

# PINOS DE ANCORAGENS SOB CARGAS DE TRAÇÃO

Anderson Araújo Watanabe, Prof. Ronaldo Barros Gomes

UFG, 74605-220, Brasil

andersonwatanabe-@hotmail.com, rbggomes@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Ancoragem, Altura Efetiva, Comprimento de Aderência, Variação do diâmetro, Proximidade de borda.

## 1. INTRODUÇÃO

A principal função dos pinos de ancoragem é a fixação, promovendo a ligação de estruturas até então distintas e permitindo a introdução de cargas concentradas. É muito utilizado em estruturas pré-moldadas, em especial na ligação entre elementos metálicos e blocos de fundação, Figura 1, mas eles podem ser empregados em várias situações, são também chamados de chumbadores.

Atualmente há duas categorias distintas de sistemas de ancoragem: os pré-instalados e os pós-instalados. No sistema pré-instalado, o pino é posicionado no local de atuação antes da concretagem enquanto no sistema pós-instalado a fixação é concreto já endurecido através de perfuração e aplicação de compostos ligantes. Neste trabalho em questão foi estudado o sistema de ancoragem pré-instalado.

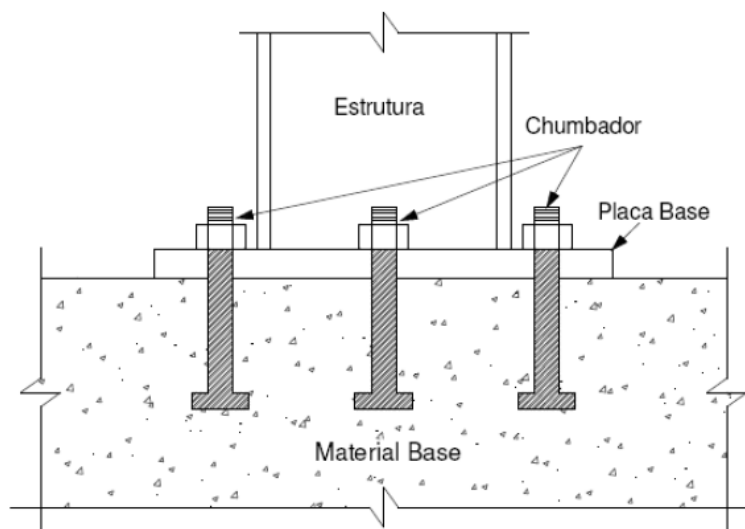


Figura 1. Pino de ancoragem (ligação aço – concreto).

## **2. OBJETIVOS**

Como objetivo específico, tem-se a quantificação de algumas variáveis que podem influir na resistência de ancoragem, tais como o comprimento de aderência da haste do pino de ancoragem, a altura efetiva entre a superfície superior do pino a superfície superior do concreto, a variação do diâmetro da haste do pino e a proximidade de borda do pino.

A justificativa desta pesquisa é a necessidade de um amplo conhecimento no comportamento de estruturas que utilizam pinos de ancoragem em suas ligações, a fim de se obter dados suficientes para dimensionar com maior grau de segurança e economia os pinos e concretos usados para a fixação de estruturas e equipamentos pesados.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Esta revisão bibliográfica baseia-se em publicações do CEB (1994 e 1997), ACI (1978 e 2005), artigos técnicos internacionais e nacionais e dissertações como a de Meira (2005), Soares (2007), realizados na EEC-UFG, principalmente nos tópicos relacionados aos tipos de sistemas de ancoragem, modos de ruptura, mecanismos de transferência de carga e métodos de cálculo, e as pesquisas nacionais de Jermann (1993), Oliveira (2003), Martins Junior (2006), Fontenelle (2009) e Marinho (2009).

### **3.1. Mecanismos de Transferência de Carga**

Existem três formas de transmissão dos esforços externos do pino para o concreto, Figura 2, que podem ocorrer de forma independente ou por uma combinação das mesmas.

A ancoragem mecânica se desenvolve pela transmissão mecânica de esforços de um elemento situado na extremidade imersa do chumbador. Pode ser utilizada uma cabeça de ancoragem ou uma barra dobrada em U ou em L, para o concreto. Isso pode gerar elevadas tensões de esmagamento nessa região de confinamento. Esse tipo de transferência de carga ocorre principalmente em chumbadores de cabeça pré-instalados e chumbadores de segurança pós-instalados.

A ancoragem por atrito acontece pelo atrito entre a superfície do elemento expensor e a superfície do concreto. Tendo como resultado a ação de forças normais à interface entre a face lateral do chumbador e o concreto, devido à expansão do chumbador por meio de torque ou percussão, que são as duas formas mais usuais dos chumbadores de expansão.

A ancoragem por aderência ocorre entre as superfícies imersas do chumbador e do concreto; um exemplo é o caso de ancoragens pré-instaladas, constituídas de barras retas, ou na instalação de chumbadores pós-instalados de adesão química, em que ocorre a aderência entre a superfície do concreto e as resinas ou aglomerantes utilizados para preencher o furo.

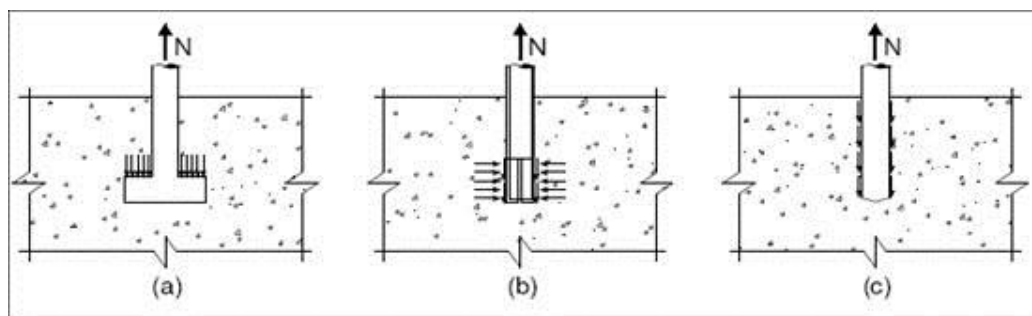


Figura 2. Mecanismos de transferência de carga: (a) ancoragem mecânica, (b), ancoragem por atrito, (c) ancoragem por aderência. Adaptado de Fastenings to Concrete and Masonry Structures (CEB, 1994.)

### 3.2. Sistema de Ancoragem Pré-Instalado

Nesse sistema de ancoragem, os chumbadores são posicionados antes da concretagem de forma definitiva. Devido ao seu posicionamento anterior à concretagem o trabalho de locação deve ser minucioso e a fixação na ferragem ou nas fôrmas, deve ser feita com gabaritos, a fim de evitar qualquer movimento durante a concretagem. Existem diversos modelos disponíveis no mercado dependendo da sua aplicação, Figura 3.

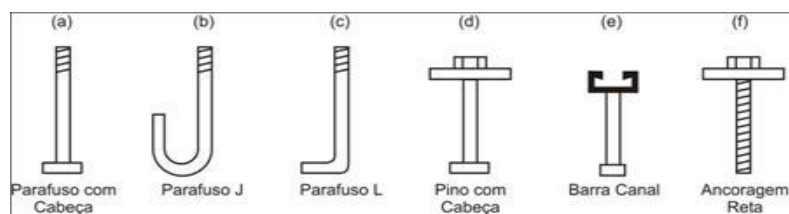


Figura 3. Tipos de pinos de ancoragem pré-instalados (CEB Bulletin nº 233, 1997).

### 3.3. Pinos de Aço Nervurado com Ancoragem de Cabeça

Nos pinos de aço nervurado com ancoragem de cabeça, Figura 4, atuam dois mecanismos de ancoragem. No primeiro, a ancoragem é resistida pela tensão de aderência, que ao atingir o seu pico encerra-se e passa para a segunda fase na qual a aderência começa a se deteriorar ao longo da barra e a tensão passa a ser transferida para a cabeça, resultando com o escoamento da barra ou a ruptura do concreto acima da cabeça. A capacidade de ruptura de uma barra com cabeça é determinada pela carga de pico proveniente da ancoragem mecânica adicionada a alguma contribuição referente à aderência.

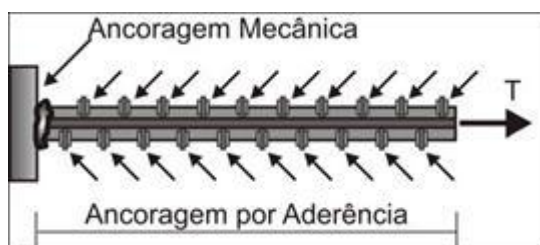


Figura 4. Mecanismo de transferência de carga (Thompson et al., 2003).

### 3.4. Modos de Ruptura Para Sistemas Pré-Instalados

A ruptura do aço, Figura 5, é tratada como uma ruptura dúctil, pois próximo da carga de ruptura ela se deforma consideravelmente. Este comportamento está relacionado com sua rigidez, resistência e capacidade de deformação. O que determina a resistência à tração do pino de ancoragem é sua seção transversal e resistência à tração do aço.

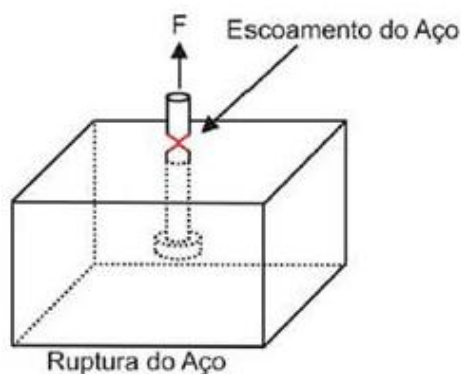


Figura 5. Ruptura do aço – MEIRA, 2005.

Na ruptura do cone de concreto ocorre o arrancamento de uma superfície irregular aproximadamente cônica, que se inicia na cabeça do chumbador e se estende até o topo do concreto, Figura 6. O arrancamento desse cone ocorre quando as tensões de tração ultrapassam a resistência à tração do concreto. Esse tipo de ruptura é de interesse para fins de dimensionamento, ocorrendo em ancoragens com alturas imersas pequenas e em concretos com baixas resistências.

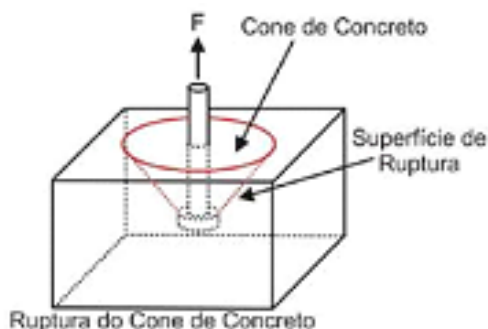


Figura 6. Ruptura do cone de concreto - MEIRA, 2005.

A ruptura por fendilhamento, Figura 7, ocorre devido à elevação da tensão de tração proveniente do pino, levando à fissuração e separação do elemento de concreto em partes. Esse tipo de ruptura deve ser evitado, pois há poucos estudos sobre esse tipo de ruptura, o que torna difícil de determinar teoricamente a resistência da ancoragem.

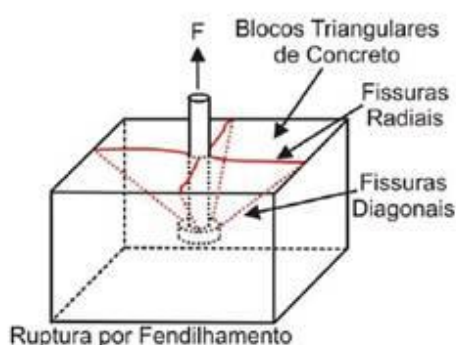


Figura 7. Ruptura por fendilhamento - MEIRA, 2005

### 3.5. Influência da Armadura de Flexão

No estudo de Bode e Roik (1987), são feitas considerações sobre diversos fatores que podem influenciar a capacidade de carga de uma ancoragem,

um deles é o uso de armadura adicional de flexão. Essa armadura tem como função fornecer uma maior ductilidade à conexão, prevenir o desenvolvimento de fissuras e o esmagamento do concreto em determinada região. Pode ser utilizada onde há espaçamentos insuficientes para a transmissão da carga do aço para o concreto.

O seu uso melhora o comportamento quanto à ductilidade, apesar de não aumentar significativamente a capacidade final de arrancamento e apresentar uma forma do cone de ruptura semelhante à ruptura sem armadura. Ocorrem restrições quanto ao seu uso em ancoragens pós-instaladas, pois a instalação do pino é feita após o endurecimento do concreto, tornando assim mais difícil de posicioná-lo.

### 3.6. Método de Cálculo

Existem diversas normas e métodos de cálculo para o dimensionamento de pinos de ancoragem, podendo existir semelhança entre esses métodos para alguma situação em particular. Para a realização deste trabalho adotou-se o método de 34°, pois sua eficácia pode ser comprovada em trabalhos anteriores como, por exemplo, no de SOARES, 2007.

O método de cálculo desenvolvido por Eligehausen et al. (1988) supõe que a superfície do cone de ruptura apresenta um ângulo de 34°, de acordo com os conceitos da mecânica da fratura e estudos experimentais. Nesse método, também é considerado o espaçamento entre chumbadores, excentricidade, ausência de fissuras e presença de armaduras pouco espaçadas.

Esse método serviu de base para o desenvolvimento de outros métodos de cálculo, Figura 8, existindo algumas diferenças quanto ao conceito original para cada método adaptado. A carga de ruptura da ancoragem é:

$$N_u = N_{u,0} \cdot \psi_c \cdot \psi_s \cdot \psi_{ec} \quad (1)$$

Onde:

- ✓  $N_{u,0}$  – valor da carga de ruptura de um pino, que não sofre a influência de borda, submetido a um esforço de tração.
- ✓  $\psi_c$  – coeficiente que considera a influência da borda.
- ✓  $\psi_s$  – coeficiente que considera a influência de um grupo de ancoragens.
- ✓  $\psi_{ec}$  – coeficiente que considera a influência da excentricidade de carga.

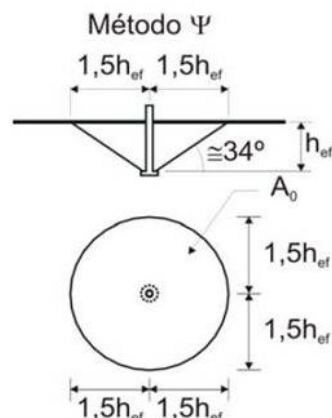


Figura 8. Método  $\Psi$  - Exemplo do cone de ruptura (CEB Bull. 233).

#### 4. METODOLOGIA

No presente trabalho foi estudado o comportamento de pinos de ancoragem sujeitos a esforços de tração em blocos de concreto com dimensões 2200 mm x 600 mm x 400 mm. Na parte superior de cada bloco, foram dispostos 3 pinos de ancoragem. As variáveis estudadas projeto, Tabela 1, foram o comprimento de aderência, distância à borda, altura efetiva e variação do diâmetro da haste do pino.

Tabela 1. Programa Experimental

| PROGRAMA EXPERIMENTAL |      |                    |      |           |      |                     |      |
|-----------------------|------|--------------------|------|-----------|------|---------------------|------|
| $h_{ef}$ (mm)         | pino | $\phi_{pino}$ (mm) | Pino | $l_b$ (%) | Pino | $C_x$ ( $A_n/A_o$ ) | Pino |
| 50                    | P1   | 10                 | P5   | 0         | P9   | 0,7                 | P14  |
| 75                    | P2   | 12,5               | P6   | 25        | P10  | 0,8                 | P15  |
| 100                   | P3   | 16                 | P7   | 50        | P11  | 1                   | P16  |
| 125                   | P4   | 20                 | P8   | 75        | P12  | -                   | -    |
| -                     | -    | -                  | -    | 100       | P13  | -                   | -    |

##### 4.1. Pinos

Os pinos utilizados nesta pesquisa foram fabricados utilizando barras de aço CA-50 para as hastes e chapas metálicas de aço SAC-1045 para as cabeças de ancoragem. A chapa metálica foi perfurada para que a haste pudesse atravessá-la, sendo soldada utilizando eletrodo OK 46 em cada face. A Figura 9 apresenta a configuração de um pino após a solda. As dimensões da cabeça de ancoragem (dh) 50 mm x 50 mm foram mantidas constantes, mudando somente o comprimento da

haste devido ao aumento da altura efetiva para que todos os pinos possuíssem a mesma altura na parte externa ao concreto. Os comprimentos da haste eram de 250 mm ( $h_{ef} = 50$  mm), 275 mm ( $h_{ef} = 75$  mm), 300 ( $h_{ef} = 100$  mm), 325 mm ( $h_{ef} = 125$  mm) e 350 mm ( $h_{ef} = 150$  mm) para as variações dos diâmetros da haste estudados que são 10, 12,5, 16 e 20 mm



Figura 9. Configuração dos pinos preparados para concretagem

#### 4.2. Fôrmas

As fôrmas foram fabricadas com as seguintes dimensões 2200 mm (comprimento) x 600 mm (largura) x 400 mm (altura) e montadas com perfis U, Figura 10.



Figura 10. Fôrma pronta para concretagem.

Foi aplicado desmoldante nas formas e então posicionada a armadura de flexão com o auxílio de espaçadores. Para assegurar que os pinos ficassem



devidamente posicionados e não ocorresse nenhum deslocamento durante a concretagem, foram fixadas barras metálicas no sentido transversal e longitudinal das fôrmas, apoiadas em pequenos cubos de madeira, para manter livre a superfície de concreto, e os pinos fixados a estas por meio de arame recozido. Antes da concretagem foram feitas verificações do prumo e alinhamento.

### 4.3. Concreto

O concreto utilizado na confecção das peças foi fornecido pela empresa REALMIX Concreto e Argamassa que definiu o traço para que o concreto atingisse a resistência a compressão de 30 MPa aos 28 dias.

A concretagem foi realizada no dia 22 de outubro de 2010 no laboratório de estruturas da UFG e também foram moldados corpos de prova cilíndricos 150 mm x 300 mm para a obtenção de dados suficientes para se traçar à curva idade x resistência à compressão, obter valores do módulo de elasticidade e resistência à tração do concreto para a idade de 28 dias. A cura das peças foi feita utilizando água e mantendo a superfície dos blocos molhada por sete dias, com posterior cobertura com lona a fim de se evitar perda de umidade.

### 4.4. Ensaio

A montagem do ensaio foi desenvolvida para que todos os ensaios fossem realizados da mesma forma, seguindo o modelo utilizado por MEIRA, 2005 e SOARES, 2007, Figura 11.

Os elementos constituintes do ensaio são:

✓ Atuador hidráulico: é utilizado para gerar a força de tração, ele é alimentado por uma bomba manual.

✓ Tirantes: servem para transmitir a força gerada pelo atuador hidráulico ao pino a ser ensaiado. Seu diâmetro é 25 mm, comprimento 1500 mm e apenas 300 mm em cada extremidade é rosqueável, são feitos de aço SAC 1045.

✓ Célula de carga: é utilizada para medir a força aplicada pelo atuador hidráulico.

✓ Leitora de carga digital: é responsável pela indicação do valor medido pela célula de carga.

✓ Pórtico de reação: é utilizado para receber os esforços provenientes do atuador hidráulico e transmitir para o bloco. Esse pórtico é constituído de uma viga metálica, formada por um perfil H de 145 x 155 x 8 mm com 1000 mm de comprimento. Os dois pilares são constituídos de um perfil circular com 90mm de diâmetro e 3 mm de espessura, com altura de 340 mm soldado a chapas metálicas de 145 x 125 mm com espessura de 16 mm nas extremidades. Os pilares desse pórtico foram fixados à base da viga por meio de sargentos fixando os quatro cantos da chapa metálica da parte superior do pilar.

✓ Chapas metálicas: são utilizadas para assegurar que os esforços transmitidos do pórtico para o bloco sejam uniformemente distribuídos. Essas chapas têm dimensões 50 x 100 x 25 mm e são fixadas na parte inferior da chapa metálica da base do pilar por meio de gesso pedra tipo III.

✓ Perfis em U: são utilizados dois perfis, um superior e outro inferior, para transmitir a força de tração gerada pelo atuador hidráulico para o pino a ser ensaiado. Foram fabricados através da soldagem de três chapas metálicas formando um perfil U.

✓ Chapas em L: são utilizadas duas chapas em forma de L para transmitir a força de tração do perfil U, descrito acima, para a porca soldada ao pino.

✓ Porcas e arruelas: são utilizadas para transmitir a força de tração proveniente das chapas em L para o pino. Foram soldadas porcas sextavadas de 1" na parte superior do pino através de solda de topo utilizando eletrodo OK46.

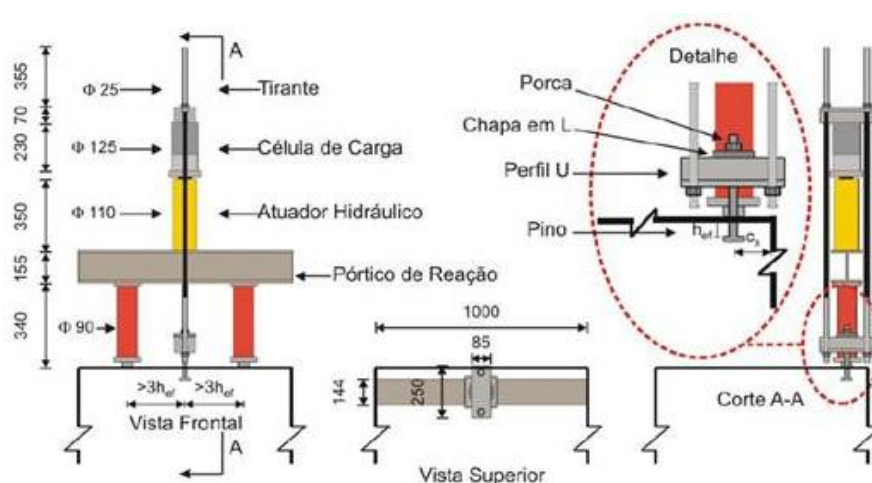


Figura 11. Desenho da montagem do ensaio, MEIRA 2005.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Caracterização dos Materiais

#### 5.1.1. Concreto

Foi utilizado concreto usinado para a confecção dos blocos. Os valores da resistência à compressão, resistência à tração e do módulo de elasticidade do concreto, Tabela 2, foram obtidos por meio de ensaios de corpos-de-prova cilíndricos, com diâmetro de 150 mm e altura de 300 mm, conforme a NBR 5739/94, NBR 7222/94 e NBR 8522/84. Como os ensaios foram realizados em dias diferentes, foi necessário traçar a curva idade x resistência à compressão, Figura 12, para se estimar o valor da resistência à compressão do concreto no dia do ensaio de cada peça.

Tabela 2. Resultados dos Ensaio

| ENSAIO                         | IDADE | VALORES OBTIDOS |
|--------------------------------|-------|-----------------|
| Resistência à compressão (MPa) | 7     | 28,4            |
|                                | 14    | 29,4            |
|                                | 21    | 30,5            |
|                                | 28    | 32,3            |
| Resistência à tração (MPa)     | 28    | 3,4             |
| Módulo de elasticidade (GPa)   | 28    | 23,3            |

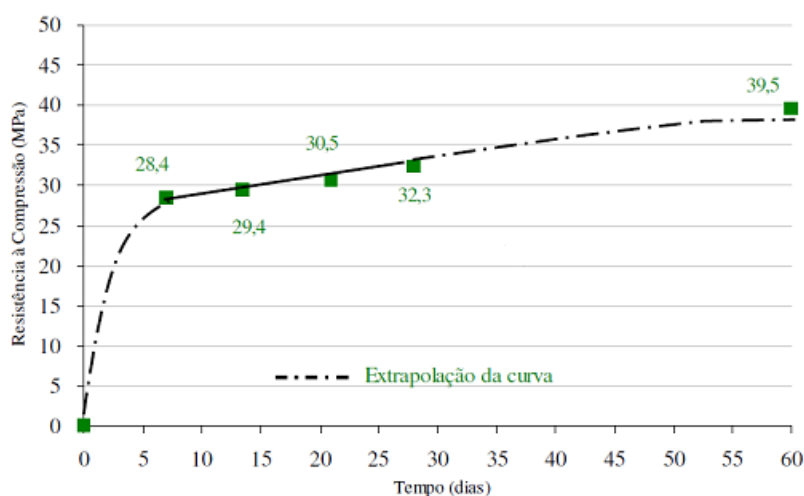


Figura 12. Curva Resistência a compressão do concreto.

### 5.1.2. Aço

As barras de aço utilizadas como haste do pino, variando o diâmetro em 10,0, 12,5, 16,0 e 20,0 mm, foram ensaiadas à tração utilizando três amostras, de acordo com a NBR 6152/92. Com esses dados foram traçados os diagramas tensão x deformação, apresentados nas Figuras 13, 14, 15, 16.

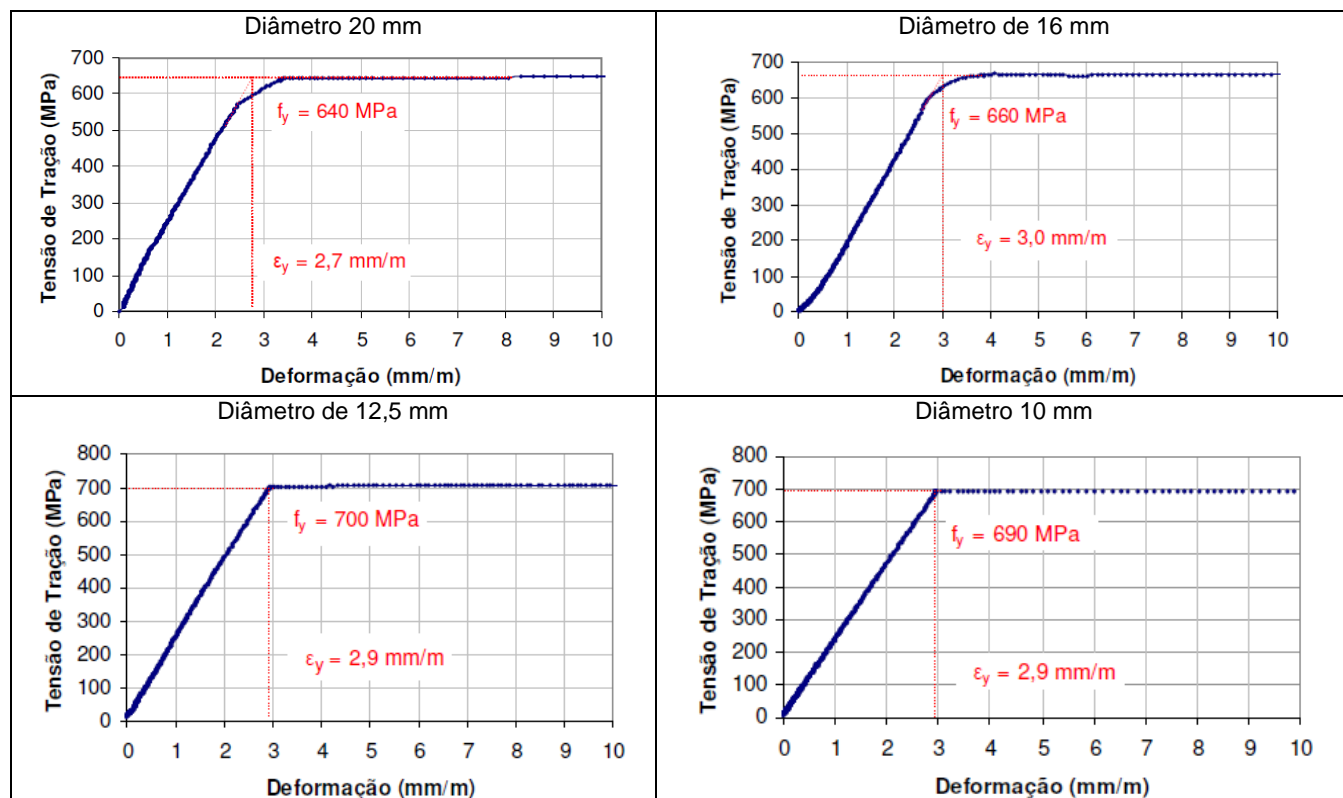


Figura 13. Curva Tensão X Deformação do aço

### 5.2. Carga de Ruptura

Os resultados obtidos após os ensaios de ruptura estão relacionados conforme Tabela 3.

Tabela 3. Resultados das cargas de ruptura (RE – Ruptura por escoamento / RC – Ruptura no concreto / RS – Ruptura na solda).

| PINO | Fe (KN) | RUPTURA |
|------|---------|---------|
| P1   | 27,5    | RC      |
| P2   | 35,4    | RC      |
| P3   | 49,8    | RC      |
| P4   | 58,1    | RC      |
| P5   | 19,8    | RC      |
| P6   | 15      | RC      |
| P7   | 25      | RC      |
| P8   | 25      | RC      |
| P9   | 49,8    | RC      |
| P10  | 42,5    | RC      |
| P11  | 53,8    | RC      |
| P12  | 45      | RC      |
| P13  | 45      | RC      |
| P14  | 53,8    | RC      |
| P15  | 54,5    | RC      |
| P16  | 95,7    | RC      |

## 6. DISCUSSÃO

Os pinos  $P_F$  romperam no concreto, como o esperado. Os valores atingidos são bem semelhantes entre o calculado ( $F_c$ ) e ensaiado ( $F_e$ ). Sendo comprovada, pois os pinos  $P_F$  romperam bem próximos a este valor variando apenas 8,76 % para mais ou -9,56 % para menos, Tabela 4.

Os valores obtidos foram próximos dos valores esperados. A variação do diâmetro do pino e o comprimento de aderência não resultam em um considerável aumento na tensão de ruptura. A variação da altura efetiva e a distância de borda eleva razoavelmente a tensão final de ruptura.

Tabela 4. Resultados das cargas de ruptura (RE – Ruptura por escoamento / RC – Ruptura no concreto / RS – Ruptura na solda).

| VARIÁVEIS                | PINO            | F <sub>c</sub><br>(kN) | F <sub>e</sub><br>(kN) | F <sub>e</sub> / F <sub>c</sub><br>(%) | RUPTURA |
|--------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|--|---------|
| Altura efetiva           | P <sub>1</sub>  | 25,1                   | 27,5                   | -9,56                                  | RC      |
|                          | P <sub>2</sub>  | 38                     | 35,4                   | 6,84                                   | RC      |
|                          | P <sub>3</sub>  | 46,9                   | 49,8                   | -6,18                                  | RC      |
|                          | P <sub>4</sub>  | 56,2                   | 58,1                   | -3,38                                  | RC      |
| Diâmetro do pino         | P <sub>5</sub>  | 21,7                   | 19,8                   | 8,76                                   | RC      |
|                          | P <sub>6</sub>  | 15,8                   | 15                     | 5,06                                   | RC      |
|                          | P <sub>7</sub>  | 24,4                   | 25                     | -2,46                                  | RC      |
|                          | P <sub>8</sub>  | 23,4                   | 25                     | -6,84                                  | RC      |
| Comprimento de Aderência | P <sub>9</sub>  | 46,9                   | 49,8                   | -6,18                                  | RC      |
|                          | P <sub>10</sub> | 43,7                   | 42,5                   | 2,75                                   | RC      |
|                          | P <sub>11</sub> | 54,9                   | 53,8                   | 2,00                                   | RC      |
|                          | P <sub>12</sub> | 43,9                   | 45                     | -2,51                                  | RC      |
|                          | P <sub>13</sub> | 47,8                   | 45                     | 5,86                                   | RC      |
| Distância de Borda       | P <sub>14</sub> | 53,2                   | 53,8                   | -1,13                                  | RC      |
|                          | P <sub>15</sub> | 55,8                   | 54,5                   | 2,33                                   | RC      |
|                          | P <sub>16</sub> | 100,7                  | 95,7                   | 4,97                                   | RC      |

## 7. Conclusões

Constatou-se que para a análise da variação da altura efetiva e da variação da distância de borda, eleva a carga de ruptura duas vezes. Quanto à altura efetiva esse ganho se deve ao incremento da área da seção de aço. O ganho devido a distância de borda esta relacionado a localização da borda fora do cone de ruptura.

Quanto à variação do diâmetro do pino e comprimento de aderência não eleva a carga de ruptura consideravelmente. Os resultados são devido ao aumento da área lateral não aumentar razoavelmente com o aumento do diâmetro do pino e a transferência dos esforços serem principalmente pela chapa de aço solda no pino.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI COMMITTEE 318. **Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary – ACI 318-02: Appendix D – Anchoring to Concrete**, Michigan, 2005, 433p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739/94 – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto**, 1994. . Rio de Janeiro

BODE, H.; ROIK K. **Head Studs – Embedded in Concrete and Loaded in Tension, Anchorage to Concrete**, SP-103, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, p.61- 88, 1987.

CEB Bulletin D'Information nº 233. **Design of Fastenings in Concrete – Design Guide – Parts 1 to 3**, Thomas Telford Services Ltda., January, 1997.

MARTINS JUNIOR, J. N. **Resistência à Tração de um sistema de ancoragem, embutido em concreto sujeito a carga de impacto**. 2006. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

JERMANN, R.P. **Chumbadores para Concreto**. 1993. 169f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1993.

MEIRA, M. T. R. **Resistência à tração de pinos de ancoragem – Influência de borda, comprimento de aderência, posição e orientação do pino**. 2005. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

SOARES, M. M. P. **Influência da proximidade de borda, da altura efetiva, do comprimento aderente e do diâmetro da haste na resistência de pinos de ancoragem**. 2007. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

MARINHO, A. M.; FONTENELLE E.G.; **Influência da armadura de flexão na resistência à tração de pinos de ancoragem**. Trabalho da disciplina de Análise Teórico e Experimental das Estruturas – CMEC UFG 2009.