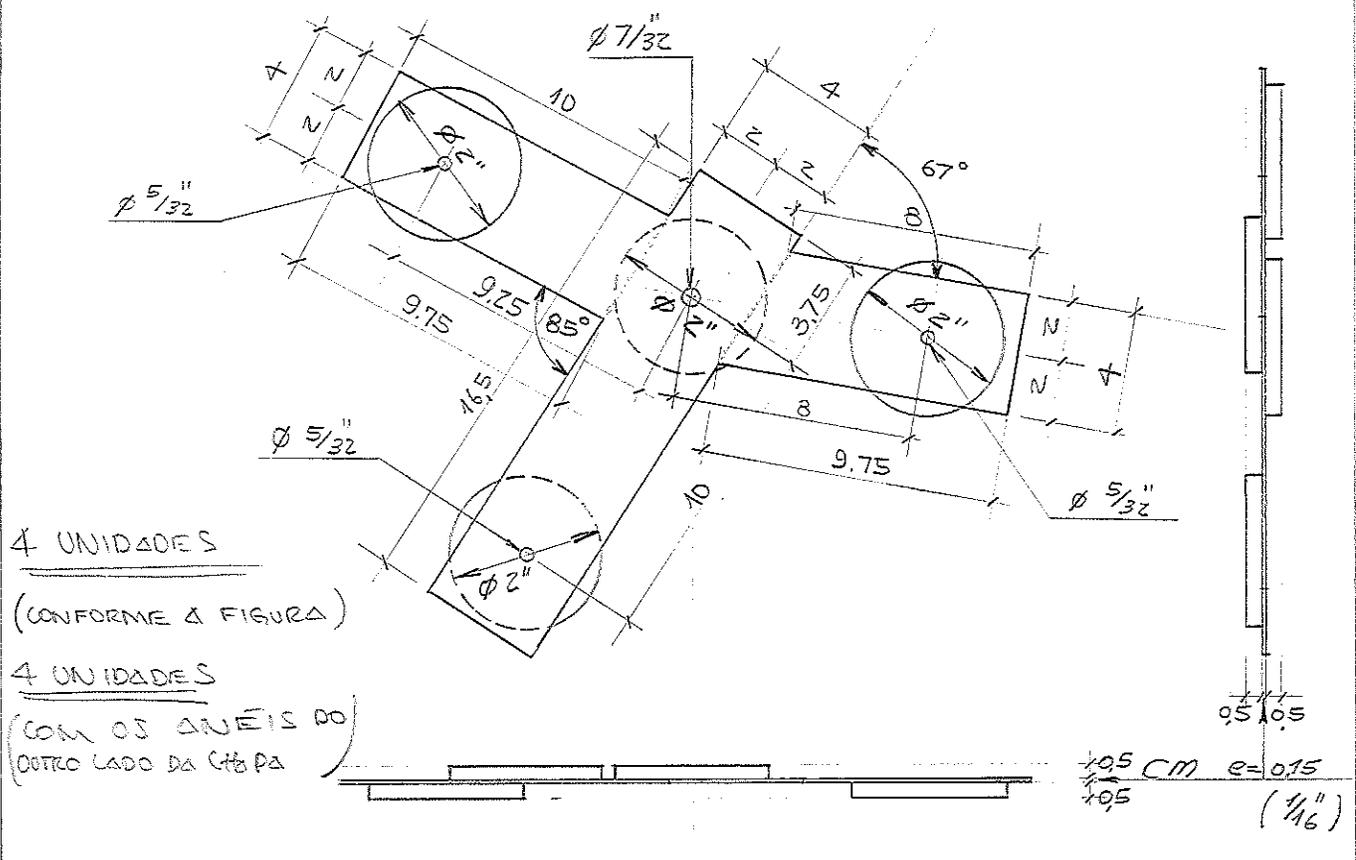
CM e = 0.15 (1.1 / 16)

CONTINUAÇÃO DO N.º 24

B) ENTRE (M) E (BS)



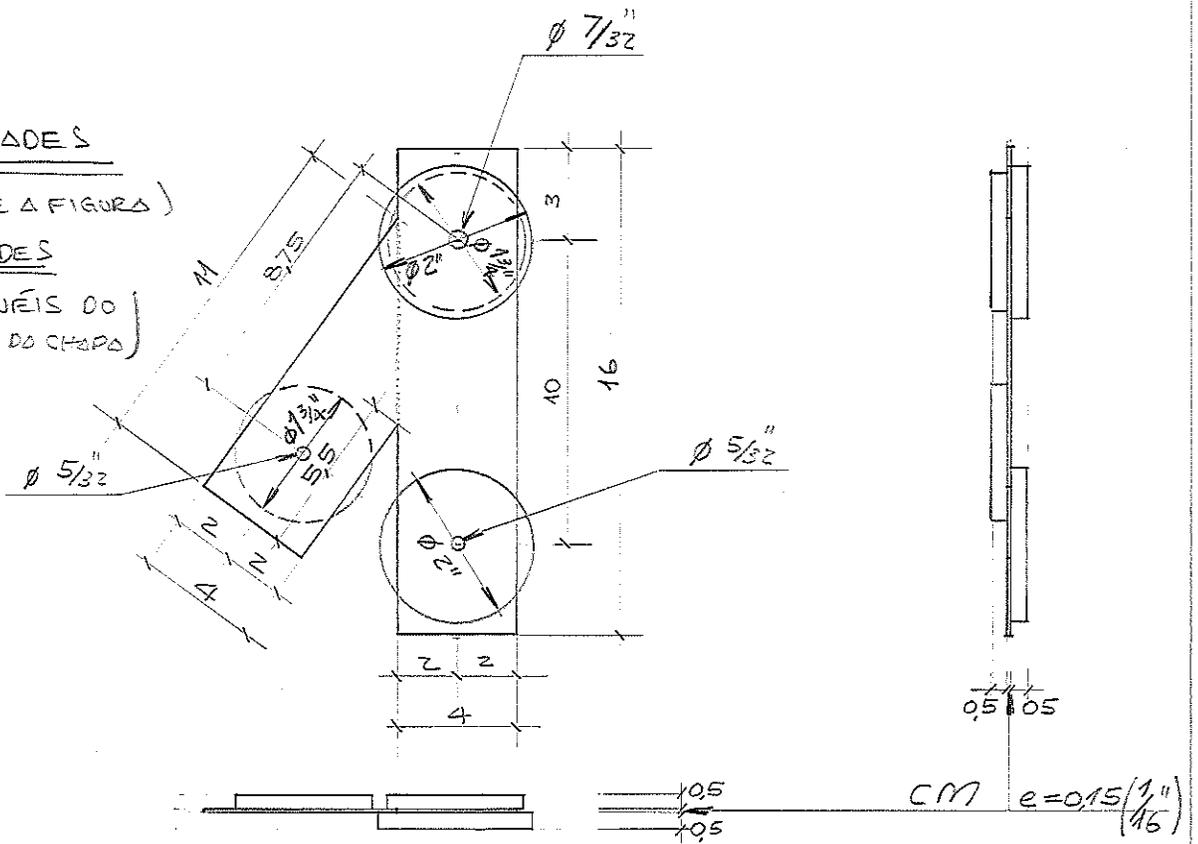
C) ENTRE (D) E (BS)



Nº 25

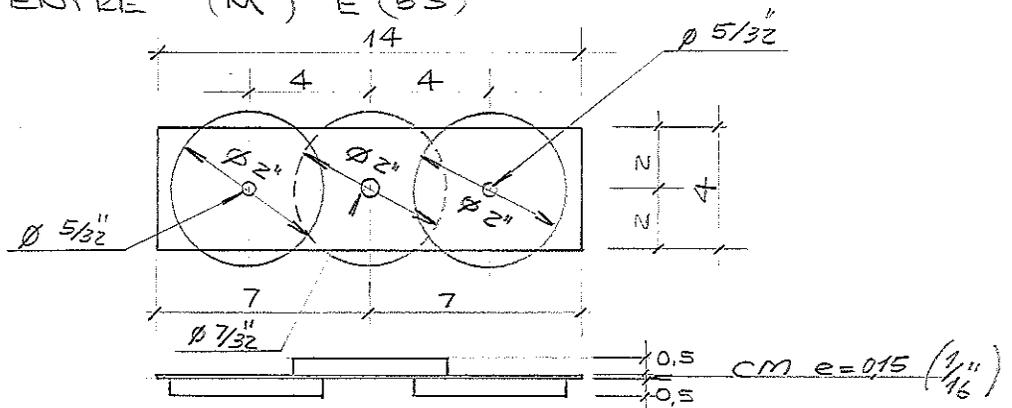
A) ENTRE (M) E (D)

4 UNIDADES
(CONFORME A FIGURA)
4 UNIDADES
(COM OS ANÉIS DO OUTRO LADO DO CHAPA)



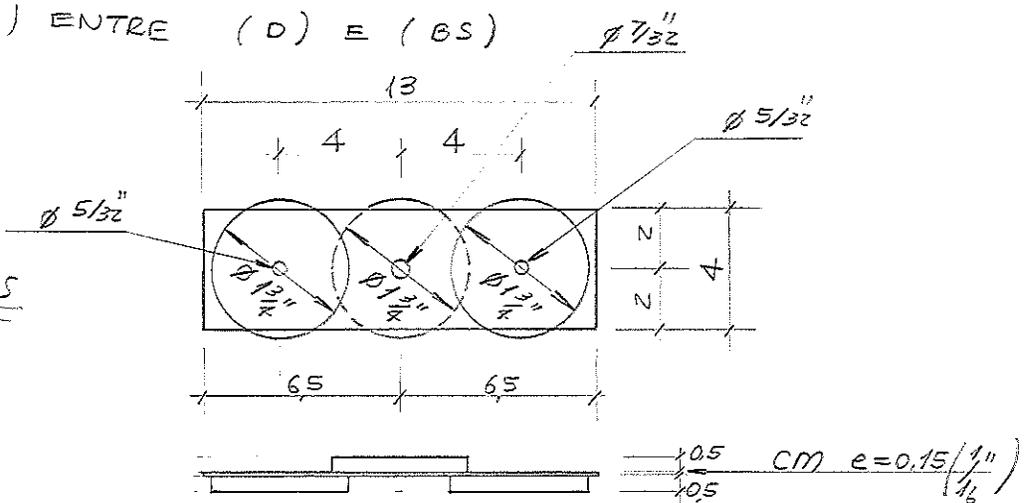
B) ENTRE (M) E (BS)

8 UNIDADES



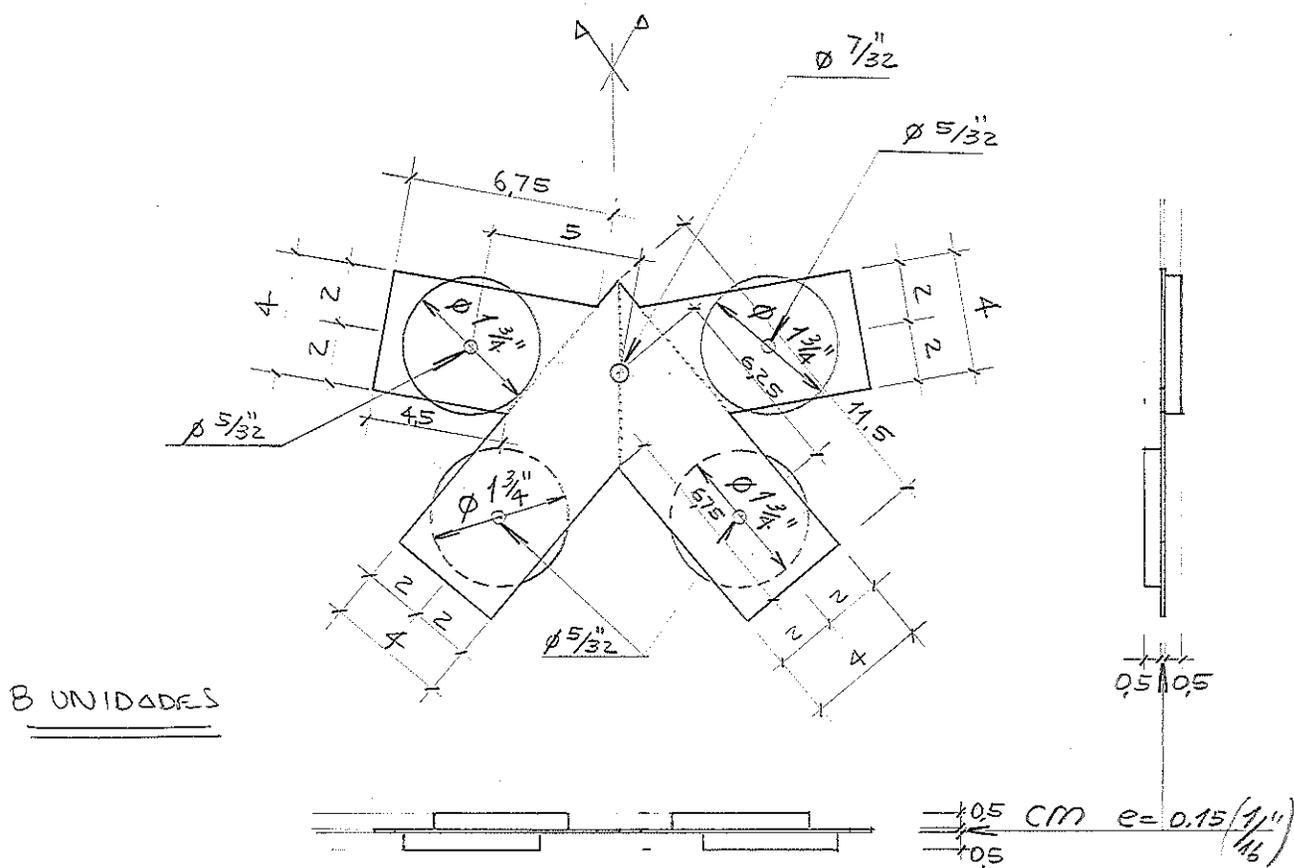
C) ENTRE (D) E (BS)

8 UNIDADES



CONTINUAÇÃO DO Nº 26

C) ENTRE (D) E (3S)

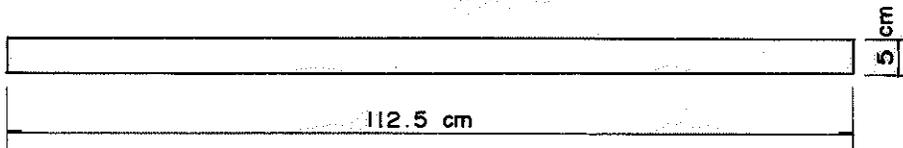


V.2 - Sequência de montagem

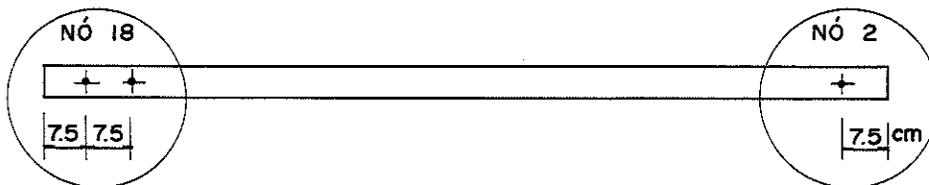
Com os elementos disponíveis até o presente momento, já se tem condições de montar o modelo pouco reduzido, obedecendo o roteiro a seguir:

Apenas para se fazer um acompanhamento ilustrativo, será considerado, neste roteiro, o elemento 50 da viga treliçada, reduzido na proporção 1:4.

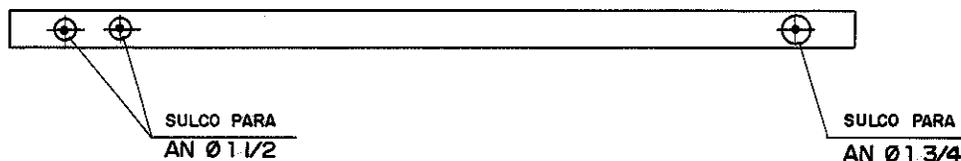
1 - Preparação das peças de madeira que compõem os elementos da viga treliçada, serrando-as de acordo com as dimensões apresentadas na figura 38.

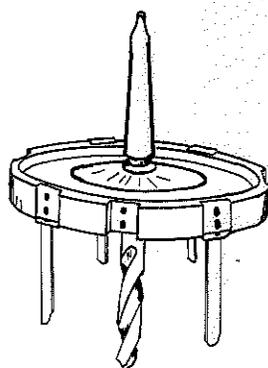


2 - Com as distâncias apresentadas nas ilustrações de cada nó (Capítulo III), são feitos os furos nas peças de madeira, para a colocação dos parafusos de fixação das chapas de ligação.



3 - Feitos esses furos, passa-se a executar, com equipamento apropriado, os sulcos destinados à penetração dos anéis.



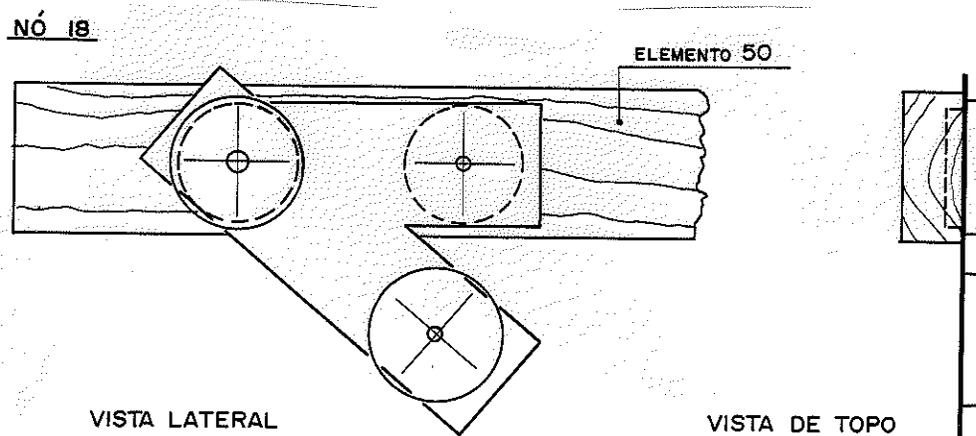


FERRAMENTA PARA PREPARAÇÃO
DOS SULCOS PARA OS ANÉIS

{ 11.58 }

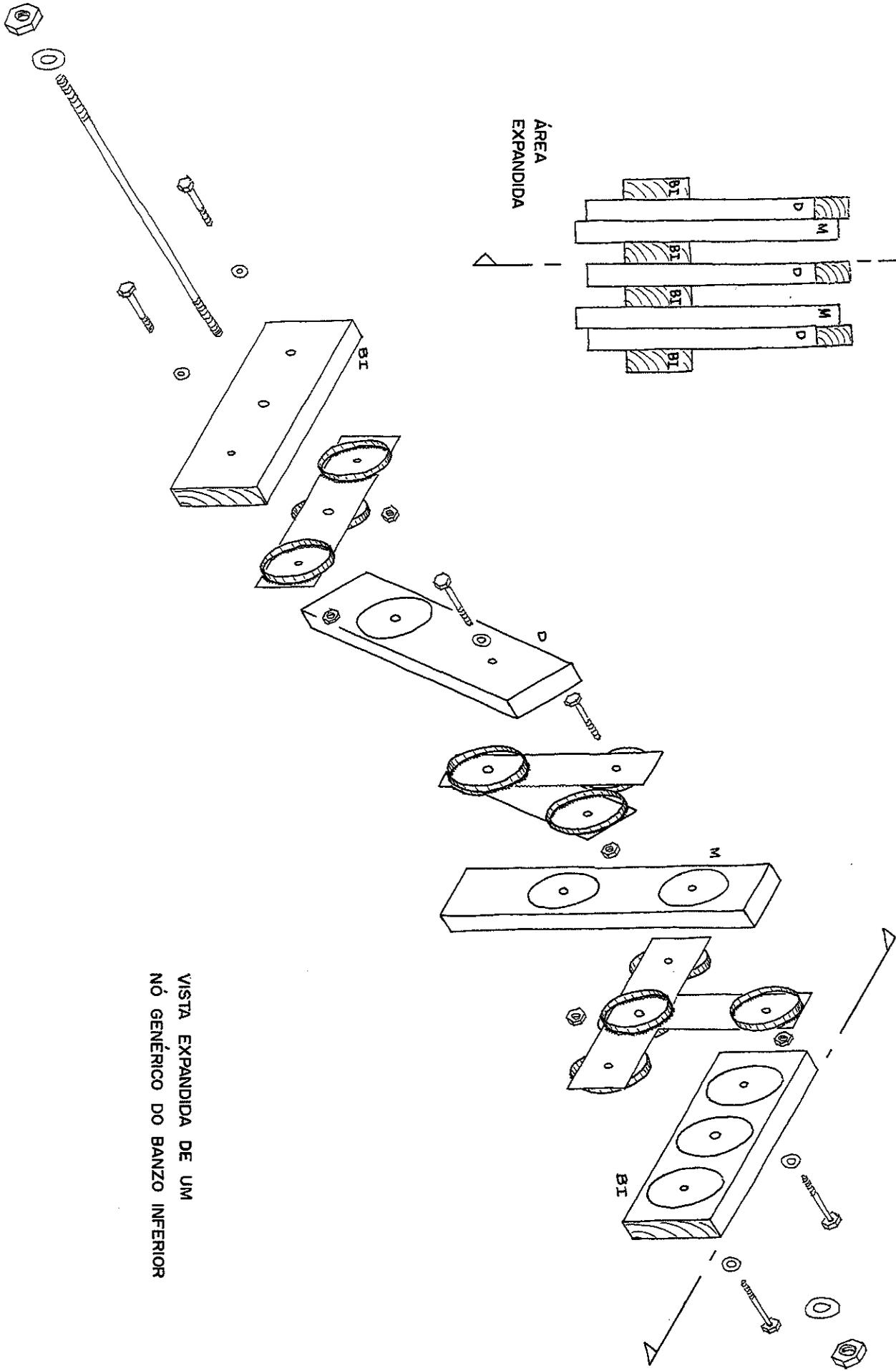
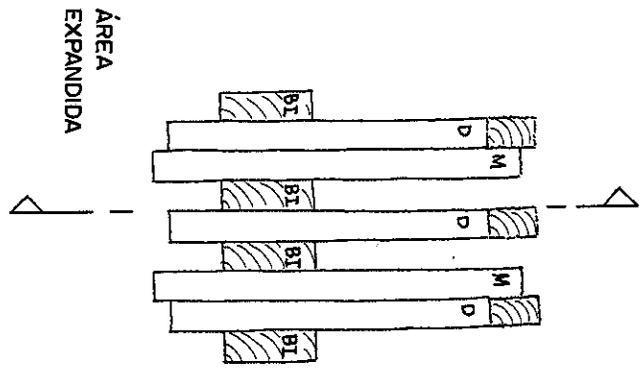
4 - Neste passo, as peças de madeira estão prontas para receber os anéis e chapas com anéis. As chapas com anéis são apresentadas neste capítulo, com as dimensões do modelo pouco reduzido.

Observa-se na ilustração para o nó 18 (Capítulo III), que as peças externas da diagonal aqui exemplificada, recebem a chapa com anéis para o nó 18 caso "A", apresentada anteriormente.



Observa-se na ilustração para o nó 2 (Capítulo III), que as peças da diagonal aqui exemplificada, recebem apenas anel. Neste caso ele é encaixado na hora da composição do nó.

Para ilustrar a composição dos nós, é apresentada a seguir uma vista expandida de um nó genérico do banzo inferior



VISTA EXPANDIDA DE UM
NÓ GENÉRICO DO BANZO INFERIOR

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CAPÍTULO VI

Considerações finais

- Após um estudo detalhado dos problemas que surgem ao se projetar uma ponte classe 36, utilizando a madeira como material de construção, pode-se verificar que a construção desta ponte, nas condições aqui apresentadas, tirando-se proveito do efeito de continuidade através de um esquema treliçado, é uma realidade.

- Considerando o objetivo a que a presente estrutura é destinada, isto é, suportar o trem-tipo classe 36, com vão livre de 20m, pode-se verificar que a mesma se apresenta bastante leve, além de proporcionar uma estética agradável, comportando-se como uma verdadeira obra de arte.

- O efeito de continuidade, transmitido pelos elementos da treliça próximos aos apoios internos, foi racionalmente estudado, fazendo-se variações na posição e dimensão dos mesmos. Pode-se verificar então, que os esforços propagados por estes elementos, são bem homogêneos, não havendo grande variação de um elemento para outro, proporcionando assim melhor distribuição de esforços entre eles.

- As ligações, principalmente as que formam os nós da treliça aqui estudada, devem ser encaradas com seriedade, pois estão submetidas a esforços elevados, não podendo ser realizadas por parafusos, como geralmente se faz em estruturas menos solicitadas.

Com a aplicação de uma tecnologia pouco conhecida no Brasil mas em estudo no LaMEM, as ligações são feitas por anéis metálicos, solidando a madeira por cisalhamento. Essas ligações se tornaram realizáveis através da aplicação desses anéis soldados em chapas metálicas, dando possibilidade de se utilizar mais de um anel em um único elemento de madeira, aumentando a capacidade de carga da ligação.

- No início do dimensionamento definitivo, foi considerado no item III.5.1, uma carga média de 770kg por nó da treliça, referente a seu peso próprio. Na NB-11, art. 5/ {2.4}, existe uma determinação para que o peso próprio definitivo da estrutura, não deva diferir de mais de 10% do peso próprio inicialmente admitido para o cálculo. Fazendo uma avaliação do peso próprio definitivo da viga treliçada, considerando: madeiramento, chapas metálicas, anéis, parafusos, porcas e aruelas, obtém-se para peso total da viga uma carga de 13450kg. Considerando este peso total distribuído em média para cada nó, resulta 840kg por nó. Portanto:

$$\frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100 \leq 10\%$$

$$\frac{840 - 770}{770} \times 100 = 9\% < 10\%$$

Além de atender à NB-11, art. 5, pode-se verificar que a viga aqui apresentada tem um peso próprio bem pequeno, comparado com o peso das pontes convencionais existentes.

- Na escolha da madeira a ser utilizada, a Peroba Rosa se mostra favorável por ser de densidade elevada, de grande resistência mecânica e pela sua disponibilidade atual. Entretanto, o projeto pode ser ainda adaptado para outras espécies de características semelhantes. A Peroba Rosa apresenta também a vantagem de ser uma madeira de boa trabalhabilidade e de boa resistência ao ataque de insetos xilófagos e de fungos apodrecedores. O único inconveniente são as fibras retorcidas, o que não chega a comprometer estruturalmente, mas, para maior segurança, desenvolve-se atualmente no LaMEM, um estudo voltado para a classificação das peças de madeira, possibilitando então o emprego de peças mais resistentes, nas regiões de maior solicitação de esforços.

- Quanto à construção final da ponte, dando enfoque maior às vigas principais em forma treliçada, fica demonstrado que, embora pareça uma composição complexa, na realidade pode ser seguida uma sequência lógica de montagem, fazendo com que a construção se resuma num simples encaixar de peças. Não pode passar despercebido no entanto, que para se chegar a esse estágio, é necessário que as peças de ligação (chapa metálica com os anéis soldados) já estejam prontas. Essas peças de ligação são de execução trabalhosa, exigindo algumas horas de serviço em oficina mecânica.

Com essas considerações, fica claro ter-se aqui, um projeto de ponte classe 36, de execução bastante rápida, pronto para atender às nossas rodovias secundárias e vicinais, favorecendo o escoamento da produção agrícola e pecuária para os centros consumidores.

O interesse fundamental é sem dúvida, que este trabalho possa atingir o maior número de pessoas, profissionais e estudantes, tendo como objetivo único o benefício da coletividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION - Timber construction manual. 2.ed. New York, J.Wiley, 1974.
- 2- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NB-11 de 1951.
- 3- _____ - NB-6 de 1960.
- 4- BRASIL. Convênio IBDF-IPT-ABPM - Boletim Técnico, São Paulo, 1(1):1-122, mai, 1973.
- 5- BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - Metodologia para implantação de estradas na Amazônia. Rio de Janeiro, 1976.
- 6- DARKOV, A. & KUZNETSOV, V. - Structural mechanics. Moscow, MIR, s.d. cap.4
- 7- FINDLAY, W.P.K. - Timber: properties and uses. London, Crosby Lockwood Staples, 1974.
- 8- GIORDANO, Guglielmo - La moderna tecnica delle costruzioni in legno. Milano, U.Hoepli, 1964. v.1
- 9- HANSEN, Howard J. - Diseño moderno de estructuras de madera. México, Continental, 1961.
- 10- HELLMEISTER, J.C. - Estruturas de madeira. 2.ed. São Carlos, EESC/USP, 1977. Notas de aula.
- 11- _____ - Pontes de eucalipto citriodora. São Carlos, EESC/USP, 1978. Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos para realização do concurso de Professor Livre-Docente.
- 12- HEMPEL, G. - Freigespannte holzbinder. 6.ed. Karlsruhe, Bruder, 1959.
- 13- IBM - Application program: structural engineering system solver(STRESS) for the IBM 1130 model 2B (1130-EC-03X) version 2, user's manual.
- 14- KARLSEN, G.G. et al - Wooden structures. Moscow, MIR, 1967. cap.4
- 15- MATTHIESEN, J.A. - Ligação de peças estruturais por anéis metálicos. São Carlos, EESC/USP. Dissertação de Mestrado em andamento.
- 16- OBERG, Fred R. - Heavy timber construction. 2.ed. AST. 1968.
- 17- O'CONNOR, Colin - Pontes: superestruturas. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos; São Paulo, Ed.USP, 1975. v.1, cap.4
- 18- OZELTON E.C. & BAIRD, J.A. - Timber designer's manual. London, Crosby Lockwood Staples, c1976.

- 19- PEARSON, R.G.; KLOOT, N.H. & BOYD, J.D. - Timber engineering design handbook. Melbourne, C.S.I.R.O., Melbourne University Press, 1958.
- 20- SCHULTE, H. & YAGUI, T. - Estruturas de aço: elementos básicos. São Carlos, EESC/USP, 1977.
- 21- SOUZA, João Carlos, A. de O. e. & ANTUNES, Helena M.C. Carmo - Estática das estruturas: temas complementares. São Carlos EESC/USP.
- 22- TORRES ZANDER, Julio Ricardo - Cálculo e execução de estruturas de madeira laminada. Dissertação de Mestrado a publicar.
- 23- VOROBYEV, V.A. - Building materials. Moscow, Higher School, 1962.
cap.5
- 24- WITTFOHT, Hans - Triumph der Spannweiten. Düsseldorf, Beton-Verlag GmbH, 1972.

