

3 Programa Experimental

3.1. Considerações Iniciais

Este trabalho tem como objetivo estudar a resistência do sistema de ancoragem composto de pinos com cabeça embutidos no concreto, quando submetidos a cargas de impacto. A variável adotada foi a taxa de carregamento cujos valores mínimo e máximo foram 0,015 kN/s (estático) e 54.885 kN/s respectivamente. O sistema de ancoragem foi projetado de forma que a ruptura fosse governada pelo arrancamento do cone de ruptura.

Foram ensaiados 11 blocos de concreto com um pino embutido (Tabela 3.1), sujeitos a diferentes taxas de aplicação de carga. Foram também ensaiados 15 corpos de prova de concreto à compressão diametral (Tabela 3.2) e 9 pinos à tração (Tabela 3.3), também sujeitos a diferentes taxas de aplicação de carga. O objetivo desses ensaios foi obter curvas como a representada na Figura 3.1 que permitem mostrar a influência da taxa de carregamento sobre as resistências dos materiais concreto e aço e do sistema de ancoragem.

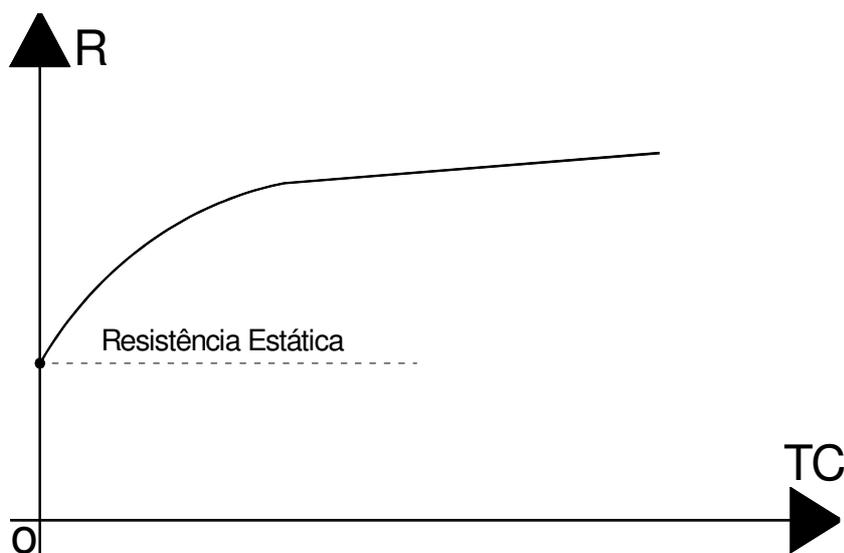


Figura 3.1 – Curva resistência vs. taxa de carregamento – Representação esquemática.

Tabela 3.1 - Identificação e nomenclatura dos blocos de concreto B22 ensaiados.

| MODELO | ESPECIFICAÇÃO | TC (kN/s) |
|--------------------|--|-----------|
| B22EST-9 | Bloco com pino ϕ 22 mm, carregamento estático | 0,016 |
| B22EST-11 | Bloco com pino ϕ 22 mm, carregamento estático | 0,015 |
| B22EST-I-5 | Bloco com pino ϕ 22 mm, carga macaco acionamento rápido | 13 |
| B22EST-I-6 | Bloco com pino ϕ 22 mm, carga macaco acionamento rápido | 11 |
| B22W180H100-MOLA-3 | Bloco com pino ϕ 22 mm, 180 kg solto de 100 cm sobre mola | 6.959 |
| B22W180H100-MOLA-4 | Bloco com pino ϕ 22 mm, 180 kg solto de 100 cm sobre uma mola | 6.881 |
| B22W100H220-7 | Bloco com pino ϕ 22 mm, 100 kg solto de 220 cm (<i>hard impact</i>) | 24.105 |
| B22W100H220-8 | Bloco com pino ϕ 22 mm, 100 kg solto de 220 cm (<i>hard impact</i>) | 32.350 |
| B22W180H220-1 | Bloco com pino ϕ 22 mm, 180 kg solto de 220 cm (<i>hard impact</i>) | 45.555 |
| B22W180H220-2 | Bloco com pino ϕ 22 mm, 180 kg solto de 220 cm (<i>hard impact</i>) | 47.923 |
| B22W180H220-13 | Bloco com pino ϕ 22 mm, 180 kg solto de 220 cm (<i>hard impact</i>) | 54.885 |

Tabela 3.2 – Corpos-de-prova ensaiados à compressão diametral.

| Betonada | $f_{t,est}$ (MPa) | $f_{t,din}$ (MPa) | TC (kN/s) |
|----------|----------------------|----------------------|-----------|
| 1ª | 2,26 | - | - |
| | 2,50 | - | - |
| | 2,87 | - | - |
| 2ª | 2,14 | 3,23 | 15.682 |
| | 2,51 | 3,69 | 12.801 |
| | 2,80 | 3,96 | 14.764 |
| 3ª | 2,20 | 2,44 | 6 |
| | 2,54 | 2,49 | 6 |
| | 2,69 | 2,77 | 6 |
| 4ª | 2,27 | 2,79 | 4.496 |
| | 2,34 | 3,24 | 5.174 |
| | 2,46 | 3,28 | 5.327 |
| 5ª | 2,02 | 3,05 | 19.568 |
| | 2,26 | 3,21 | 19.502 |
| | 2,75 | 3,38 | 18.620 |
| 6ª | 2,03 | 3,17 | 18.459 |
| | 2,22 | 3,45 | 22.705 |
| | 2,80 | 3,73 | 25.613 |

Tabela 3.3 - Identificação e nomenclatura dos pinos P16 ensaiados.

| MODELO | ESPECIFICAÇÃO | TC (kN/s) |
|------------------|--|-----------|
| P16EST | Pino ϕ 16 mm, carregamento estático | - |
| P16EST-1 | Pino ϕ 16 mm, carregamento macaco acionamento rápido | 14 |
| P16W180H100-MOLA | Pino ϕ 16 mm, 180 kg solto de 100 cm sobre uma mola | 4.059 |
| P16W180H100-P | Pino ϕ 16 mm, 180 kg solto de 100 cm (<i>hard impact</i>) | 9.111 |
| P16W180H100-B | Pino ϕ 16 mm, 180 kg solto de 100 cm (<i>soft impact</i>) | 9.092 |
| P16W100H220-P | Pino ϕ 16 mm, 100 kg solto de 220 cm (<i>hard impact</i>) | 9.988 |
| P16W100H220-B | Pino ϕ 16 mm, 100 kg solto de 220 cm (<i>soft impact</i>) | 8.564 |
| P16W180H220-P | Pino ϕ 16 mm, 180 kg solto de 220 cm (<i>hard impact</i>) | 20.534 |
| P16W180H220-B | Pino ϕ 16 mm, 180 kg solto de 220 cm (<i>soft impact</i>) | 25.370 |

Neste capítulo é feita uma descrição detalhada dos blocos de concreto, dos pinos com cabeça, do aparato construído para a realização dos ensaios e da instrumentação empregada.

3.2. Características dos Blocos

3.2.1. Dimensões

Todos os blocos apresentavam dimensões e características geométricas semelhantes, conforme ilustrado na Figura 3.2.

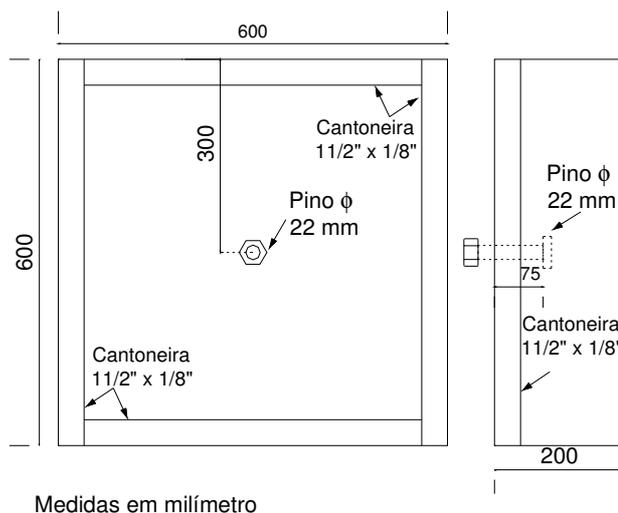


Figura 3.2 – Dimensões dos blocos.

Todos os blocos dispunham de cantoneira $1\frac{1}{2}'' \times \frac{1}{8}''$ em todo o perímetro em contato com o apoio de modo a evitar um possível esmagamento do concreto nesta região (Figura 3.3). Nestas cantoneiras foram soldadas barras de aço de $\phi = 8,0\text{ mm}$ (Figura 3.4) com comprimento de 200 mm .

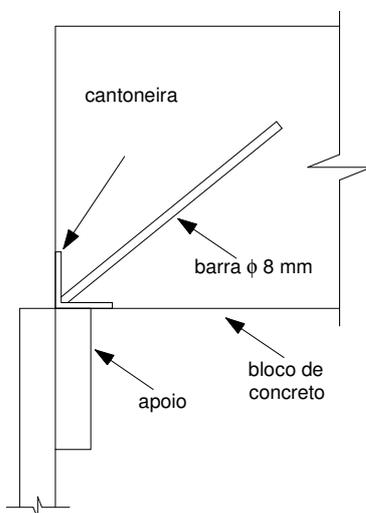


Figura 3.3 – Detalhe do apoio do bloco de concreto.

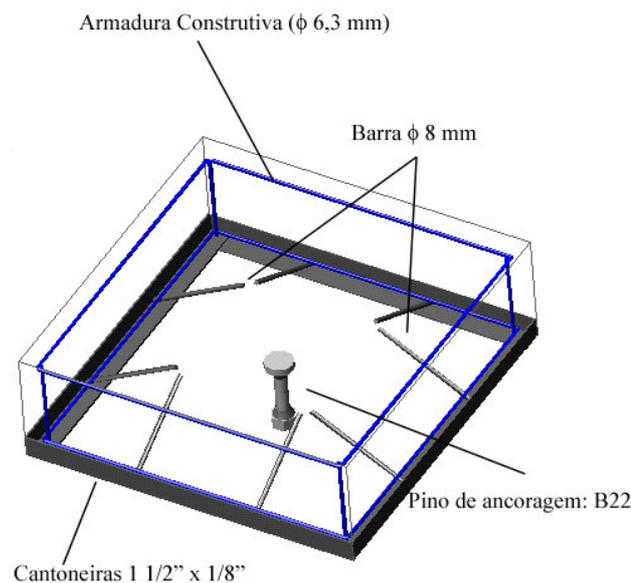


Figura 3.4 – Armadura dos blocos.

Os pinos de ancoragem estudados pertencem ao grupo de sistemas de pré-concretagem. O pino de ancoragem embutido nos blocos de concreto é composto por um dispositivo que garante a ancoragem mecânica, formado por uma placa metálica cilíndrica com diâmetro de 50 mm , soldada a uma extremidade com eletrodo de solda à base rutilica tipo E7018, com resistência mínima à tração de $F_w = 485\text{ MPa}$. Sua haste é de aço tipo CA-50 com diâmetro $\phi = 22\text{ mm}$. Para viabilizar a aplicação do carregamento no pino, foram soldadas porcas na outra extremidade, de modo que ambos, pinos de ancoragem e porcas, estivessem centralizados no mesmo eixo.

As dimensões para este pino foram adotadas de modo que se alcançasse a ruptura por meio da formação do cone de concreto, com baixos carregamentos, sem que o cone se apresentasse muito espalhado, e sem que o mesmo fosse danificado. As características deste pino de ancoragem estão ilustradas na Figura 3.5.

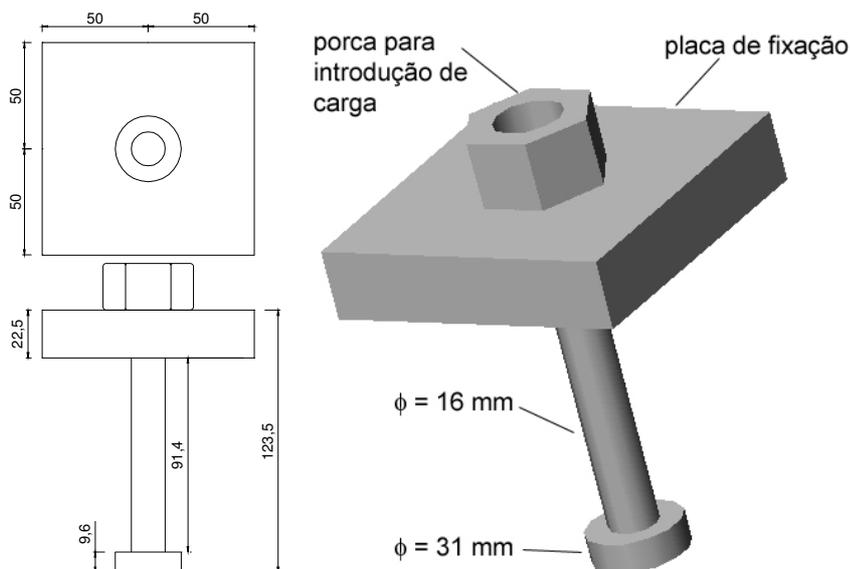


Figura 3.6 – Detalhe do pino de ancoragem P16.

3.4. Confeção dos Blocos

3.4.1. Forma

Para a montagem das formas utilizou-se compensado resinado com espessura de 12 mm, enrijecido com sarrafo de madeira (2" x 1") na região central de suas faces laterais. Os sarrafos foram fixados em suas extremidades por meio de parafusos. Para que fosse evitada ao máximo a absorção da água de amassamento do concreto e para que o processo de desforma fosse facilitado, as faces internas das formas foram revestidas com plástico. A Figura 3.7 apresenta um esquema e detalhes da forma utilizada.

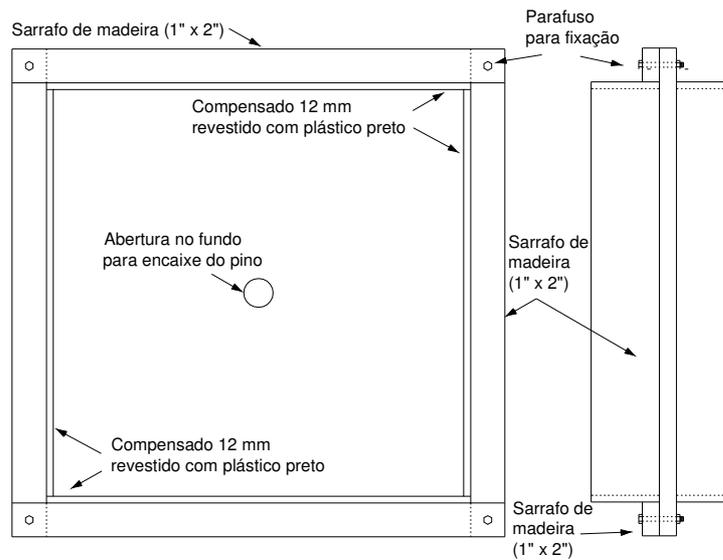
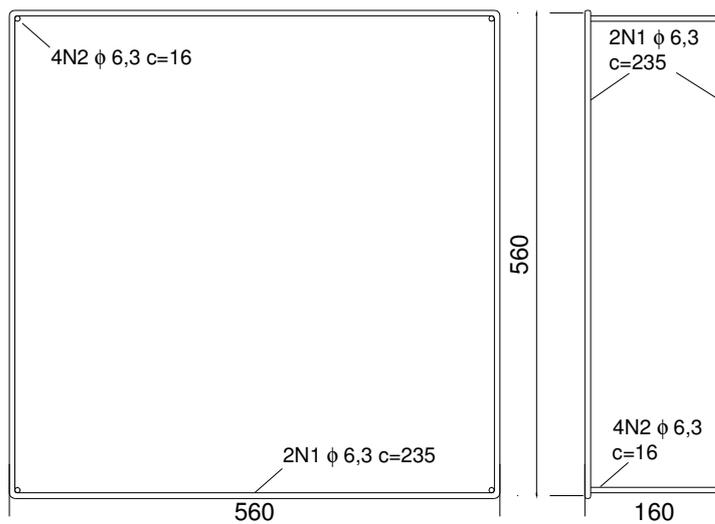


Figura 3.7 – Esquema e detalhes das formas dos blocos.

3.4.2. Armadura Construtiva

Nos blocos foi instalada uma armadura construtiva composta de barras com $\phi 6,3 \text{ mm}$ distribuída na periferia dos blocos, de modo que o posicionamento do pino e do cone de ruptura do concreto esperado não fossem afetados. A Figura 3.8 apresenta estas armaduras.



Medidas em milímetro

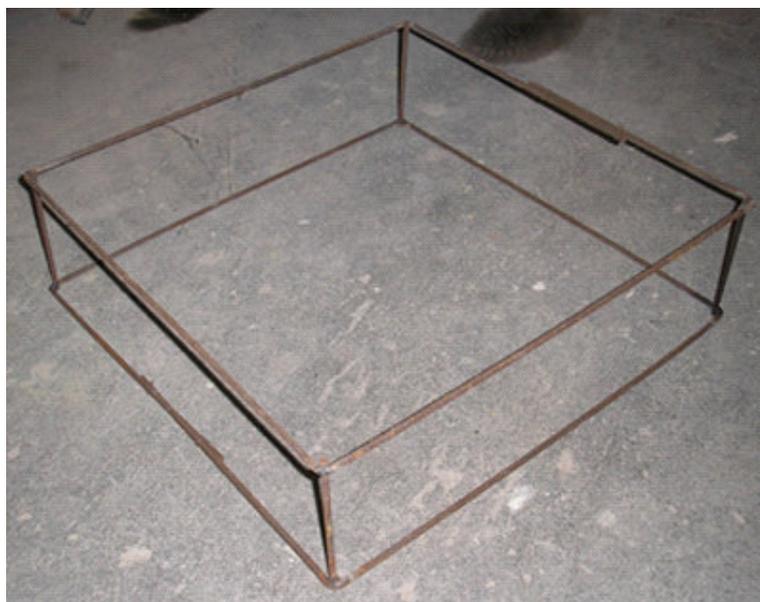


Figura 3.8 – Detalhes da armadura construtiva dos blocos.

3.4.3. Concreto

Para a dosagem do concreto foram seguidos os procedimentos práticos para a dosagem de concretos segundo o ACI - *American Concrete Institute*, para uma resistência de dosagem de 25 MPa.

O traço em massa desse concreto foi de 1:2,60:3,05 (cimento:areia:brita), com fator água-cimento $a/c = 0,62$. O cimento utilizado no preparo do concreto foi o CII-F-32, da marca Mauá cuja massa específica segundo seu fabricante é de $3,10 \text{ g/cm}^3$ a $3,15 \text{ g/cm}^3$.

O agregado miúdo utilizado foi areia de rio, lavada, com massa específica real de $2,60 \text{ g/cm}^3$, massa específica aparente de $1,60 \text{ g/cm}^3$, módulo de finura igual a 2,84 e diâmetro máximo de 4,76 mm. O agregado graúdo utilizado foi do tipo gnaiss britado (brita 1), com diâmetro máxima de 19,1 mm, módulo de finura igual a 6,87, com massa específica real de $2,63 \text{ g/cm}^3$ e massa específica aparente de $1,61 \text{ g/cm}^3$. Os ensaios de caracterização foram realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (LEM-PUC/RIO), de acordo com as recomendações da NBR 9776:1987 e NBR 7217:1982. Os resultados da determinação da análise granulométrica dos agregados miúdo e graúdo se encontram no Anexo A e os resultados da determinação de ambas as massas se encontram no Anexo B.

Para a água de amassamento do concreto foi utilizada a água da rede pública de abastecimento da cidade do Rio de Janeiro, fornecida pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos – CEDAE.

A quantidade de materiais utilizados por metro cúbico de concreto, e os valores de abatimento no tronco de cone para cada betonada são apresentados na Tabela 3.4 e Tabela 3.5, respectivamente.

Tabela 3.4 – Consumo de materiais por metro cúbico de concreto.

| Consumo de Materiais /m ³ | |
|--------------------------------------|-----------------|
| Cimento CP II-32 | 323 kg |
| Agregado Miúdo | 839 kg |
| Agregado Graúdo | 985 kg |
| Água | 149 l |
| TOTAL | 2.296 kg |

Tabela 3.5 – Consumo de materiais por metro cúbico de concreto.

| Abatimento do Tronco de Cone | Betonada | | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 1 ^a | 2 ^a | 3 ^a | 4 ^a | 5 ^a | 6 ^a |
| (mm) | 8,5 | 10,0 | 10,0 | 9,0 | 10,0 | 10,0 |

O concreto foi misturado mecanicamente em uma betoneira com capacidade para 400 litros. Como haviam apenas cinco conjuntos de formas, as mesmas foram utilizadas por três vezes. Na primeira utilização foram confeccionados cinco blocos, e nas duas seguintes foram confeccionados quatro blocos por vez. Para cada utilização das formas foram necessárias duas betonadas, totalizando seis betonadas. Foram moldados, por betonada, 18 corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 100 mm x 200 mm. Os corpos-de-prova foram moldados segundo a NBR 5738:1984.

Decorridos três dias após cada concretagem, os blocos e seus respectivos corpos-de-prova eram desformados permanecendo expostos ao ar livre até o dia de seus respectivos ensaios. A Figura 3.9 e a Figura 3.10 mostram os blocos de concreto antes e após uma concretagem, respectivamente.



Figura 3.9 – Blocos antes da concretagem.



Figura 3.10 – Blocos após a 1ª concretagem (1ª e 2ª betonadas).

3.5. Instrumentação

3.5.1. Medida de Deformação

As deformações nos pinos embutidos nos blocos foram obtidas com um extensômetro elétrico de resistência (EER) de comprimento 10 *mm*. Esses EER foram posicionados na seção média de cada pino (Figura 3.11). Após a colagem foram protegidos com cera contra choques e umidade da água de amassamento do concreto durante a concretagem.

As deformações nos pinos P16 foram obtidas com dois EER de comprimento 10 *mm* posicionados na seção média em posições diametralmente opostas (Figura 3.12).

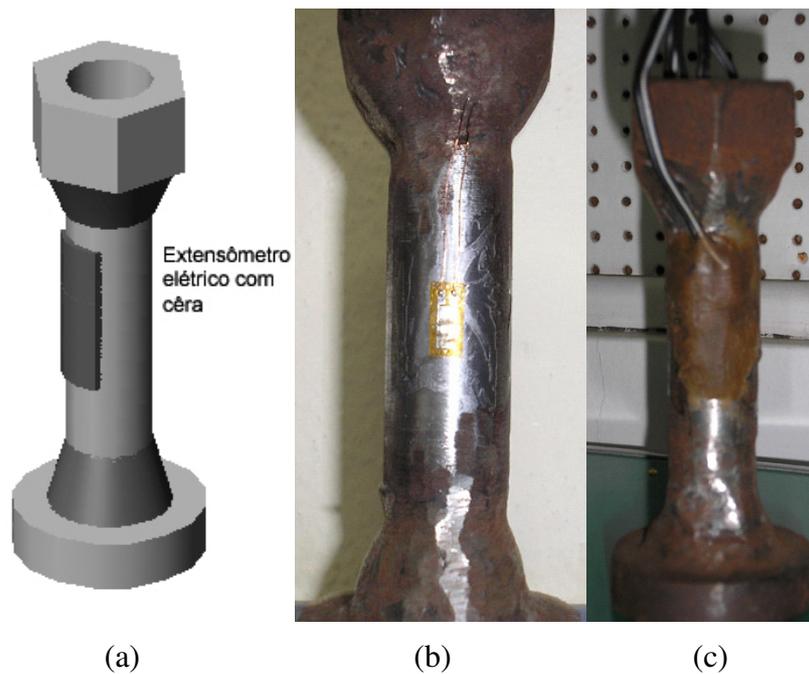


Figura 3.11 – Posicionamento de EER nos pinos de blocos: a) esquema de posicionamento do EER; b) EER colado; c) proteção com cêra.



Figura 3.12 – Posicionamento de EER nos pinos P16.

3.5.2. Medida de Força

As medidas da força aplicada foram obtidas por meio de uma célula de carga com capacidade para 200 kN . A célula de carga foi posicionada de modo

que ficasse interligada ao modelo a ser ensaiado por meio de uma barra rosqueada $\phi 25 \text{ mm}$ (Figura 3.13).



Figura 3.13 – Posicionamento da célula de carga.

3.5.3. Aquisição de Dados

Para aquisição dos dados dos ensaios estáticos dos blocos foi utilizado o equipamento 3497A DATA ACQUISITION/CONTROL UNIT do fabricante HP (Hewlett Packard), interligado a um computador PC por meio do software LABVIEW 6.0 do fabricante NATIONAL INSTRUMENTS S/A.

Para aquisição dos dados dos ensaios dinâmicos foi utilizado o equipamento NI-DAQ 7 do fabricante NATIONAL INSTRUMENTS S/A, interligado a um computador do tipo *laptop* por meio do software LABVIEW 7.0 do mesmo fabricante.

3.5.4. Aplicação de Força

Como o objetivo é estudar o comportamento à tração, foi utilizado um elemento de modo que agisse como rótula (Figura 3.14) anulando efeitos de solicitações combinadas como, por exemplo, tração-flexão, tração-cisalhamento, ou até mesmo tração-flexão-cisalhamento. Este elemento consistia de duas barras

de aço dobradas e, em cada barra dobrada, foi soldada uma barra com rosca, ambas com diâmetro $\phi = 25 \text{ mm}$.



Figura 3.14 – Elemento utilizado como rótula.

Força de Impacto

Para a realização dos ensaios foi construído um sistema para a aplicação de força baseando-se no aparato desenvolvido por Herzbruch (1994).

A força de impacto amplificada foi alcançada por meio de um martelo de massa conhecida, solto de altura também conhecida, sobre a extremidade em balanço de um perfil metálico I (305 mm x 220 mm) com rigidez à flexão elevada (Figura 3.15). Na outra extremidade do perfil metálico foi instalado um apoio com restrição nos eixos vertical e horizontal e livre à rotação. Através de várias combinações de altura e massa do martelo chegou-se a diversas taxas de carregamento.

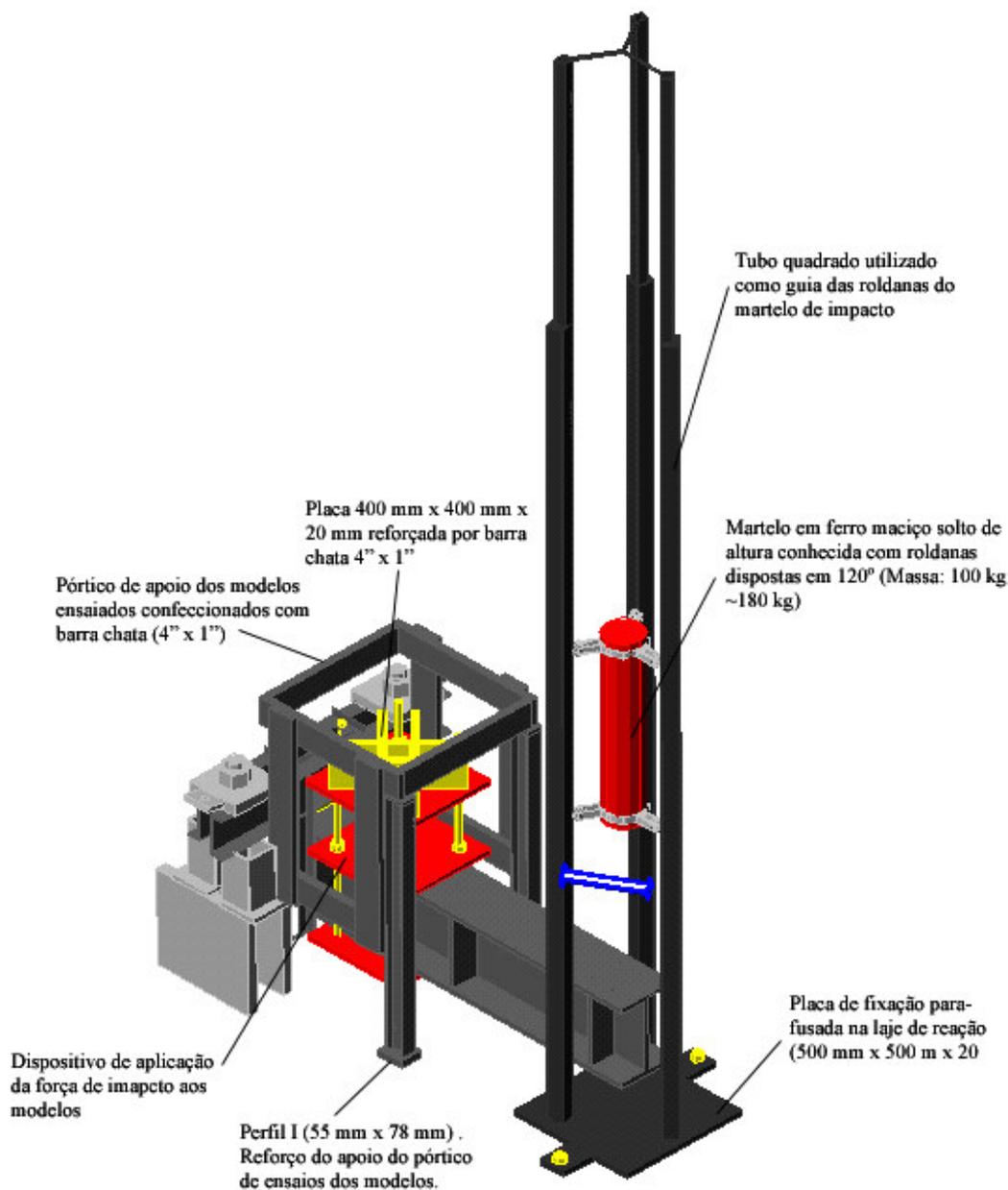


Figura 3.15 – Esquema do sistema desenvolvido para a aplicação de carga.

Foram instaladas três placas de dimensões 400 mm x 400 mm x 20 mm, fixadas por quatro barras com rosca e porcas $\phi = 25 \text{ mm}$ (Figura 3.16). A placa que transmitia o carregamento ao modelo foi reforçada à flexão com barras chatas de 4" x 1". Estas placas foram instaladas para que a ação causada pelo impacto do martelo fosse transmitida ao modelo com a amplificação devido ao braço de alavanca existente.

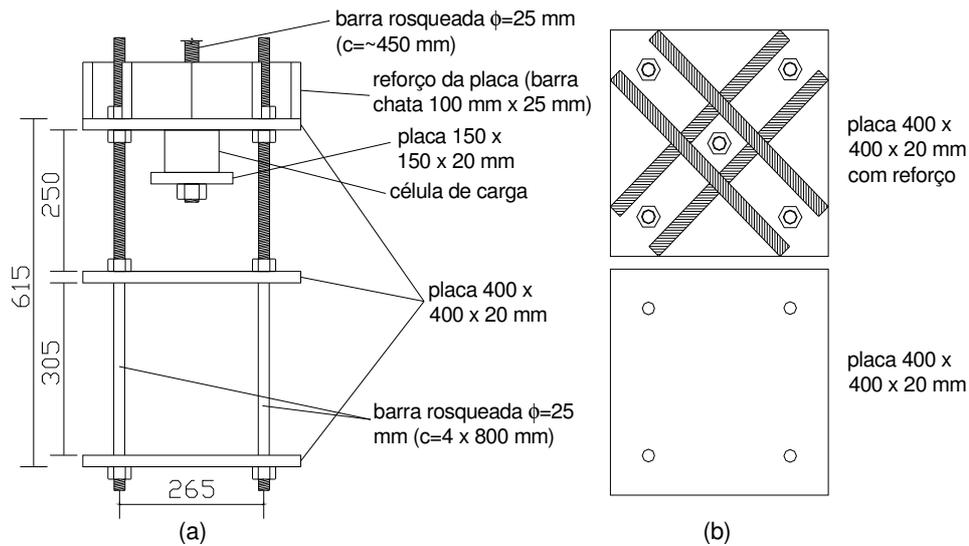


Figura 3.16 – Dispositivo de transmissão da força do perfil para os blocos e pinos: a) vista lateral; b) vista superior das placas.

Inicialmente utilizou-se um martelo com massa de 100 kg (Figura 3.17(a)). Para aumento da massa do martelo para 180 kg foram adicionadas oito placas de ferro 500 mm x 100 mm x 25 mm com massa individual de 10 kg (Figura 3.17(b)).



Figura 3.17 – Martelo de impacto: a) massa de 100 kg; b) massa de 180 kg.

Na Figura 3.18 à Figura 3.20 está mostrado um esquema geral do sistema construído para a aplicação da força de impacto.

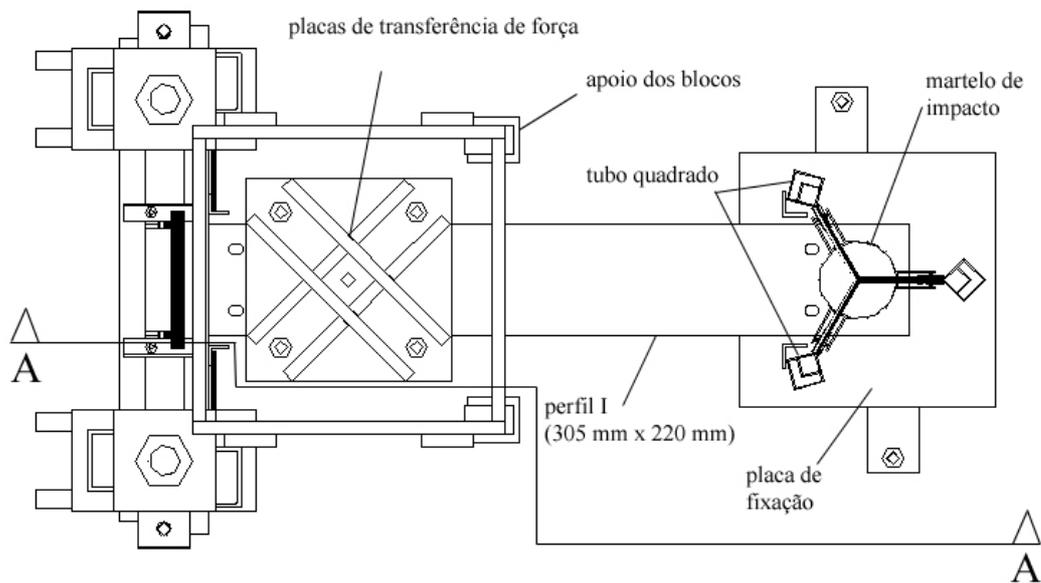


Figura 3.18 – Esquema da estrutura de aplicação de força: vista superior.

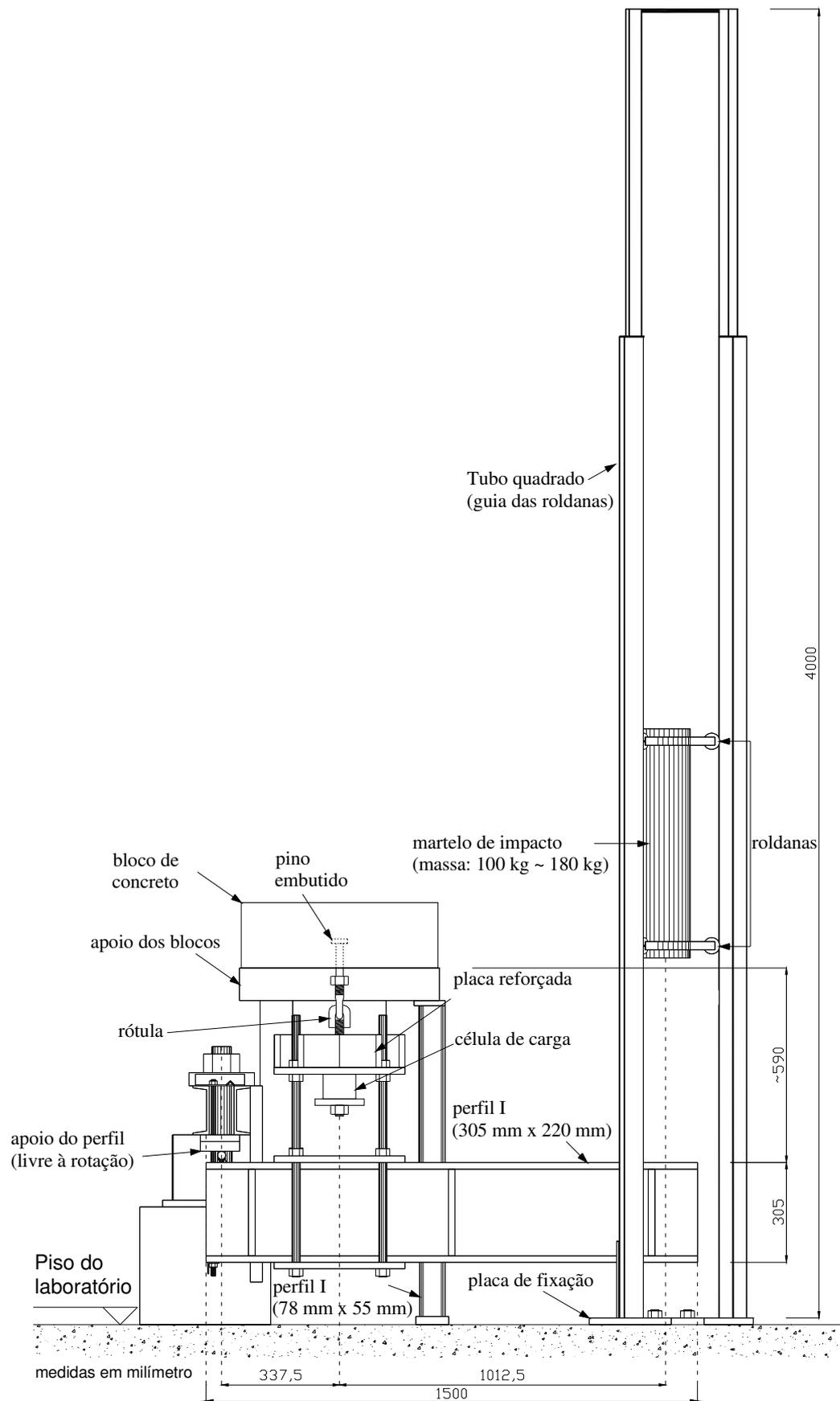


Figura 3.19 – Esquema da estrutura de aplicação de força: corte A-A.

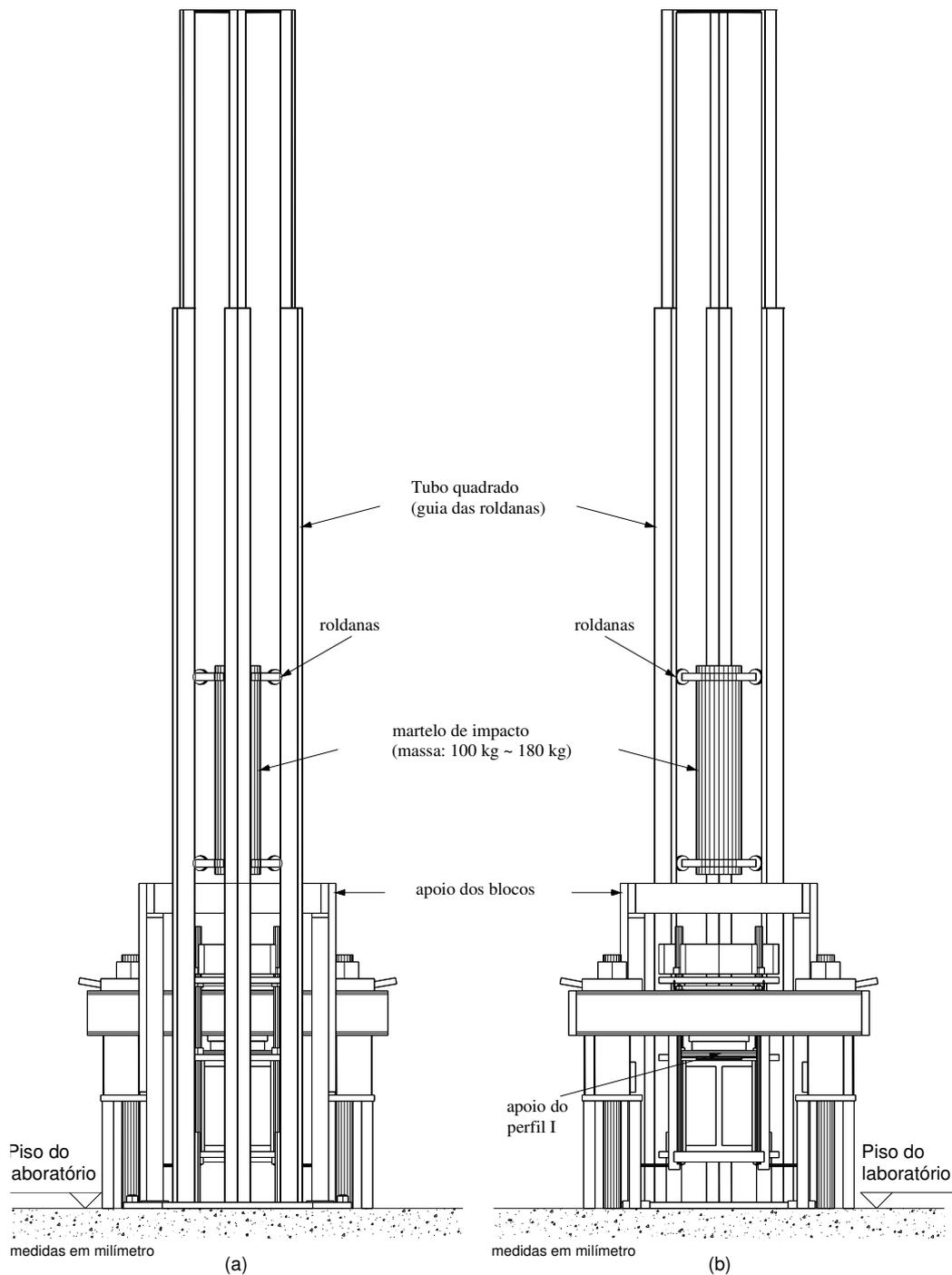


Figura 3.20 - Esquema da estrutura de aplicação de força: a) vista frontal 1; b) vista frontal 2.

Força Estática

O sistema construído foi adaptado de modo que se tornasse possível a realização de ensaios estáticos. Os blocos e pinos eram carregados lentamente com o peso próprio do perfil metálico I (305 mm x 220 mm), com intervalos de

leitura de 3 kN, alcançando um nível de carga de aproximadamente 10 kN. Em seguida, a aplicação do carregamento se deu por meio da ação de um macaco hidráulico com capacidade para 300 kN, instalado na extremidade do perfil rígido. A Figura 3.21 mostra o posicionamento do macaco hidráulico para a realização dos ensaios estáticos.



Figura 3.21 – Posicionamento do macaco hidráulico para a realização de ensaios estáticos.

3.6. Descrição dos Ensaios

3.6.1. Ensaios Preliminares

Eficiência da Solda dos Pinos dos Blocos

Foram realizados ensaios antes da concretagem dos blocos com o objetivo de verificar a eficiência da solda nos dispositivos de ancoragem dos pinos embutidos no concreto. As verificações foram realizadas em uma barra com características mecânicas similares às dos pinos embutidos. Para a viabilização da solda foram seguidas diretrizes para soldas em filete e em entalhe constantes na norma canadense CAN S16-1 (2001), que trata dos Estados Limites de Projeto de Estruturas de Aço (*Limit States Design of Steel Structures*). Segundo esta norma a resistência à tração deve ser tomada como a menor entre:

a) para o metal de material base

$$V_r = 0,67\phi_m A_m F_u \quad (3.1)$$

b) para metal de solda

$$V_r = 0,67\phi_w A_w F_w \quad (3.2)$$

onde ϕ_w é o fator de resistência do metal de solda ($\phi_w = 0,67$), ϕ_m é o fator de resistência do metal base, A_m é a área de solda de fusão do material base em mm^2 , A_w é a área da garganta efetiva da solda em mm^2 , F_u é a resistência à tração do metal do material base em MPa , e F_w é a resistência à tração do metal de solda em MPa .

Para a realização da solda foram feitos chanfros na extremidade a ser soldada no dispositivo de ancoragem, de modo que suportasse uma força máxima de aproximadamente 220 kN sem que houvesse ruptura no metal de solda. O eletrodo de solda utilizado inicialmente na verificação foi o E6013, com resistência à tração de aproximadamente $F_w = 415 MPa$ e, posteriormente, utilizou-se eletrodo E7018, com resistência à tração de aproximadamente $F_w = 485 MPa$.

Os ensaios foram realizados na prensa AMSLER UNIVERSAL, com capacidade para 1.000 kN, no Laboratório de Ensaios Mecânicos do ITUC – Instituto de Tecnologia da Universidade Católica (PUC-Rio). A Figura 3.22 ilustra o dispositivo e a prensa utilizados na verificação da solda.

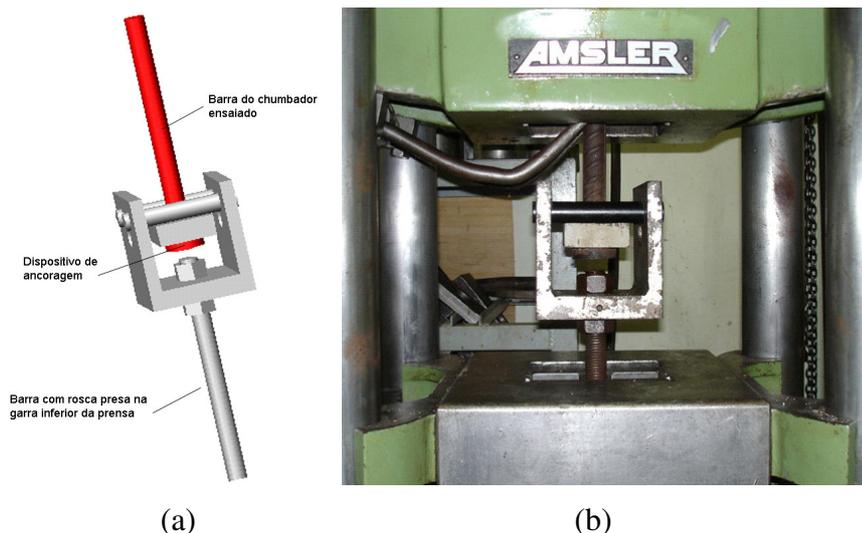


Figura 3.22 – Verificação de solda: a) dispositivo de ensaio; b) realização de ensaio.

A Tabela 3.6 apresenta os valores resistentes previstos e alcançados pela solda.

Tabela 3.6 – Resultado da verificação da eficiência da solda.

| Verificação | Força Prevista (kN) | Força Alcançada (kN) | Tipo de Eletrodo Resistência | Modo de Ruptura |
|----------------|---------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
| 1ª Verificação | 178,5 | 198 | E6013 Fw = 415 MPa | Metal de Solda |
| 2ª Verificação | 210,32 | 236 | E7018 Fw = 485 MPa | Haste do Dispositivo |

Calibração do Sistema de Aplicação de Força

Foram realizados ensaios em diversos pinos de modo a calibrar o sistema de aplicação de força, e, de modo a se obter valores da força máxima de impacto e da taxa de carregamento adequados.

As verificações foram realizadas aplicando-se força de tração num pino de aço CA-50 de diâmetro igual a 25 mm, soldado a um dispositivo de ancoragem de diâmetro igual a 50 mm em uma extremidade e soldado a uma porca em outra extremidade.

Inicialmente o martelo de impacto com massa igual a 100 kg foi solto de duas alturas diferentes: 100 cm e 170 cm; variando com isso a velocidade de queda. Variou-se também a condição de impacto na extremidade livre do perfil rígido para cada altura: martelo diretamente sobre o perfil (*hard impact*), sobre uma camada de neoprene (*soft impact*) e sobre uma mola. Nos primeiros testes preliminares foram verificadas as seguintes condições:

- I – h = 100 cm: perfil, borracha e mola;
- II – h = 170 cm: perfil, borracha e mola.

Em seguida o martelo com massa igual a 180 kg foi solto de quatro alturas diferentes e conhecidas: 1 mm, 100 mm, 500 mm e 1.000 mm. A energia cinética acumulada pelo martelo durante o movimento de queda era transmitido diretamente a uma mola fixada na extremidade do perfil rígido. Nesta série de ensaios foram verificadas as seguintes condições:

- I – h = 1 mm: mola;
- II – h = 10 mm: mola;
- III – h = 500 mm: mola;
- IV – h = 1.000 mm: mola;

Após análise dos resultados, pode-se observar que:

- As forças máximas para cada altura de queda se mantêm próximas independentes da situação de impacto, porém com taxas de carregamento diferentes.
- A diferença apresentada na força máxima e na taxa de aplicação de força para cada altura de queda é devida à velocidade de queda do martelo no instante do impacto, mostrando que depende da massa do martelo e da altura.

As características do pino de aço CA-50, e os resultados obtidos nos ensaios preliminares estão mostrados no Anexo B.

3.6.2. Verificação da Resistência do Concreto

A verificação da resistência do concreto à compressão simples foi feita aos 28 dias de idade e na data de cada ensaio.

Os corpos-de-prova foram ensaiados estaticamente à compressão simples e por compressão diametral na prensa CONTENCO com capacidade para 2400 kN, no Laboratório de Estruturas e Materiais do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio (LEM-DEC). Os ensaios de verificação da resistência à compressão simples do concreto seguiram às diretrizes da NBR 5739. Os ensaios de verificação da resistência à tração do concreto por compressão diametral seguiram as diretrizes da NBR 7222.

A idéia inicial era a de realizar ensaios de compressão simples com impacto em corpos-de-prova cilíndricos (Bischoff *et al*, 1995; Elfahal *et alii*, 2005), porém, a estrutura de aplicação de força construída não seria capaz de alcançar a força necessária para romper os corpos-de-prova. Com isso, optou-se por realizar ensaios de compressão diametral com força de impacto. Estas verificações foram realizadas seguindo-se a mesma metodologia aplicada no carregamento dos blocos de concreto.

Após a obtenção da força máxima alcançada em cada ensaio de compressão diametral, tanto estático quanto dinâmico, utilizou-se a seguinte expressão, para o cálculo da resistência à tração de cada corpo-de-prova cilíndrico:

$$f_t = \frac{2F}{\pi dl} \quad (3.3)$$

onde F é a força máxima alcançada em cada ensaio, d é o diâmetro do corpo-de-prova cilíndrico, e l é o comprimento do corpo de prova cilíndrico.

A Figura 3.23 mostra o esquema de ensaio dinâmico de compressão diametral em corpos-de-prova cilíndricos.

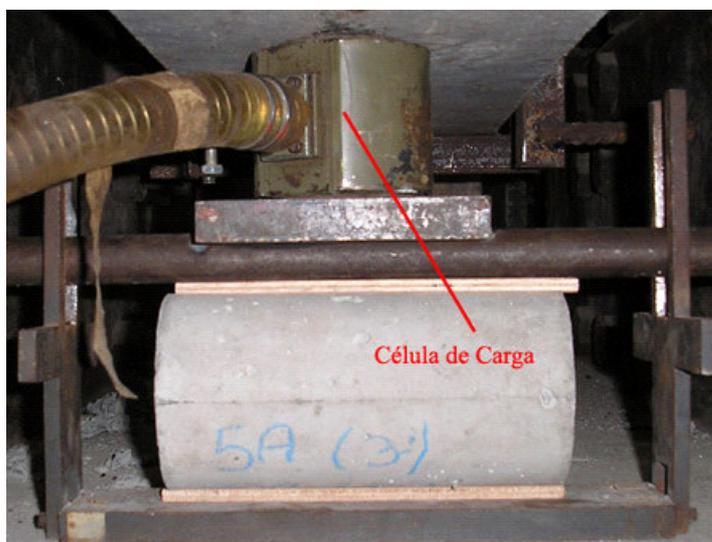


Figura 3.23 – Ensaio dinâmico de compressão diametral em corpos-de-prova cilíndricos.

3.6.3. Ensaio dos Blocos

Foram realizados quatro ensaios em blocos de concreto com o auxílio de um macaco hidráulico para a introdução do carregamento: blocos B22EST-9, B22EST-11, B22EST-I-5 e B22EST-I-6. Cada bloco era carregado inicialmente com o peso próprio perfil metálico I e, posteriormente, carregados até a ruptura. Nos ensaios dos blocos B22EST-9 e B22EST-11 o carregamento foi aplicado lentamente e nos ensaios dos blocos B22EST-I-5 e B22EST-I-6 o macaco hidráulico foi acionado rapidamente. Foram obtidas leituras a incrementos de força de 3 kN nos ensaios estáticos. A Figura 3.24 mostra o arranjo experimental utilizado nesses ensaios.



Figura 3.24 – Arranjo experimental para ensaios dos blocos B22EST e B22EST-I.

Foram realizados dois ensaios utilizando uma mola na extremidade do perfil rígido: blocos B22W180H100-MOLA-3 e B22W180H100-MOLA-4. Os blocos eram carregados inicialmente com o peso próprio do perfil metálico I alcançando um nível de carregamento de aproximadamente 6 kN no pino. Em seguida o martelo de massa 180 kg foi solto da altura de 100 cm. A Figura 3.25 mostra a mola helicoidal instalada na extremidade do perfil metálico I e a Figura 3.26 mostra o arranjo experimental utilizado nesses ensaios.

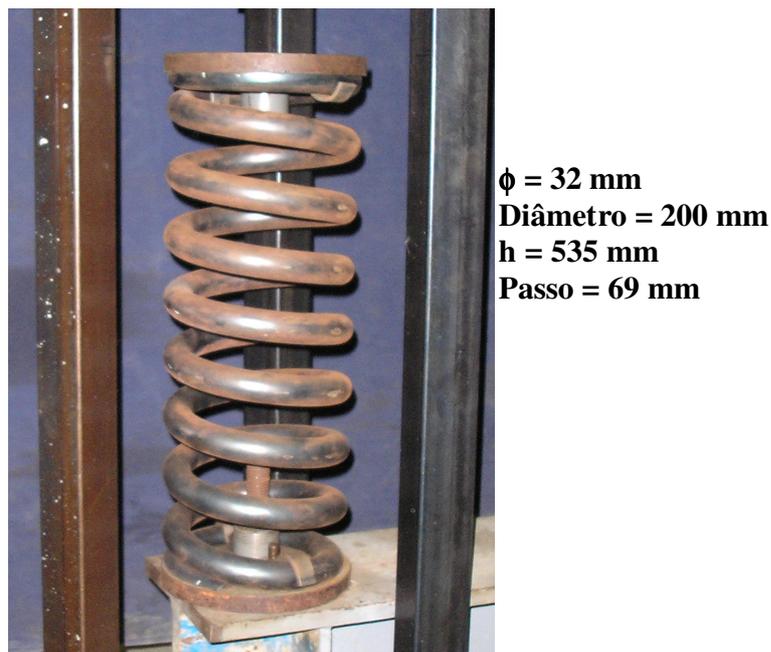


Figura 3.25 – Mola de impacto instalada na extremidade do perfil metálico.



Figura 3.26 – Arranjo experimental para ensaios dos blocos B22W180H100-MOLA.

Foram realizados dois ensaios com o martelo de massa 100 kg: blocos B22W100H220-P-7 e B22W100H220-P-8. Os blocos foram carregados inicialmente com o peso próprio do perfil metálico I alcançando um nível de carregamento de aproximadamente 5 kN no pino. Em seguida, o martelo de massa

100 kg foi solto da altura de 220 cm. A Figura 3.27 mostra o arranjo experimental antes dos ensaios.



Figura 3.27 – Arranjo experimental para ensaios dos blocos B22W100H220.

Foram realizados três ensaios com o martelo de massa 180 kg: blocos B22W180H220-1, B22W180H220-2 e B22W180H220-13. Os blocos foram carregados inicialmente com o peso próprio do perfil metálico I alcançando um nível de carregamento de aproximadamente 5 kN no pino. Em seguida, o martelo de massa 180 kg foi solto da altura de 220 cm. O arranjo experimental para esta série de ensaios foi semelhante ao arranjo dos ensaios B22W100H220, com exceção do martelo, o qual teve sua massa aumentada em 80 kg (Figura 3.17).

3.6.4. Ensaio dos Pinos P16

Os ensaios dos pinos P16 foram realizados baseados na mesma metodologia empregada nos ensaios dos blocos de concreto. Foram realizados dois ensaios com o auxílio de um macaco hidráulico para a introdução do carregamento (P16EST e P16EST-I), semelhante aos ensaios B22EST e B22EST-1. Em seguida foi realizado um ensaio com martelo de massa 180 kg solto da altura de 100 cm sobre uma mola (P16W180H100-MOLA), semelhante aos ensaios B22W180H100-MOLA. Foi realizado um ensaio com martelo de massa 100 kg

solto da altura de 220 cm sobre o perfil (P16W100H220-P), semelhante aos ensaios B22W100H220. Posteriormente, foi realizado um ensaio com martelo de massa 180 kg solto da altura de 220 cm sobre o perfil (P16W180H220-P), semelhante aos ensaios B22W180H220 . Foi realizado também um ensaio com martelo de massa 180 kg solto da altura de 100 cm sobre o perfil (P16W180H100-P).

Todos os ensaios onde o martelo agiu diretamente sobre o perfil metálico foram realizados novamente alterando-se a condição de impacto do martelo através da introdução de uma placa de neoprene com espessura de 20 mm (P16W100H220-B, P16W180H220-B e P16W180H100-B).