

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.

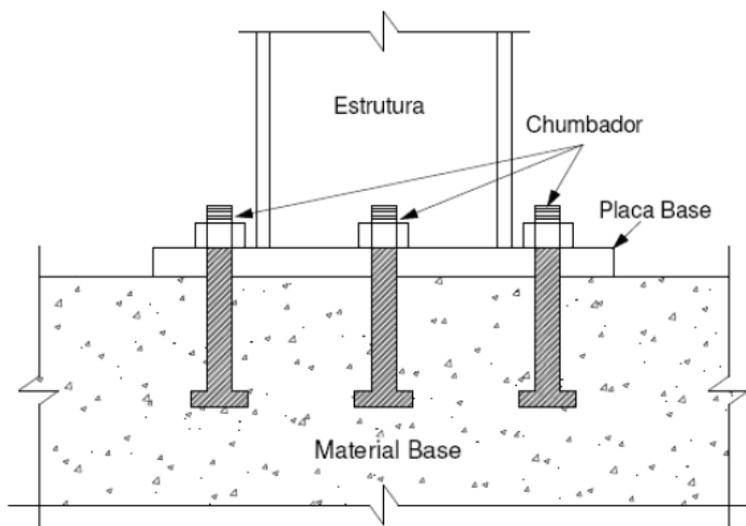


Figura 1. Pino de ancoragem (ligação aço – concreto).

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.

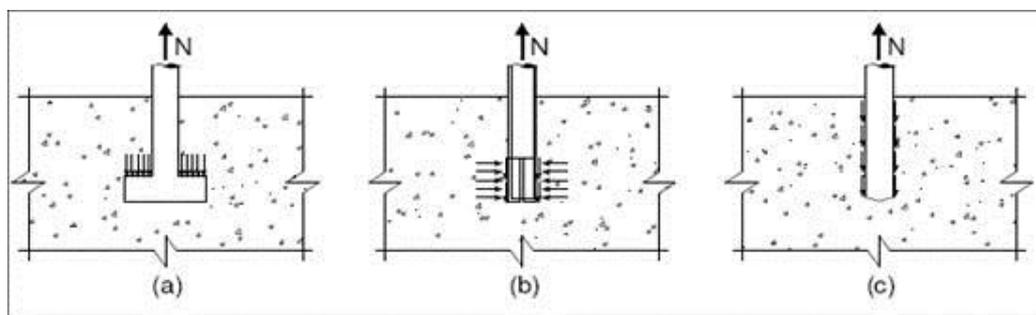


Figura 2. Mecanismos de transferência de carga: (a) ancoragem mecânica, (b), ancoragem por atrito, (c) ancoragem por aderência. Adaptado de *Fastenings to Concrete and Masonry Structures* (CEB, 1994.)

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.

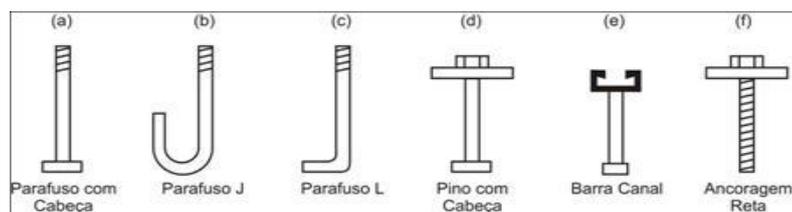


Figura 3. Tipos de pinos de ancoragem pré-instalados (CEB Bulletin nº 233, 1997).

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.

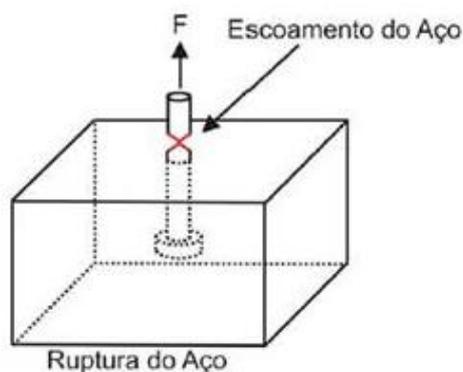


Figura 5. Ruptura do aço – MEIRA, 2005.

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.

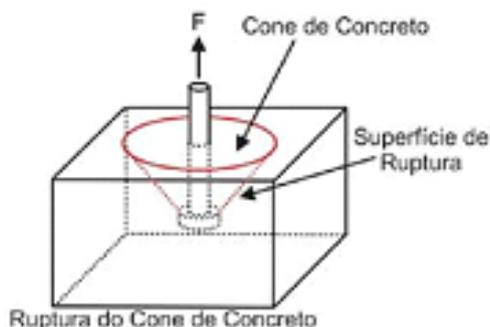


Figura 6. Ruptura do cone de concreto - MEIRA, 2005.

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.

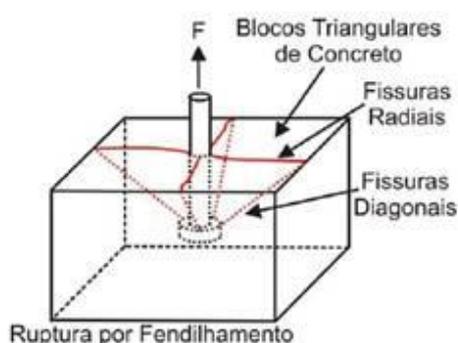


Figura 7. Ruptura por fendilhamento - MEIRA, 2005

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.
- ✓ ψ_c – coeficiente que considera a influência da borda.
- ✓ ψ_s – coeficiente que considera a influência de um grupo de ancoragens.
- ✓ ψ_{ec} – coeficiente que considera a influência da excentricidade de carga.

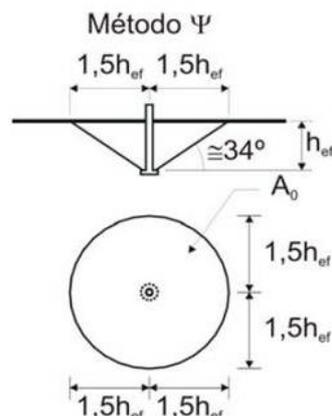


Figura 8. Método Ψ - Exemplo do cone de ruptura (CEB Bull. 233).

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	ϕ_{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.

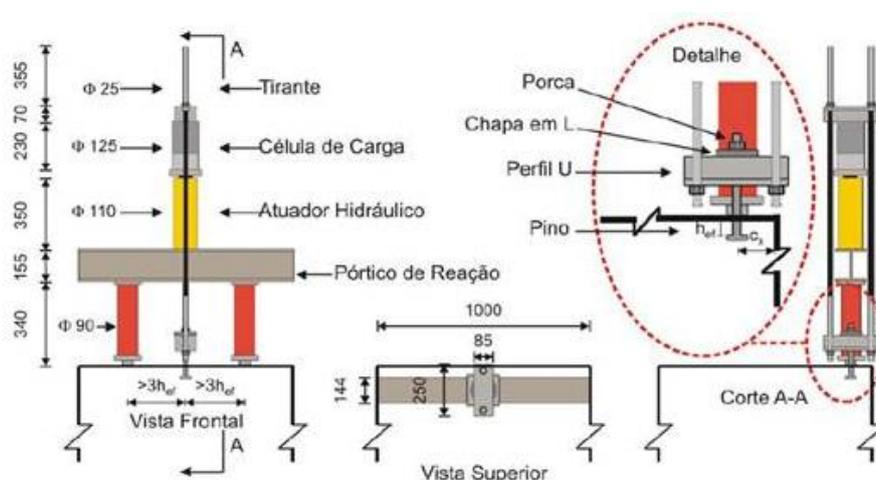


Figura 11. Desenho da montagem do ensaio, MEIRA 2005.

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

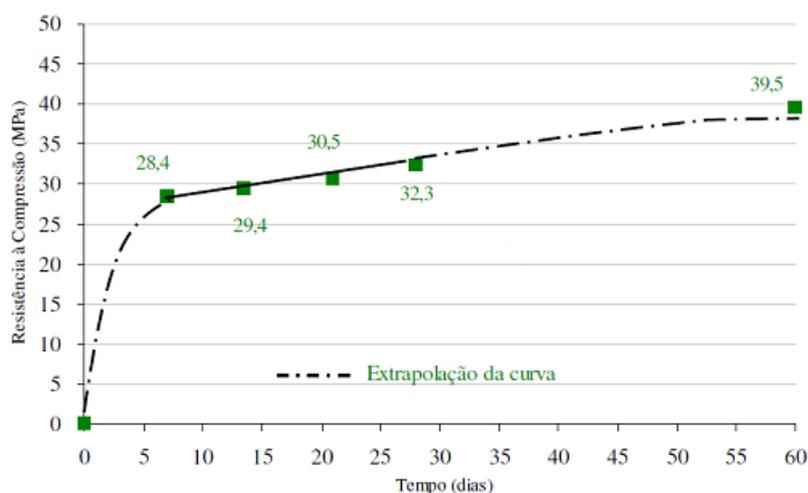


Figura 12. Curva Resistência a compressão do concreto.

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.

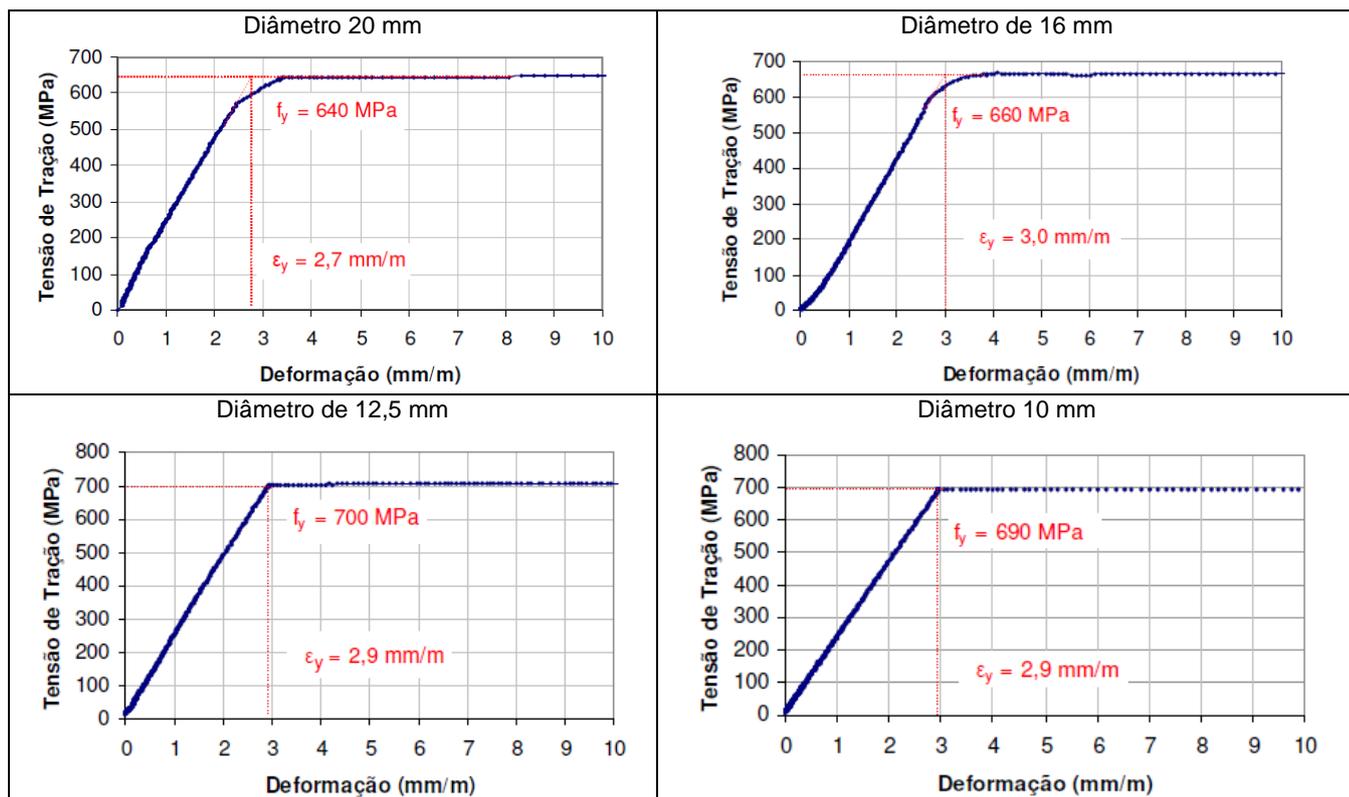


Figura 13. Curva Tensão X Deformação do aço

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_c (kN)	F_e (kN)	F_e / F_c (%)	RUPTURA
Altura efetiva	P ₁	25,1	27,5	-9,56	RC
	P ₂	38	35,4	6,84	RC
	P ₃	46,9	49,8	-6,18	RC
	P ₄	56,2	58,1	-3,38	RC
Diâmetro do pino	P ₅	21,7	19,8	8,76	RC
	P ₆	15,8	15	5,06	RC
	P ₇	24,4	25	-2,46	RC
	P ₈	23,4	25	-6,84	RC
Comprimento de Aderência	P ₉	46,9	49,8	-6,18	RC
	P ₁₀	43,7	42,5	2,75	RC
	P ₁₁	54,9	53,8	2,00	RC
	P ₁₂	43,9	45	-2,51	RC
Distância de Borda	P ₁₃	47,8	45	5,86	RC
	P ₁₄	53,2	53,8	-1,13	RC
	P ₁₅	55,8	54,5	2,33	RC
	P ₁₆	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.