

**TORÇÃO EM PEÇAS
DE ARGAMASSA
ARMADA**



LAFAEL PETRONI

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E PLANEJAMENTO
1974**

TORÇÃO EM PEÇAS OCAS DE ARGAMASSA ARMADA

INTRODUÇÃO

A argamassa armada é um material de construção derivado do "ferro-cimento".

Há cerca de trinta anos, Nervi - notável engenheiro e arquiteto italiano - imaginou o "ferro-cimento".

Partindo do conhecimento de que o concreto tem suas propriedades acentuadamente melhoradas nas proximidades da armadura, imaginou um novo material de construção composto de telas de aço e argamassa de cimento e areia.

As telas são constituídas por fios cujos diâmetros variam de 0,5mm a 1,5mm, tecidos em malhas quadradas de 1cm de lado. A argamassa é extremamente rica, consumindo cerca de 1.000kg de cimento por metro cúbico de areia. O consumo de aço é, também, elevado, variando de 400 a 500kg por me

tro cúbico de argamassa.

A espessura das peças, porém, é muito reduzida. O recobrimento da armadura, tendo em vista que a argamassa é muito rica, pode ser da ordem de 0,5cm.

Na Escola de Engenharia de São Carlos, procurou-se adaptar esse material às nossas condições.

As telas são demasiadamente caras e o consumo de cimento, como já se disse, é muito alto e, desse modo, o emprego do ferro-cimento fica limitado pelo seu elevado custo.

É verdade que Nervi utilizava esse material em obras arrojadíssimas, tanto do ponto de vista estrutural como arquitetônico (inclusive na construção de barcos) e desse modo tornava-as competitivas, quanto ao custo, com obras edificadas com materiais tradicionais.

A adaptação do material, a que nos referimos anteriormente, consiste em se verificar até que ponto se pode reduzir a armadura e o consumo de cimento sem prejudicar as notáveis propriedades do ferro-cimento, tais como: o aumento considerará

vel da resistência à tração, quando comparado com o concreto comum; a sua elevada infissurabilidade e alongabilidade, em consequência da extrema subdivisão da armadura; e a possibilidade de se executarem peças de pequena espessura, praticamente impermeáveis.

As experiências realizadas mostraram que o consumo de cimento pode ser diminuído para 650 a 700kg por metro cúbico de areia, e a armadura reduzida a 250 ou 300kg por metro cúbico de argamassa, quase que sem prejuízo das propriedades citadas.

É verdade que a redução da armadura limita o virtuosismo estrutural, mas em compensação, proporciona uma redução substancial no custo de peças comuns, tornando-as mais econômicas do que as executadas com materiais convencionais.

Esse material menos versátil, porém, mais econômico, constitui a argamassa armada.

A obra mais representativa do emprego da argamassa armada, em coberturas, é o Galpão de barcos do "Camargos Iate Clube", em Nazareno, MG, pro

jetado pelo Professor F. Schiel. Nessa obra foram executadas telhas autoportantes de 19 metros de comprimento, com seção em V, medindo 48cm de altura e apenas 1,9cm de espessura.

O vão entre apoios é de 15m, havendo dois balanços de 2m. A armadura é constituída por duas telas de arame recozido nº 17, com malhas de 1,25 cm, completada com três vergalhões de 6,5cm de diâmetro.

Inúmeras piscinas foram construídas de argamassa armada. A maior obra desse tipo é o reservatório enterrado, em construção, em Araraquara, projetado pelo Professor Schiel e pelo autor deste trabalho e que tem as seguintes dimensões: comprimento 48m; largura 22,50m; profundidade 3,60m. A cobertura desse reservatório também será de argamassa armada.

Feita a escavação, revestem-se os taludes laterais e o fundo com um lastro de tijolos colocados a seco. Sobre esse lastro é feito o revestimento de argamassa de cimento e areia, com espessura de 2cm.

A armadura é constituída de duas telas de fios de 3mm de diâmetro com malhas quadradas de 5cm.

Agora, o que se pretende, com o presente trabalho, é estudar o comportamento da argamassa armada quando submetida a esforços de torção.

Na argamassa armada pouco se sabe do seu comportamento quando sob a ação desse tipo de solicitação. Mesmo no concreto armado, a torção não é explicada satisfatoriamente pelas teorias atuais.

Quando se comparam resultados obtidos experimentalmente com resultados obtidos pela aplicação das fórmulas propostas por diferentes autores, verifica-se que ora uma, ora outra, melhor se adapta à situação, dependendo principalmente da quantidade da armadura. O assunto, portanto, é atual, e merece ser estudado.

CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO

Os corpos de prova foram moldados de duas ma

neiras; por dobramento e com caixão perdido.

O processo de dobramento é bem simples. As faces laterais do prisma que constituirão o corpo de prova são moldadas em um plano. A tela é estendida sobre a forma e em seguida argamassada, deixando-se a parte correspondente às arestas protegida por um sarrafo com borracha, para não receber argamassa - Figura 1.

Após o endurecimento das placas as mesmas são dobradas, formando a peça. Em seguida, as arestas são argamassadas, bem como colocadas as bases.

Pelo processo de caixão perdido há a forma externa, constituída de um caixão sem tampa, e a forma interna, que é um caixão fechado em todas as faces. Em torno desta caixa envolve-se a tela.

Para argamassar, funde-se primeiramente a face inferior, colocando-se argamassa no fundo da forma externa. Coloca-se a forma interna com a armadura e vibra-se a peça para a armadura penetrar na sua posição certa. Em seguida argamassam-se as laterais, bem como as bases e finalmente a parte superior.

A colocação da argamassa deve ser feita com cuidado e sempre seguida de vibração. Convém fi xar-se o núcleo interno para se impedir que o mes mo suba, devido a entrada de argamassa sob o mes mo - Figura 2.

As dimensões escolhidas para os corpos de pro vas foram as seguintes:

1) Corpos de prova grandes

Prisma reto de base quadrada, medindo 130x32,5 x32,5cm - Figura 3. As faces têm a espessura de 2,5cm.

Foram ensaiadas 10 peças com armadura e 2 pe ças sem armadura.

2) Corpos de prova pequenos

Prisma reto de base quadrada, medindo 40x16,5 x16,5cm - Figura 4. As faces têm a espessura de 1,5cm.

Foram fundidos 5 corpos de prova.

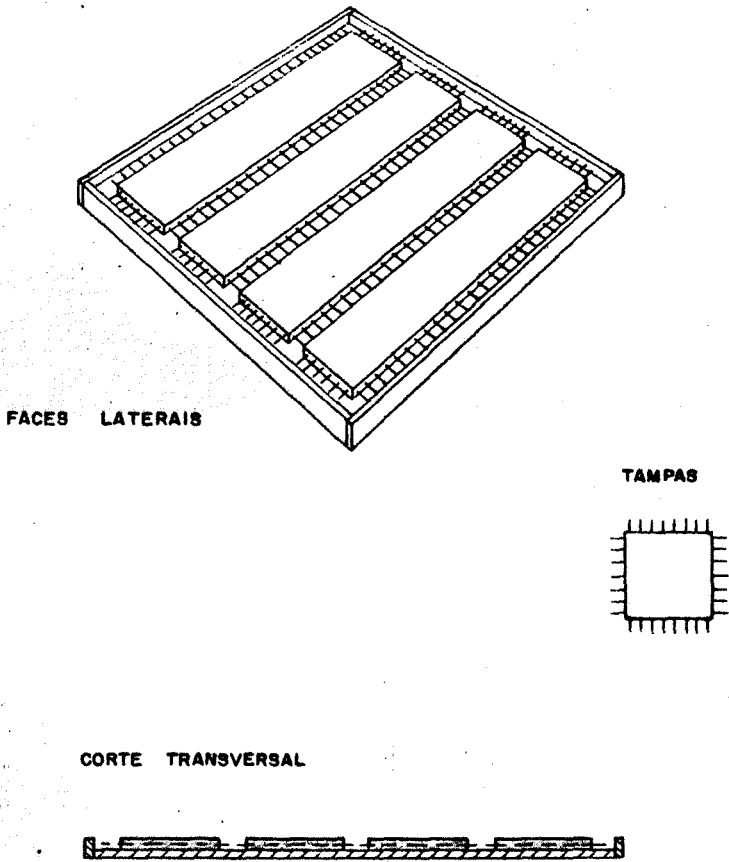


FIGURA 1

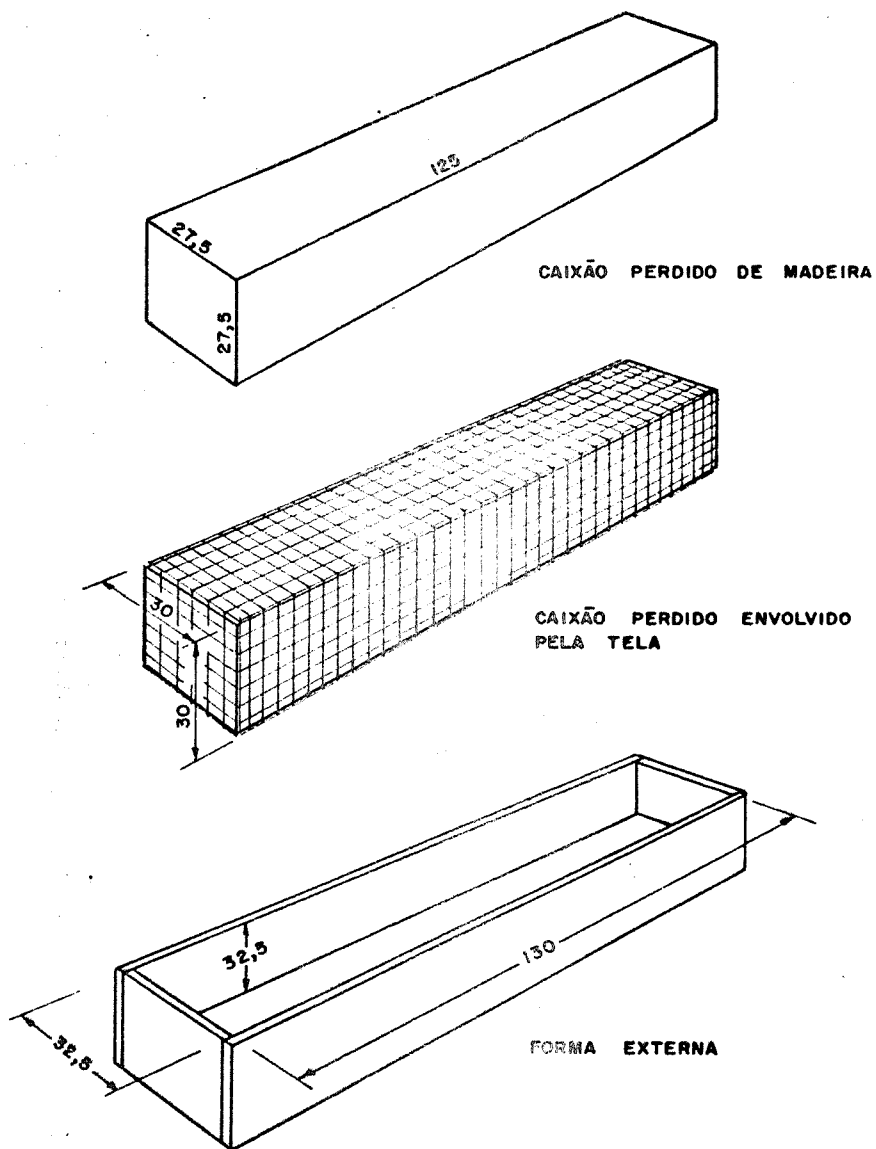


FIGURA 2

CORPO DE PROVA GRANDE

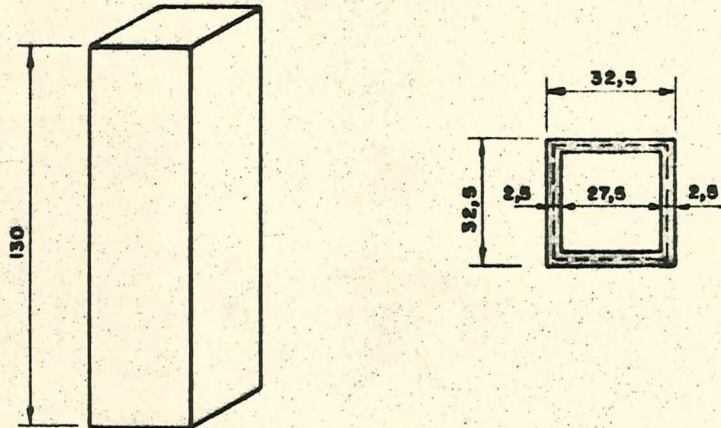


FIGURA 3

CORPO DE PROVA PEQUENO

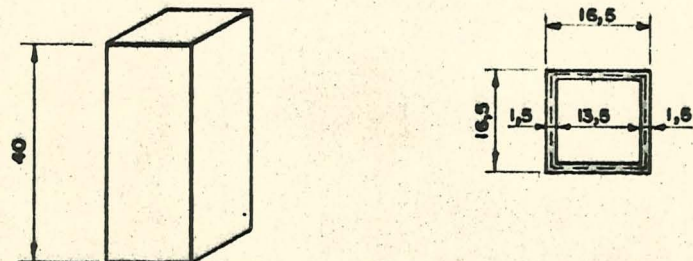


FIGURA 4

MATERIAIS USADOS PARA OS CORPOS DE PROVA E TRAÇO DA ARGAMASSA.

1) Areia

A areia utilizada é a do Mogi-Guaçu, de origem quartzosa, a mesma que se utiliza em obras de concreto armado na região de São Carlos e Araraquara. As suas características são as seguintes:

Granulometria:

Abertura das peneiras (mm)	peso retido gramas	porcentagem retida %	porcentagem retida acumulada (%)
9,5	-	-	-
4,8	5	-	-
2,4	25	2	2
1,2	230	17	19
0,6	650	48	67
0,3	400	30	97
0,15	30	2	99
resíduo	10	1	100

- Diâmetro máximo = 2,4mm

- Módulo de finura = 2,84
- Peso específico real = 2,63
- Peso específico aparente da areia seca não compactada = 1,44
- Índice de vazios = 45%

Quando se preparam peças de espessura menor que 2cm, as partículas retidas na peneira de 4,8mm devem ser removidas.

2) Cimento

Cimento Portland Comum.

3) Tela de Aço

As telas são de fios de aço de 3mm de diâmetro, soldados em malhas quadradas de 5cm de lado. A tensão de escoamento do aço utilizado é de 6.000 kg/cm² e a tensão de ruptura 6,700kg/cm². Para cada metro de tela a seção de ferro, em cada sentido, é de 1,40cm². Seu peso é de 2,100kg/m².

4) Traço

A argamassa de cimento e areia é preparada no traço 1:2, em peso. A relação água/cimento adotada é 0,4, o que proporciona uma argamassa de consistência trabalhável.

5) Resistência da argamassa

- a) À compressão $\left\{ \begin{array}{l} 3 \text{ dias} - 230 \text{ kg/cm}^2 \\ 7 \text{ dias} - 310 \text{ kg/cm}^2 \\ 28 \text{ dias} - 430 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$
- b) À tração (comp. diametral)
- 28 dias - 22 kg/cm²

MONTAGEM DO EQUIPAMENTO PARA A TORÇÃO

Para os corpos de prova de 130x32,5x32,5cm utilizamos o sistema mostrado na Figura 5 e foto 1.

A peça a ser ensaiada é engastada verticalmente em um bloco de concreto, onde existe um orifício para fixá-la. Para facilitar a sua remoção, após a ruptura, envolve-se a parte do corpo de prova que vai ser rompido com plástico fino e chumbasse a peça com argamassa. A torção é produzida por duas forças iguais, aplicadas nas extremidades de uma viga, com um cabeçote, no ponto médio, que se encaixa na peça a ser ensaiada.

O braço de momentos é igual a 3,00m. As forças são produzidas por cargas de tijolos coloca

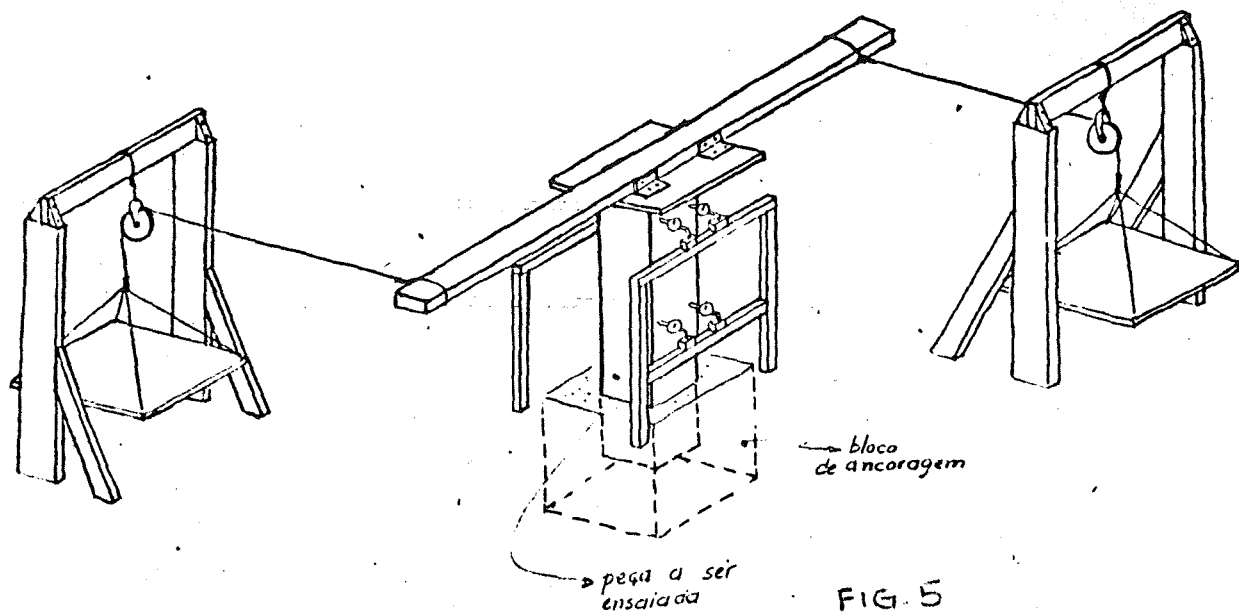


FIG. 5

dos em bandejas ligadas às extremidades da viga por cabos de aço, passando por carretilhas.

O ângulo de torção é medido por relógios com paradores colocados, aos pares, nas faces laterais do corpo de prova, a um metro de altura do engaste e distando um do outro 20cm.

Para corpos de prova menores, de 40 x 16,5 x 16,5cm, o arranjo para o ensaio é o mostrado pela Figura 6 e foto 2.

Nesse caso as peças ficam horizontais, engastadas em um bloco de concreto.

A torção é produzida por uma alavanca adaptada na peça e convenientemente apoiada para evitar a flexão no corpo de prova.

O apoio deve permitir a rotação com um mínimo de atrito.

A carga é aplicada em uma bandeja no extremo da alavanca. O braço da alavanca é de 100cm.

PROCESSO DE CÁLCULO

As peças ensaiadas, como já se disse, foram

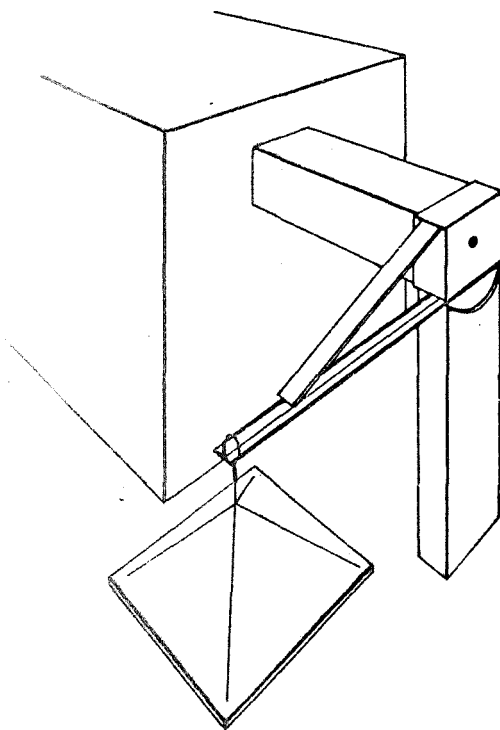


FIGURA 6

as seguintes:

- a) Peças grandes, armadas com tela, medindo 130x32,5x32,5cm e com paredes de 2,5cm de espessura
- b) Peças grandes, sem armadura, medindo 130x32,5x32,5cm, com paredes de 2,5cm de espessura
- c) Peças pequenas, armadas com tela, medindo 40x16,5x16,5cm, com paredes de 1,5cm de espessura

A espessura das paredes é pequena e constante, para cada tipo de peça, e pode ser considerada como uma parede fina. Desse modo podemos admitir que as tensões tangenciais, originadas pela torção, se distribuam uniformemente pela espessura da parede.

Para seção quadrada, a tensão máxima é obtida pela aplicação da fórmula:

$$\tau = \frac{M_t}{2a^2e}$$

τ = tensão máxima, em kg/cm²

M_t = momento de torção máximo, em kg.cm

a = distância entre eixos das faces paralelas,
em cm

e = espessura das paredes, em cm

Para as peças grandes $a = 30\text{cm}$ e $e = 2,5\text{cm}$;

$$\text{então, } \tau = \frac{M_t}{4.500} \text{ kg/cm}^2.$$

O módulo de elasticidade transversal é obtido pela aplicação da fórmula:

$$G = \frac{M_t L}{\varphi a^3 e}$$

L = comprimento considerado da peça, em cm

φ = ângulo de torção, em radianos

No ensaio fizemos $L = 100\text{cm}$

$$\text{Então, } G = 0,00148 \frac{M_t}{\varphi}$$

Para as peças pequenas $a = 15\text{cm}$ e $e = 1,5\text{cm}$

$$\text{Então, } \tau = \frac{M_t}{675} \text{ kg/cm}^2$$

Para se obter a relação $\frac{M_t}{\varphi}$, para cada peça traçamos um gráfico, colocando os momentos de torção aplicados contra os ângulos de torção lidos, em radianos. Traçamos, em seguida, a reta média e determinamos graficamente a relação $\frac{M_t}{\varphi}$.

RESULTADOS OBTIDOS - CORPOS DE PROVA GRANDES -

C.P. 1 - M_t de ruptura = 120.000 kg.cm

$$\tau = \frac{120.000}{4.500} = 26,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 69 \times 10^6$$

$$G = 69 \times 10^6 \times 0,00148 = 102.120 \text{ kg/cm}^2$$

C.P. 2 - M_t de ruptura = 128.000 kg.cm

$$\tau = \frac{128.000}{4.500} = 28,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 62 \times 10^6$$

$$G = 62 \times 10^6 \times 0,00148 = 91.760 \text{ kg/cm}^2$$

C.P. 3 - M_t de ruptura = 133.000 kg.cm

$$\tau = \frac{133.000}{4.500} = 29,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 50 \times 10^6$$

$$G = 50 \times 10^6 \times 0,00148 = 74.000 \text{ kg/cm}^2$$

C.P. 4 - M_t de ruptura = 125.000 kg.cm

$$\tau = \frac{125.000}{4.500} = 27,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 56 \times 10^6$$

$$G = 56 \times 10^6 \times 0,00148 = 82.880 \text{ kg/cm}^2$$

C.P. 5 - M_t de ruptura = 133.000 kg.cm

$$\tau = \frac{133.000}{4.500} = 29,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 53 \times 10^6$$

$$G = 53 \times 10^6 \times 0,00148 = 78.440 \text{ kg/cm}^2$$

C.P. 6 - M_t de ruptura = 105.000 kg.cm

$$\tau = \frac{105.000}{4.500} = 23,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 44 \times 10^6$$

$$G = 44 \times 10^6 \times 0,00148 = 65.120 \text{ kg/cm}^2$$

C.P. 7 - M_t de ruptura = 115.000 kg.cm

$$\tau = \frac{115.000}{4.500} = 25,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 42 \times 10^6$$

$$G = 42 \times 10^6 \times 0,00148 = 62.160 \text{ kg/cm}^2$$

C.P. 8 - M_t de ruptura = 138.000 kg.cm

$$\tau = \frac{138.000}{4.500} = 30,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 50 \times 10^6$$

$$G = 50 \times 10^6 \times 0,00148 = 74.000 \text{ kg/cm}^2$$

C.P. 9 - M_t de ruptura = 96.000 kg.cm

$$\tau = \frac{96.000}{4.500} = 21,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 62 \times 10^6$$

$$G = 62 \times 10^6 \times 0,00148 = 91.762 \text{ kg/cm}^2$$

C.P.10 - M_t de ruptura = 134.000 kg.cm

$$\tau = \frac{134.000}{4.500} = 29,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 58 \times 10^6$$

$$G = 58 \times 10^6 \times 0,00148 = 85.840 \text{ kg/cm}^2$$

- CORPOS DE PROVA PEQUENOS -

C.P.11 - M_t de ruptura = 25.000 kg.cm

$$\tau = \frac{25.000}{4.500} = 37 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 24,5 \times 10^6$$

$$G = 120.050 \text{ kg/cm}^2$$

C.P.12 - M_t de ruptura = 23.000 kg.cm

$$\tau = \frac{23.000}{675} = 34 \text{ kg/cm}^2$$

C.P.13 - M_t de ruptura = 21.000 kg.cm

$$\tau = \frac{21.000}{675} = 31 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 21,7 \times 10^6$$

$$G = 106.330 \text{ kg/cm}^2$$

C.P.14 - M_t de ruptura = 22.000 kg.cm

$$\tau = \frac{22.000}{675} = 32,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 18 \times 10^6$$

$$G = 88.200 \text{ kg/cm}^2$$

C.P.15 - M_t de ruptura = 25.000 kg.cm

$$\tau = \frac{25.000}{675} = 37 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{M_t}{\varphi} = 16 \times 10^6$$

$$G = 78.400 \text{ kg/cm}^2$$

- CORPOS DE PROVA SEM ARMADURA -

C.P.16 - M_t de ruptura = 78.500 kg.cm

$$\tau = \frac{78.500}{4.500} = 17 \text{ kg/cm}^2$$

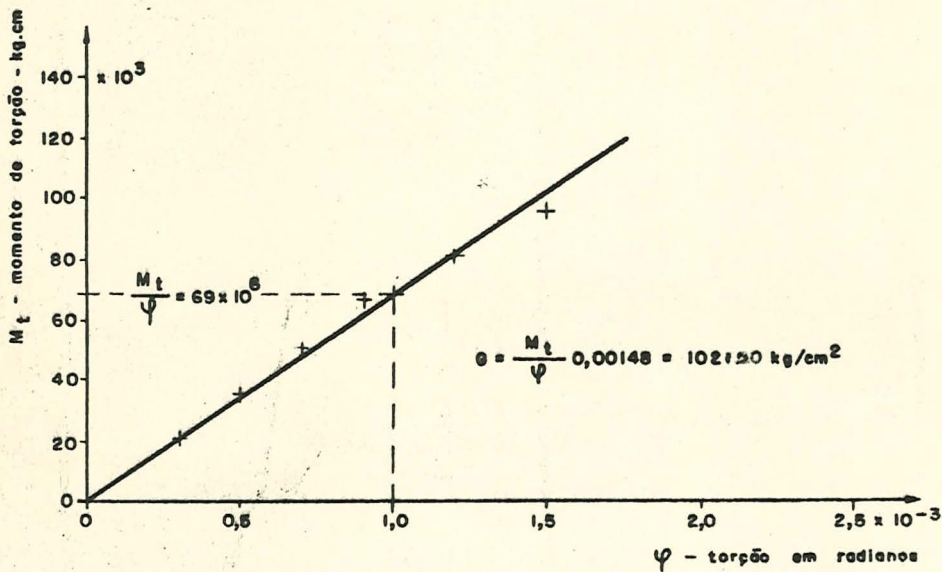


GRÁFICO 1

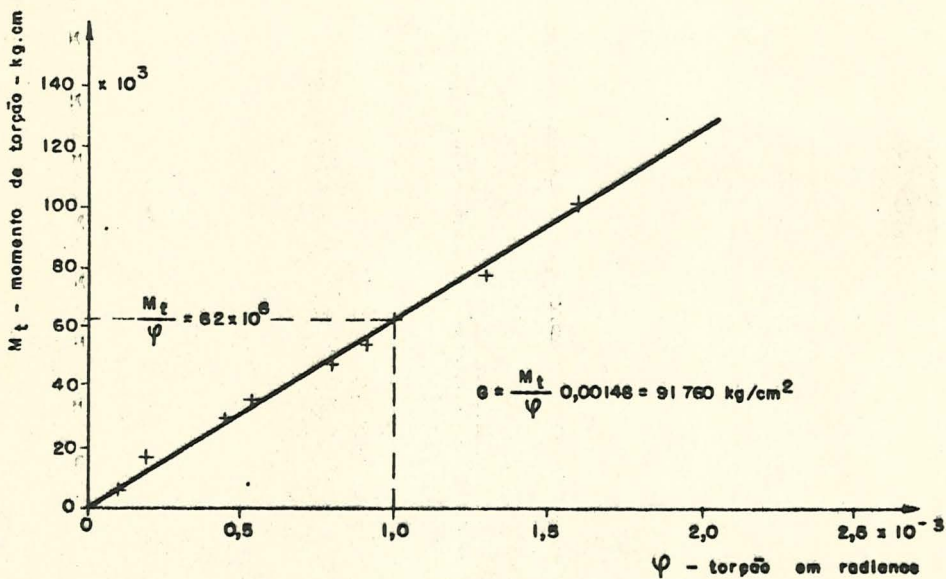


GRÁFICO 2

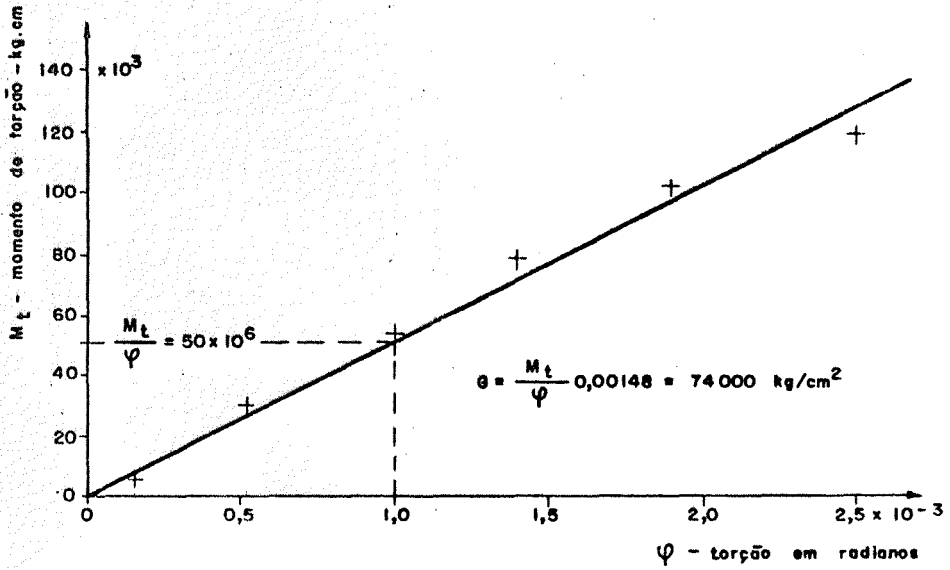


GRÁFICO 3

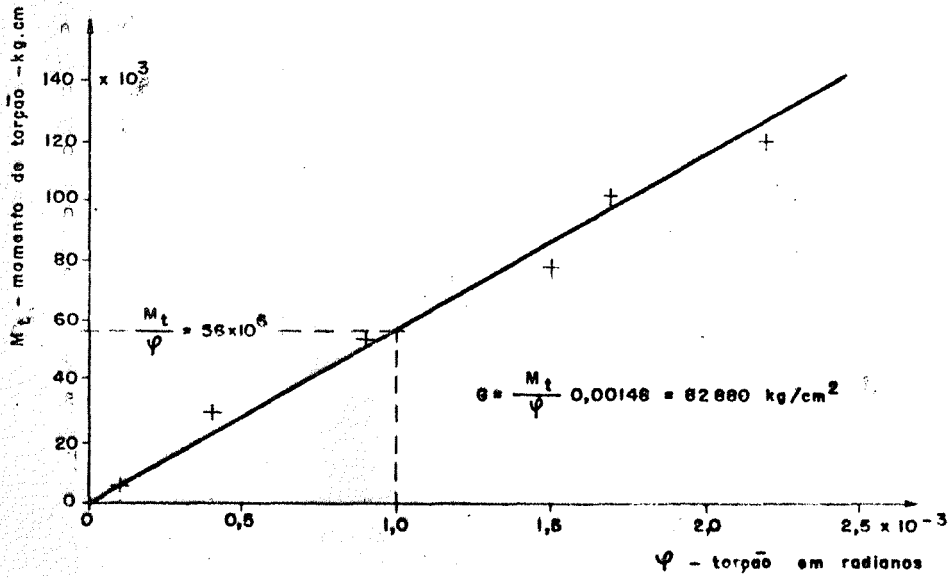


GRÁFICO 4

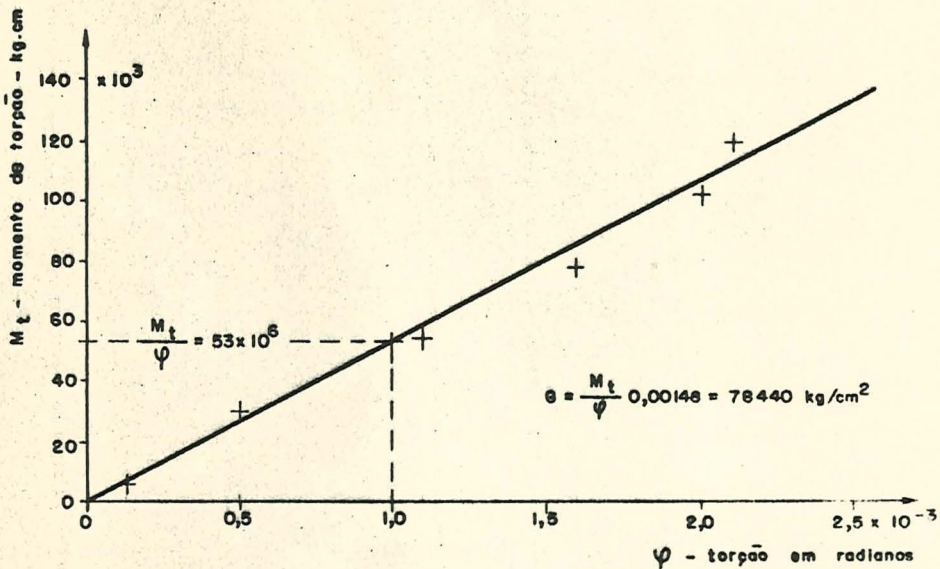


GRÁFICO 5

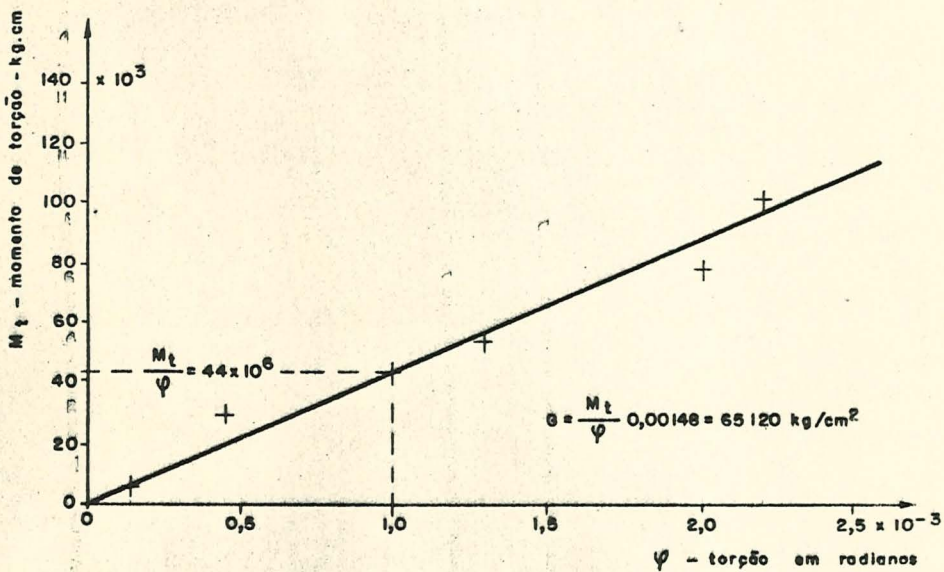


GRÁFICO 6



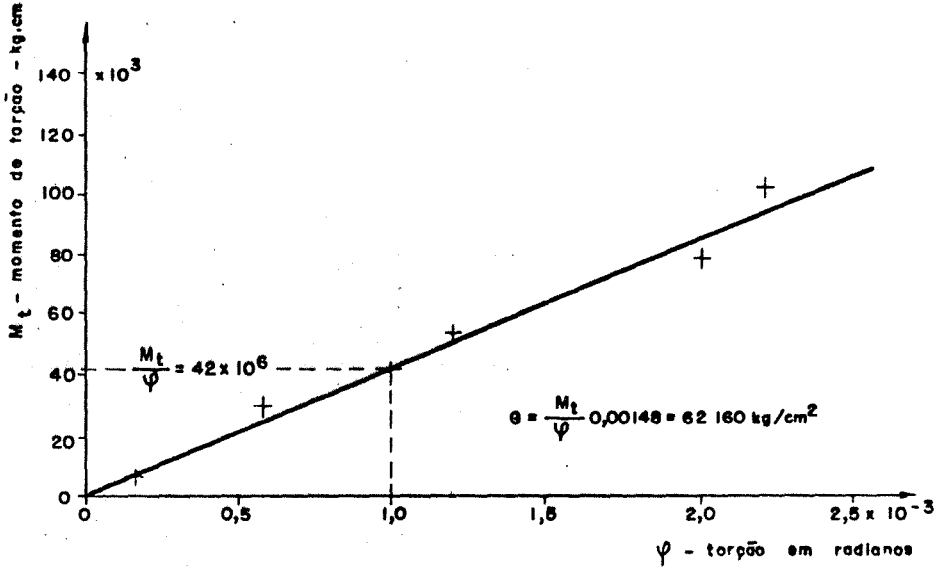


GRÁFICO 7

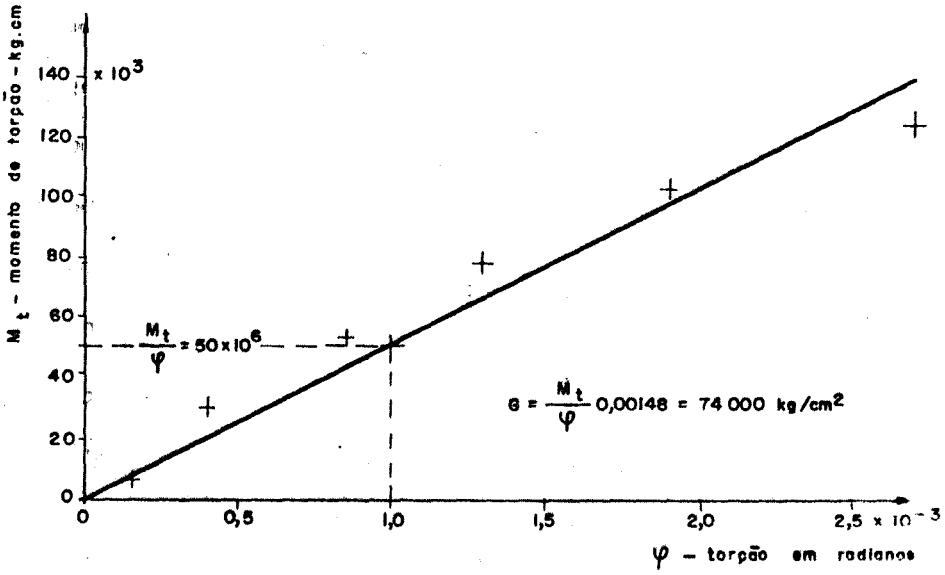


GRÁFICO 8

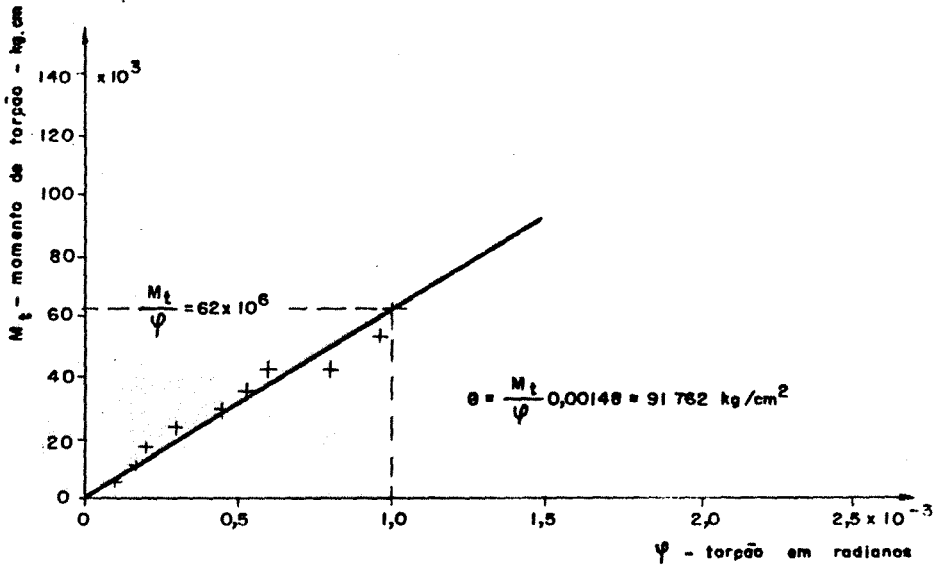


GRÁFICO 9

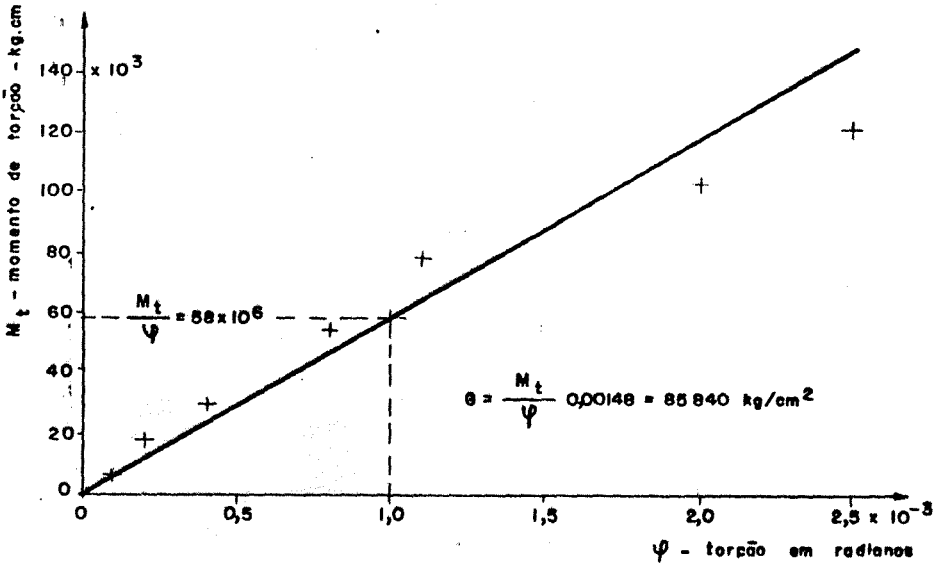


GRÁFICO 10

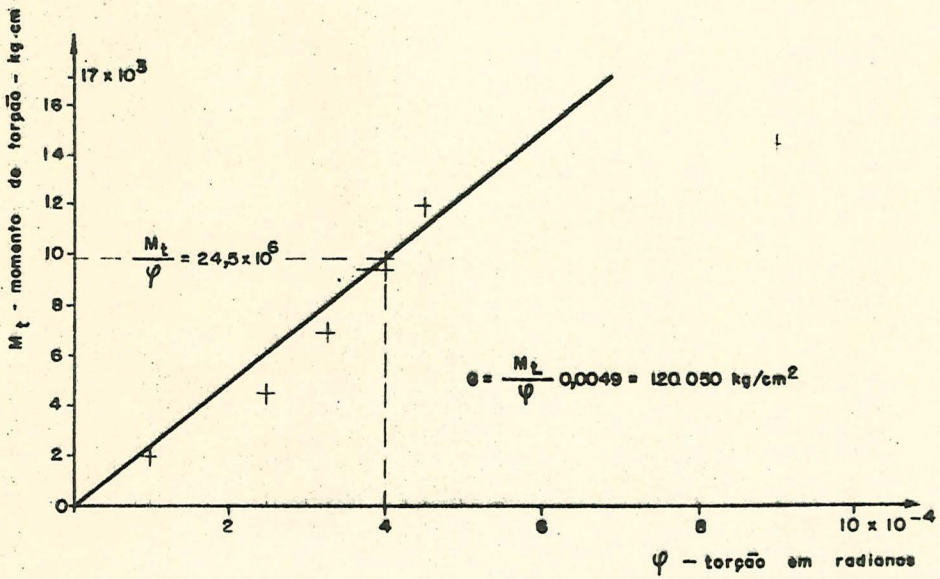


GRÁFICO 11

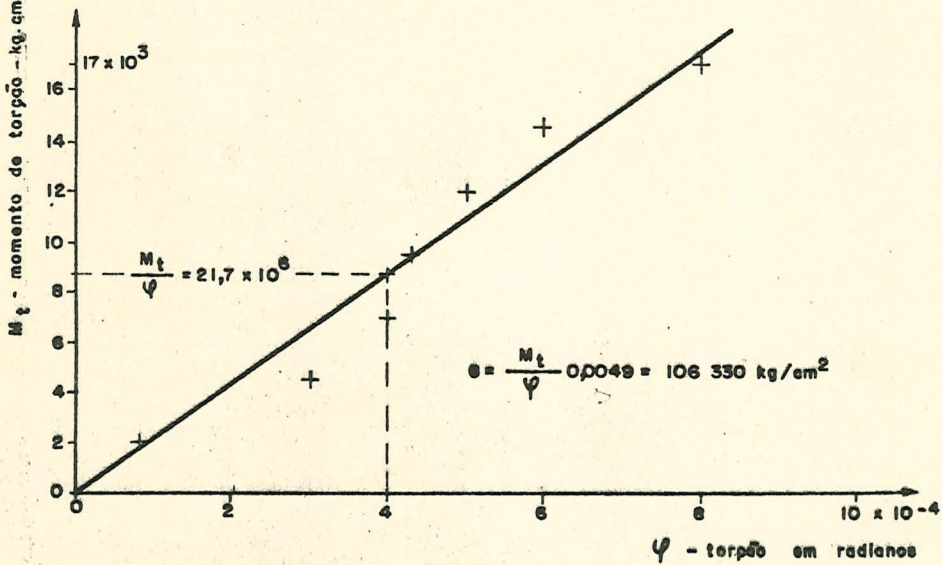


GRÁFICO 12

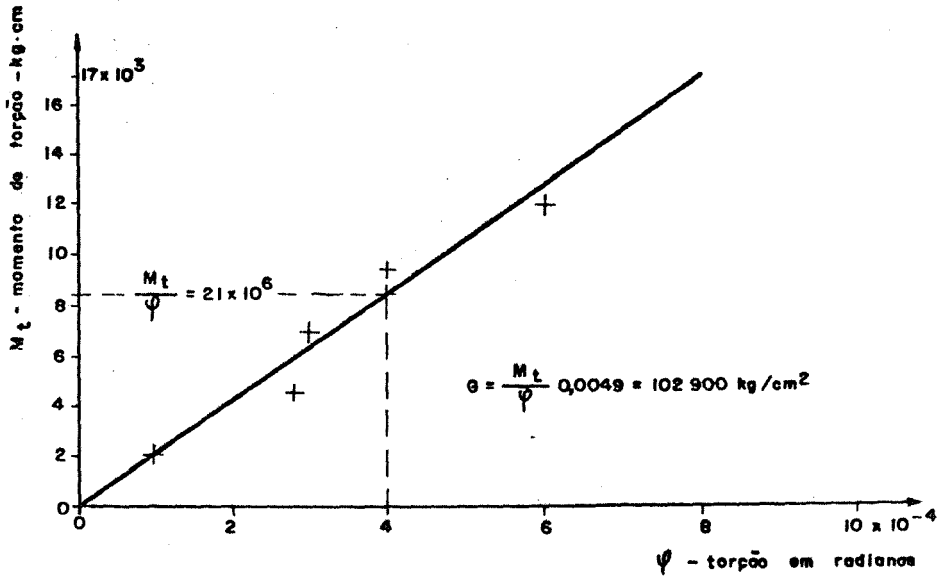


GRÁFICO 13

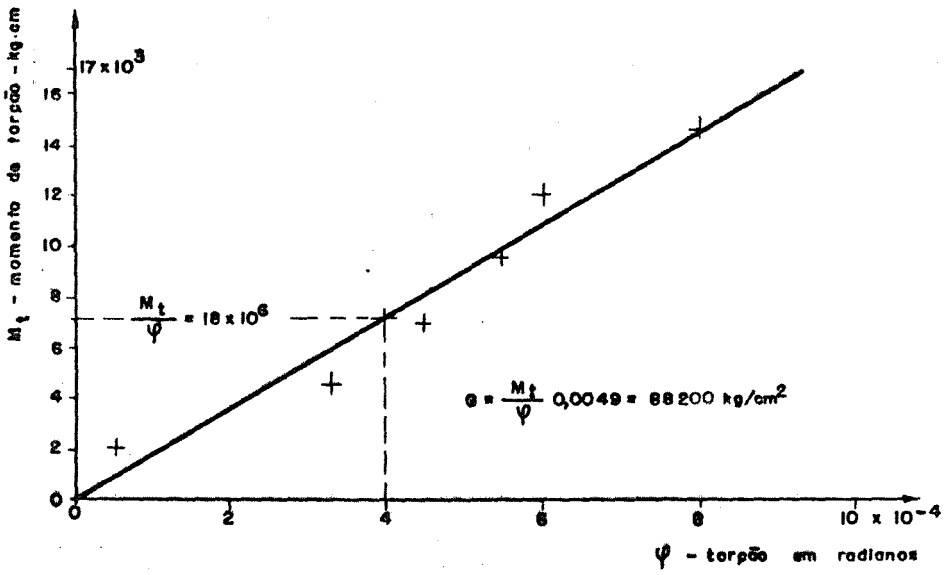


GRÁFICO 14

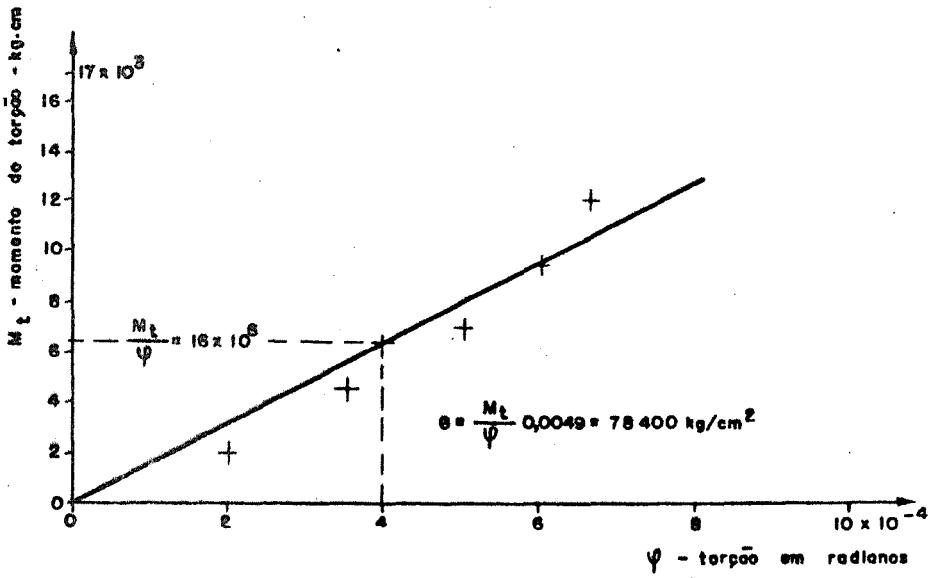


GRÁFICO 15

C.P.17 - M_t de ruptura = 90.100 kg.cm

$$\tau = \frac{90.100}{4.500} = 20 \text{ kg/cm}^2$$

CONCLUSÕES

Os corpos de prova submetidos a momento de torção, ao atingirem aproximadamente 70% do momento de ruptura, apresentam fissuras visíveis fazendo um ângulo de 45° com as arestas e contornando todas as faces em forma de espiras - fotos 3, 4, 5, 6 e 7.

Essas fissuras vão se multiplicando e se alargando. Em alguns casos aparecem também fissuras acompanhando as arestas verticais.

O colapso do corpo de prova se dá pela ruptura da parte superior, isto é, da zona próxima à base superior.

A armadura lateral não atinge a ruptura, visto que a parte superior do corpo de prova desmonta, quando as fissuras se abrem.

A média para o valor de τ nos corpos de prova grandes, com porcentagem de armadura de 0,93%

foi de:

$$\tau_m = 27,3 \text{ kg/cm}^2$$

Para os corpos de prova pequenos, com porcentagem de armadura de 1,86%, obtivemos:

$$\tau_m = 34,3 \text{ kg/cm}^2$$

O valor médio para G, em peças com armadura, foi de:

$$G_m = 80.800 \text{ kg/cm}^2$$

Para peças sem armadura obtivemos:

$$\tau_m = 18,5 \text{ kg/cm}^2$$

No ensaio de compressão diametral obtivemos:

$$\sigma_{t28} = 22 \text{ kg/cm}^2$$

Verificamos então que uma armadura, apesar de pequena - 0,93% - porém difusa, eleva o valor de τ de aproximadamente 47%. Quando a porcentagem da armadura alcança 1,86%, τ cresce de aproximadamente 76%.

Infelizmente, o nosso dispositivo não permite romper peças com armaduras maiores, entretanto,

já estamos montando uma laje de reação que permi
tirá aplicar cargas com macacos hidráulicos, o que
tornará possível o ensaio de peças mais robustas
e com porcentagem de armadura bastante elevada.



FOTO 1

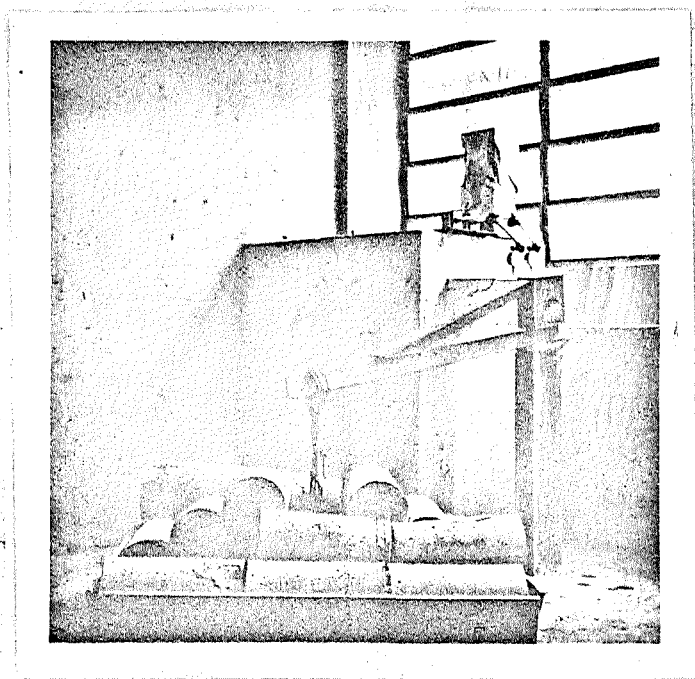


FOTO 2

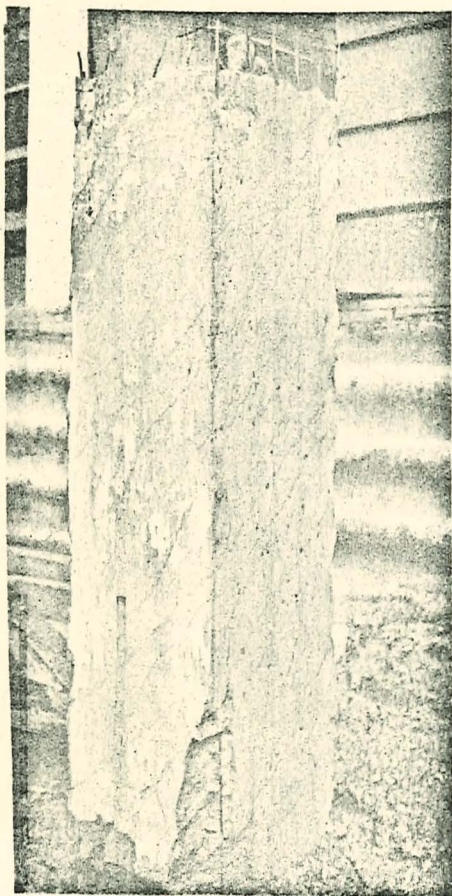


FOTO 3

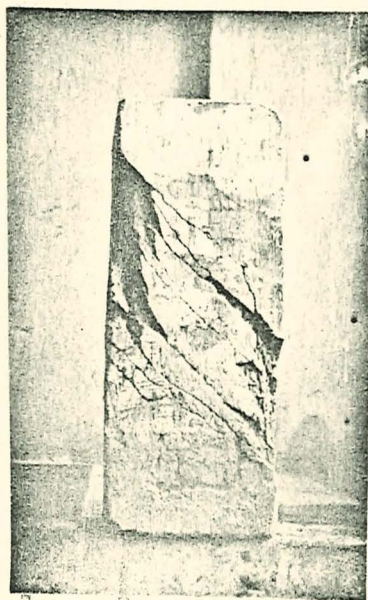


FOTO 4

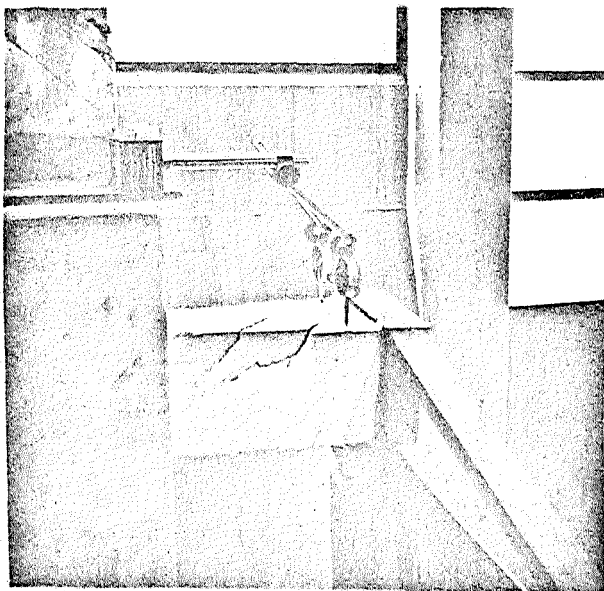


FOTO 5

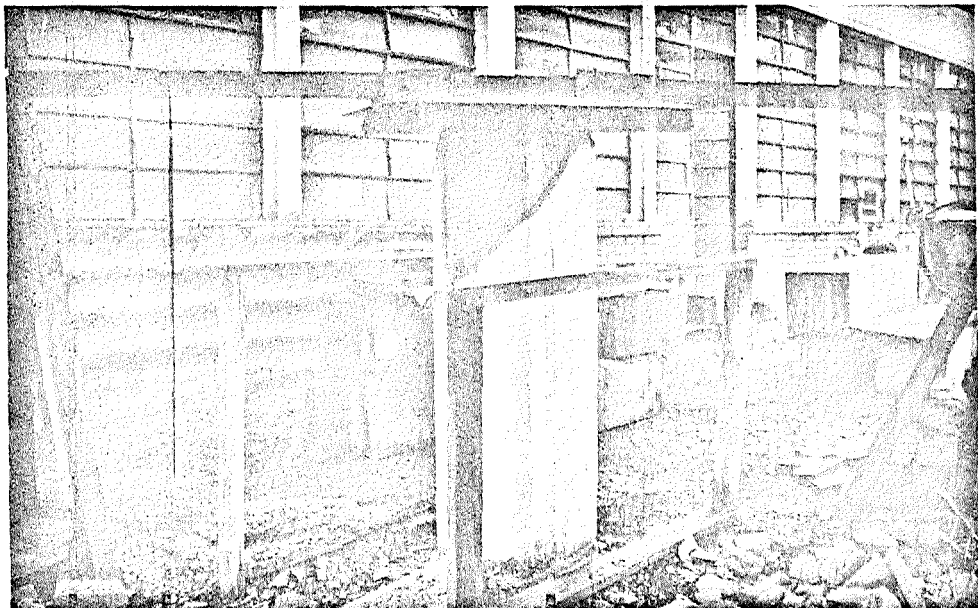


FOTO 6



FOTO 7