

# ANÁLISE EXPERIMENTAL DA CORRELAÇÃO ENTRE ADERÊNCIA AÇO-CONCRETO E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO ATRAVÉS DO ENSAIO TIPO *PUSH-IN*

Paula Antunes Dal Pont (1), Bruno do Vale Silva (2);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1) [paula\\_dalpont@hotmail.com](mailto:paula_dalpont@hotmail.com), (2) [dovalesilva@unesc.net](mailto:dovalesilva@unesc.net),

## RESUMO

O controle de qualidade realizado na maioria dos casos em obras de concreto armado é o ensaio de resistência à compressão do concreto, baseado em corpos de prova moldados no momento da concretagem. Em alguns casos ocorre a necessidade de averiguar a efetividade da resistência obtida por este ensaio. Dentro deste contexto, um ensaio complementar auxiliaria na tomada de decisões referentes a concretos não conformes. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade do uso de ensaio de resistência de aderência aço-concreto para estimativa da resistência à compressão axial do concreto, através do ensaio tipo *Push-in*, com o objetivo de propor um ensaio complementar no controle de qualidade do concreto armado. Para o estudo, foram analisados em campo duas composições de concreto ensaiados aos 7 e aos 28 dias, totalizando 32 corpos de prova ensaiados através do ensaio de aderência tipo *Push-in* e 32 corpos de prova ensaiados através do ensaio padrão de resistência à compressão. Após a realização dos ensaios, os resultados mostram que, sob condições padronizadas de ensaio, a correlação entre a tensão máxima de aderência e a resistência à compressão axial se mostrou satisfatória em todas as idades de ensaio, apresentando maior confiabilidade aos 7 dias, confirmando assim a capacidade deste ensaio como procedimento complementar para a qualificação do concreto em campo.

*Palavras-chave: Resistência à compressão; Tensão de aderência; Push-in*

## 1 INTRODUÇÃO

Ao passar do tempo, o homem tem explorado várias concepções estruturais, buscando uma melhoria dos padrões arquitetônicos vigentes, em função do aspecto financeiro e da disponibilidade de materiais, garantindo sempre o mínimo impacto possível no meio ambiente. Diversos materiais foram estudados individualmente ou em conjunto, porém a associação entre o aço e o concreto se mostrou a solução mais viável, devido aos aspectos econômicos, técnicos, disponibilidade de matéria prima e reconhecida resistência mecânica de ambos os materiais na compressão para o concreto e tração para o aço.

Para suprir a demanda do mercado, o avanço tecnológico dos materiais utilizados na construção civil, em especial do concreto armado, garante consequentemente a



melhoria do seu controle de qualidade, permitindo assim assegurar que os objetivos e critérios de projetos sejam atendidos e a conformidade da execução, minimizando erros estruturais e otimizando a logística da obra, de forma a garantir uma rápida desforma e desmobilização de andaimes, resultando em um maior ritmo de produção. A frequência de concretos não conformes ocorridos em obras de concreto armado gera questionamentos quanto a eficácia dos procedimentos de controle de qualidade atuais, levando então a procura de soluções alternativas para complementar esse controle das edificações.

Nas obras executadas em concreto armado, um dos parâmetros de controle de qualidade mais conhecidos consiste no ensaio de ruptura à compressão axial em corpos de prova de concreto, cilíndricos, que são moldados durante o lançamento do concreto nas formas, sendo que este ensaio é padronizado e especificado pela ABNT NBR 5739:2007, e através do mesmo é possível obter a resistência característica à compressão  $f_{ck}$ , valor ao qual torna-se possível estimar outros parâmetros do concreto, como resistência à tração ( $f_{ct}$ ), tensões cisalhantes e módulo de elasticidade.

Apesar de constantemente utilizado, o ensaio de compressão axial apresenta determinadas preocupações, como fatores associados ao condicionamento, preparação e ao procedimento de ensaio das amostras coletadas, pois desvios nessas etapas podem produzir significativas diferenças no resultado final. Também é importante registrar que, conforme Silva et al. (2011), o ensaio de compressão do material concreto é conduzido apenas sobre o material concreto, sem levar em consideração o material aço, que também constitui o concreto armado, e não levando em consideração a aderência existente entre o aço e o concreto. Desta forma este artigo propõe um novo procedimento de controle de qualidade, como método complementar às práticas atuais obrigatórias de segurança empregadas nos canteiros de obra de construção civil, de forma a melhorar os subsídios necessários às tomadas de decisões referentes a concretos não conformes.

## 1.1 ADERÊNCIA AÇO – CONCRETO

Conforme citado por França (2004) *apud* Pimentel et al. (2012) o comportamento estrutural das estruturas em concreto armado fundamenta-se no trabalho conjunto do concreto e do aço, sendo que esse trabalho só é possível devido à aderência



entre esses dois materiais. A ação solidaria entre a armadura e o concreto é a principal causa do bom desempenho do concreto armado.

A aderência garante para o concreto estrutural uma boa capacidade de utilização frente aos esforços solicitantes, limitando a abertura de fissuras e melhorando a distribuição dessas ao longo da peça, além desta ser responsável pela ancoragem da armadura no concreto, tornando o fenômeno de interesse para vários pesquisadores, desde o surgimento do concreto armado.

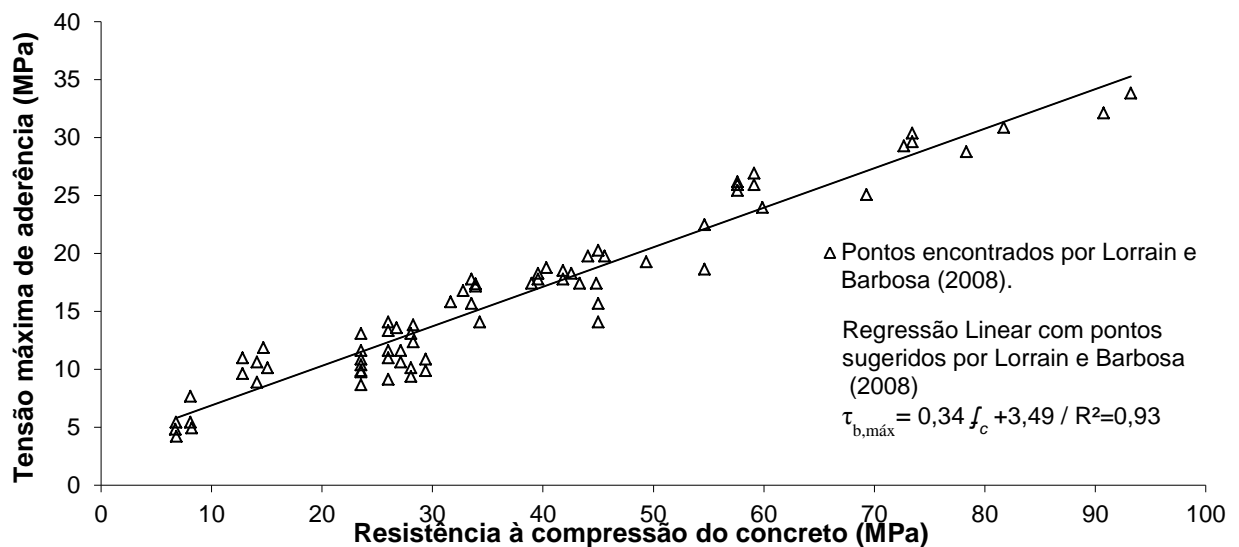
Este fenômeno pode ser descrito como uma tensão de cisalhamento entre a superfície de uma barra de aço e o concreto que a envolve. Esse mecanismo é determinado por meio do deslocamento relativo entre o aço e o concreto, ou seja, pelo deslizamento. (TASSIOS, 1979 *apud* BARBOSA et al, 2009)

A solidariedade existente entre a armadura e o concreto é garantida devido à existência da aderência entre tais materiais, sendo que é composta por diversas parcelas, as quais são decorrentes de diferentes fenômenos que intervêm na ligação aço-concreto. Segundo Lutz e Gergely (1967); Tassios (1979); Leonhardt (1979); Fusco (1995) *apud* Barbosa et al. (2009), é considerada a parcela de aderência por adesão, que ocorre em função das ligações físico-químicas entre o aço e o concreto durante a pega do cimento, aderência por atrito devido às forças de atrito existentes entre o concreto e o aço, desde que existam pressões transversais as barras, e surgem quando um material tende a se deslocar em relação ao outro, e aderência mecânica decorrente da presença de saliências na superfície da barra (nervuras ou mossas superficiais), que funcionam como peças de apoio, mobilizando tensões de compressão no concreto, sendo que é considerado o tipo de ligação mais efetiva e confiável, pois contribui de maneira fundamental para a solidarização dos dois materiais. Para Leonhardt e Monning (1973); Soroushian e Chol (1989) *apud* Tojal et al. (2012), existem diversos fatores que influenciam na aderência, como composição da mistura do concreto, adensamento do concreto, resistência à compressão e a tração do concreto, módulo de elasticidade do concreto e do aço, diâmetro da barra de aço e do seu posicionamento em relação ao elemento estrutural e a direção da concretagem.

A resistência de aderência aço-concreto está diretamente relacionada com a capacidade de resistência das estruturas de concreto armado. De acordo Ferguson

(1966) *apud* Bosco et al. (2012), o conhecimento do comportamento de aderência é indispensável para a correta compreensão do dimensionamento do comprimento de ancoragem e emendas por transpasse das barras de armaduras, para o cálculo de deslocamentos, considerando o efeito de enrijecimento por tração, o controle de fissuração e a quantidade mínima de armadura. Conscientes da forte correlação existente entre a resistência à compressão ( $f_c$ ) e a tensão máxima de aderência, os autores Lorrain e Barbosa (2008) propuseram a utilização de ensaios de aderência aço-concreto para estimar a resistência à compressão, em outras palavras, implementaram uma alternativa complementar ao controle de qualidade tradicional do concreto armado a partir de resultados obtidos em ensaios de aderência aço-concreto, conforme Figura 01.

Figura 1 – Curva de correlação Lorrain e Barbosa (2008).



Fonte: Lorrain e Barbosa, 2008.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item é apresentado o programa experimental do trabalho, constando a descrição das principais características dos materiais e métodos utilizados. Todos os ensaios foram realizados no LEE – Laboratório Experimental de Estruturas e LMCC – Laboratório de Materiais de Construção Civil, no I.PARQUE- UNESC.

## 2.1 MATERIAIS

Para o estudo, foram retiradas amostras de diferentes etapas de concretagem de uma edificação, na fase de fundações e lajes. As amostras extraídas durante a execução das fundações possuíam  $f_{ck}$  de projeto igual a 20 MPa e as extraídas durante a concretagem das lajes, possuíam  $f_{ck}$  de projeto igual a 30 MPa, sendo ambos concretos usinados.

O concreto adotado para a concretagem da fundação era composto por cimento Portland CP IV-32, com densidade de 2,82 g/cm<sup>3</sup>. O agregado miúdo utilizado foi areia média, e o agregado graúdo foi brita 0 e brita 1 tipo basáltica. O traço do concreto adotado foi 1:4,56:5,79 com relação a/c= 0,84, e abatimento de tronco de cone previsto para 10±2,0 cm. Seguem os resultados obtidos *in loco* na Tabela 01.

Tabela 1: Resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone – 20 MPa.

Amostra	Abatimento Tronco de Cone (cm)
Caminhão Betoneira 01	17,5
Caminhão Betoneira 02	13,0
Caminhão Betoneira 03	7,0
Caminhão Betoneira 04	3,5

Fonte: Autor, 2014.

O concreto utilizado na concretagem das lajes era composto de cimento Portland CP IV-32, com densidade de 2,82 g/cm<sup>3</sup>. O agregado miúdo utilizado foi areia média, e o agregado graúdo foi brita 0 e brita 1 tipo basáltico. O traço do concreto adotado foi 1:3,16:4,35 com relação a/c= 0,66, e abatimento de tronco de cone previsto para 12±2,0 cm. Seguem os resultados obtidos *in loco* na Tabela 02.

Tabela 2: Resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone – 30 MPa.

Amostra	Abatimento Tronco de Cone (cm)
Caminhão Betoneira 01	13,5
Caminhão Betoneira 02	19,0
Caminhão Betoneira 03	12,5
Caminhão Betoneira 04	9,0

Fonte: Autor, 2014.

Para a futura correlação entre a resistência à compressão do concreto e tensão máxima de aderência foram realizados ensaios de resistência à compressão axial, de acordo com NBR 5739/07, aos sete e aos vinte e oito dias, sendo que dezesseis

corpos de prova cilíndricos foram moldados, conforme a NBR 5738/03, para cada resistência, com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, totalizando trinta e duas amostras para ensaio de resistência à compressão do concreto, conforme Figura 02.

Figura 2 - Corpos de Prova para caracterização do concreto.



Fonte: Autor, 2014.

O adensamento foi realizado de forma manual com haste, sendo que o processo de moldagem foi feito em duas camadas, onde cada uma recebeu doze golpes. Após 24 horas, os corpos de prova foram imersos em água para posterior rompimento.

Utilizou-se para o ensaio barras nervuradas de aço CA-50, com diâmetro nominal de 8,0 mm, que seguem as recomendações da NBR 7480/07, onde sua resistência mínima de escoamento deve ser igual a 500 MPa, e a resistência à ruptura seja 10% maior que este valor.

## **2.2 DESENVOLVIMENTO DE FORMA PARA OS CORPOS DE PROVA DO ENSAIO TIPO *PUSH-IN*.**

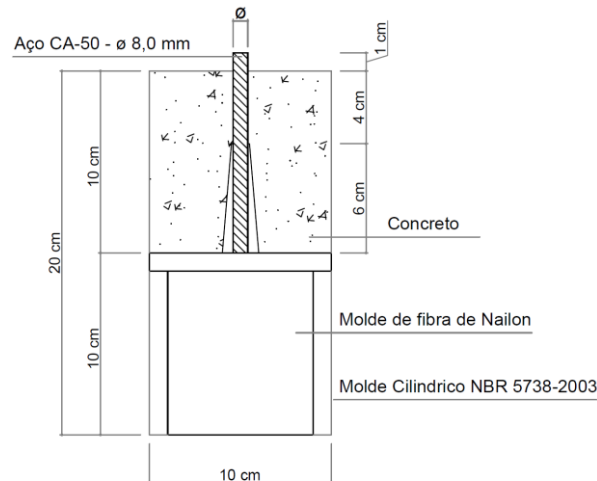
Um dos entraves existentes na elaboração de um ensaio apropriado de aderência aço-concreto para a estimativa da resistência à compressão consiste na fabricação de moldes para os corpos de prova, pois na maioria dos casos é de complicada preparação e desmoldagem. Para este estudo foi adotado o molde desenvolvido por Silva (2014) conforme Figura 03 e molde esquemático na Figura 04, que propiciou rapidez e facilidade na hora da execução do método.

Figura 3– Forma desenvolvida por Silva (2014).



Fonte: Autor, 2014.

Figura 4 - Esquema detalhado de forma.

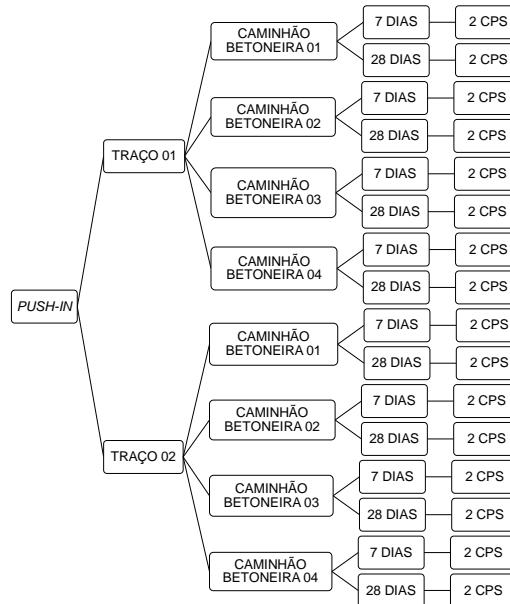


Fonte: Autor, 2014.

### 2.3 ENSAIO DE ADERENCIA AÇO-CONCRETO TIPO *PUSH-IN*

Para se obter a tensão máxima de aderência através do ensaio tipo *Push-in*, foram testadas duas idades de ruptura (07 dias e 28 dias) para as resistências de 20 MPa e 30 MPa, foi adotada barra nervurada de aço CA-50 de diâmetro de 8,0 mm e comprimento de ancoragem da barra de aço com relação ao corpo de prova de concreto de acordo com a norma RILEM RC6/83, sendo este comprimento igual a cinco vezes o diâmetro da barra de aço utilizada. As amostras foram extraídas de quatro caminhões – betoneiras diferentes para cada resistência, de acordo com Figura 05.

Figura 5 - Fluxograma de quantidade de ensaios realizados.



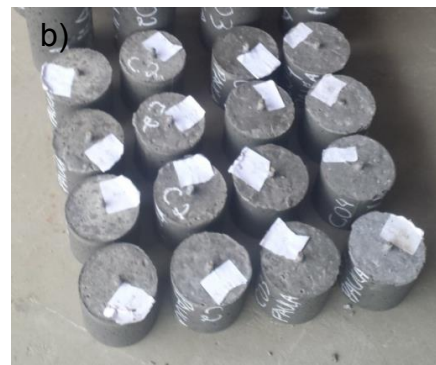
Fonte: Autor, 2014.

### 2.3.1 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA DE ADERÊNCIA AÇO-CONCRETO

Para os ensaios de resistência de aderência aço-concreto foram moldados dezesseis corpos de prova para resistência de 20 MPa e dezesseis corpos de prova para resistência de 30 MPa, totalizando trinta e dois corpos de prova cilíndricos de diâmetro 10 cm e altura 10 cm, conforme Figura 06-a e 06-b.

A forma de moldagem adotada para o ensaio foi de acordo com a NBR 5738/03, ou seja, foi feita uma camada de concreto, sendo a mesma adensada de forma manual com haste, por doze golpes.

Figura 6 – (a) Moldagem dos corpos de prova de resistência de aderência – (b) Corpos de Prova de resistência de aderência desmoldados.



Fonte: Autor, 2014.



### 2.3.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA EXECUÇÃO DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA.

A instrumentação utilizada no ensaio teve como objetivo medir a resistência à compressão axial e a resistência de aderência entre o aço e o concreto através do acréscimo de carga, sendo utilizada a prensa servo controlada de compressão para ensaios mecânicos modelo PC200I da marca EMIC, com capacidade de carga de 200 KN (Figura 07) que realiza uma medição direta através das células de carga, onde os dados registrados são conectados a um computador, que através do software TESC – Test Script, que tem a função de permitir a sistematização dos ensaios e emitir laudos de resistência à compressão, dado a área em que se aplica o acréscimo de carga.

Figura 7–Prensa servo controlada de Compressão.



Fonte: Autor, 2014.

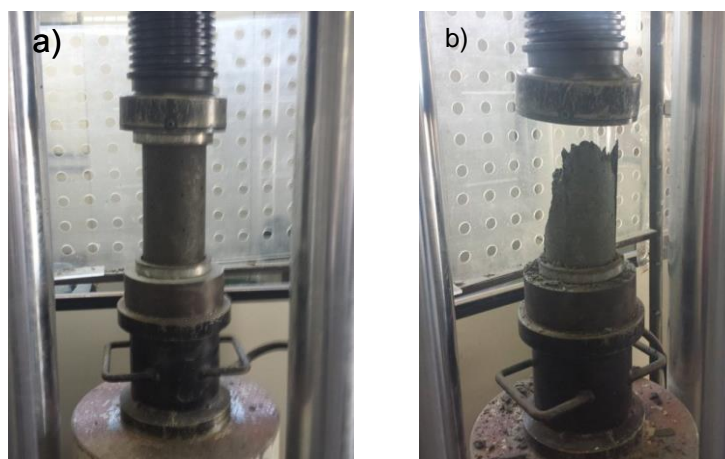
### 2.3.3 PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E TENSÃO MÁXIMA DE ADERÊNCIA.

Para elaboração do ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova foram ensaiados após serem retirados do seu processo de cura. Sendo que para este ensaio foram utilizados para uniformização da base superior e inferior do corpo de prova um capeamento de neoprene, a fim de tornar suas faces planas e paralelas, também foi feita a limpeza dos pratos de carga e dos corpos de prova, conforme Figura 8-a.

Antes da aplicação da carga por parte da prensa PC200I, os corpos de prova foram posicionados de modo que seu eixo coincida com o da máquina, de forma que a resultante das forças passe pelo centro. Após todos os procedimentos de

preparação, a carga foi aplicada continuamente, até que os corpos de prova rompessem, de acordo com Figura 8-b.

Figura 8 – (a) Ensaio de resistência à compressão axial. (b) Corpo de prova rompido.



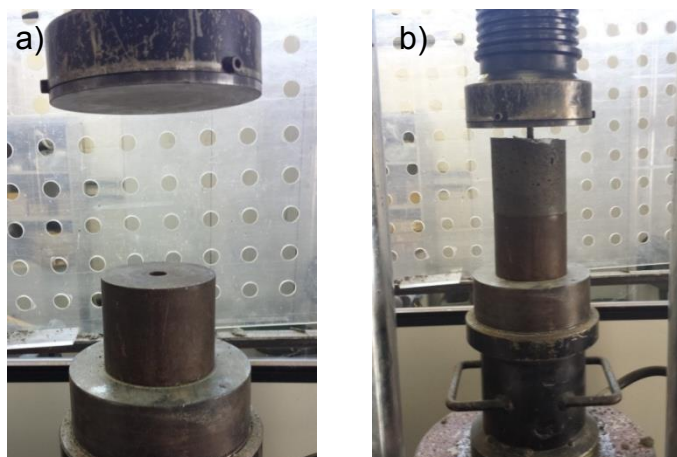
Fonte: Autor, 2014.

Sendo que a prensa forneceu a carga aplicada e os resultados de resistência à compressão axial.

Do mesmo modo, para execução do ensaio de determinação da tensão máxima da aderência entre o aço e concreto, os corpos de prova foram retirados do seu processo de cura e logo após foram ensaiados, de modo que para que este ensaio fosse viável através da prensa PC200I, foi utilizado um apoio para os corpos de prova elaborado por Silva (2014) (Figura 09-a), pois o corpo de prova de resistência de aderência possui 10 cm de altura, não 20 centímetros como é exigido pela prensa PC200I, desta forma, foi possível a elaboração dos ensaios.

Os corpos de prova foram limpos e colocados sobre o apoio, e da mesma forma que no ensaio de resistência à compressão, foram posicionados de modo que seu eixo coincida com o da máquina, de forma que a resultante das forças passe pelo centro. Após o preparo a carga foi incidida continuamente sobre a barra de aço, até que a mesma rompesse sua aderência com o concreto, ou seja, até se obter a tensão máxima de aderência, de acordo com Figura 09-b.

Figura 9 – (a) Apoio desenvolvido por SILVA (2014). (b) Ensaio de resistência de aderência.



Fonte: Autor, 2014.

Depois de obtidos os resultados das forças aplicadas, foi utilizada a seguinte equação para determinação da tensão máxima de aderência:

$$\tau_{b,máx} = \frac{F_{máx}}{\pi \cdot \phi \cdot L} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$\tau_{b,máx}$  = Tensão máxima de aderência (MPa);  $F_{máx}$  = Força máxima de aderência (kN);  
 $\phi$  = Diâmetro da Barra (mm); L = Comprimento de ancoragem (mm);

Desta forma foi possível obter todos os resultados necessários para análise da correlação entre a resistência à compressão axial e tensão máxima de aderência.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados apresentados a seguir foram obtidos com ensaios realizados no Laboratório Experimental de estruturas (LEE) e Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do I.PARQUE – UNESC.

#### 3.1 ENSAIOS DE ADERÊNCIA

Os resultados dos ensaios de aderência aço - concreto realizados mediante o método *Push-in* nas idades de 07 e 28 dias, bem como os resultados de caracterização do concreto através do ensaio de resistência à compressão axial são

exibidos na Tabela 03, sendo que nesta tabela foram retirados os dados referentes as amostras do terceiro caminhão referente a concretagem da laje, devido ser considerado espúrios com mais de 30% de diferença em relação a média.

Tabela 3 - Resultados obtidos nos ensaios de compressão axial e *Push-in*.

Traço	Amostra	Idade Ruptura (dias)	Barra de Aço $\varnothing$ (mm)	Resistência à compressão axial (MPa)	Tensão máxima de aderência $\tau$ (MPa)
T 01	Caminhão Betoneira 01	7	8,0	8,8	9,0
T 01	Caminhão Betoneira 01	7	8,0	9,4	9,2
T 01	Caminhão Betoneira 02	7	8,0	17,6	11,6
T 01	Caminhão Betoneira 02	7	8,0	18,3	11,7
T 01	Caminhão Betoneira 03	7	8,0	8,4	7,8
T 01	Caminhão Betoneira 03	7	8,0	9,1	9,2
T 01	Caminhão Betoneira 04	7	8,0	13,0	9,6
T 01	Caminhão Betoneira 04	7	8,0	12,2	9,0
T 01	Caminhão Betoneira 01	28	8,0	14,5	13,1
T 01	Caminhão Betoneira 01	28	8,0	17,5	14,4
T 01	Caminhão Betoneira 02	28	8,0	27,9	12,3
T 01	Caminhão Betoneira 02	28	8,0	30,3	16,4
T 01	Caminhão Betoneira 03	28	8,0	16,5	10,4
T 01	Caminhão Betoneira 03	28	8,0	17,1	13,6
T 01	Caminhão Betoneira 04	28	8,0	22,5	12,5
T 01	Caminhão Betoneira 04	28	8,0	23,5	13,7
T 02	Caminhão Betoneira 01	7	8,0	21,0	12,5
T 02	Caminhão Betoneira 01	7	8,0	22,3	13,7
T 02	Caminhão Betoneira 02	7	8,0	23,0	13,2
T 02	Caminhão Betoneira 02	7	8,0	21,7	13,1
T 02	Caminhão Betoneira 04	7	8,0	24,8	15,7
T 02	Caminhão Betoneira 04	7	8,0	23,9	14,6
T 02	Caminhão Betoneira 01	28	8,0	33,2	16,9
T 02	Caminhão Betoneira 01	28	8,0	31,8	16,1
T 02	Caminhão Betoneira 02	28	8,0	34,7	15,8
T 02	Caminhão Betoneira 02	28	8,0	33,5	15,6
T 02	Caminhão Betoneira 04	28	8,0	35,1	19,6
T 02	Caminhão Betoneira 04	28	8,0	32,8	19,4

Fonte: Autor, 2014.

Sendo que, para uma melhor correlação entre os resultados obtidos, os mesmos foram estudados individualmente de acordo com sua idade de ruptura, sendo que foi feita a média entre as duas amostras obtidas por caminhão betoneira, conforme tabelas 04 e 05.

Tabela 4 – Resultados obtidos nos ensaios de compressão axial e *Push-in*, aos sete dias.

Traço	Amostra	Idade Ruptura (dias)	Barra de Aço Ø (mm)	Resistência à compressão axial (MPa)	Tensão máxima de aderência $\tau$ (MPa)
T 01	Caminhão Betoneira 01	7	8,0	9,1±0,4	9,1±0,1
T 01	Caminhão Betoneira 02	7	8,0	18,0±0,5	11,7±0,1
T 01	Caminhão Betoneira 03	7	8,0	8,8±0,5	8,5±1,0
T 01	Caminhão Betoneira 04	7	8,0	12,6±0,6	9,3±0,4
T 02	Caminhão Betoneira 01	7	8,0	21,7±0,9	13,1±0,9
T 02	Caminhão Betoneira 02	7	8,0	22,4±0,9	13,2±0,1
T 02	Caminhão Betoneira 04	7	8,0	24,4±0,6	15,2±0,8

Fonte: Autor, 2014.

Tabela 5-Resultados obtidos nos ensaios de compressão axial e *Push-in*, aos vinte e oito dias.

Traço	Amostra	Idade Ruptura (dias)	Barra de Aço Ø (mm)	Resistência à compressão axial (MPa)	Tensão máxima de aderência $\tau$ (MPa)
T 01	Caminhão Betoneira 01	28	8,0	16,0±2,1	13,8±0,9
T 01	Caminhão Betoneira 02	28	8,0	29,1±1,7	14,4±2,9
T 01	Caminhão Betoneira 03	28	8,0	16,8±0,4	12,0±2,3
T 01	Caminhão Betoneira 04	28	8,0	23,0±0,7	13,1±0,9
T 02	Caminhão Betoneira 01	28	8,0	32,5±1,0	16,5±0,6
T 02	Caminhão Betoneira 02	28	8,0	34,1±0,9	15,7±0,1
T 02	Caminhão Betoneira 04	28	8,0	34,0 ±1,6	19,5±0,1

Fonte: Autor, 2014.

Para aplicação do método o tipo de ruptura deve ser necessariamente o deslizamento da barra de aço em relação ao concreto. Neste caso em todas as rupturas foi observado o deslizamento. Pode-se perceber na Figura 10 o corpo de prova antes (Figura 10–a) e depois do ensaio (Figura 10-b), onde a barra ensaiada apresenta um deslizamento em relação ao corpo de prova de concreto.

Figura 10 – (a) Corpos de prova antes do ensaio tipo *Push-in*; (b) Deslizamento da barra de aço.



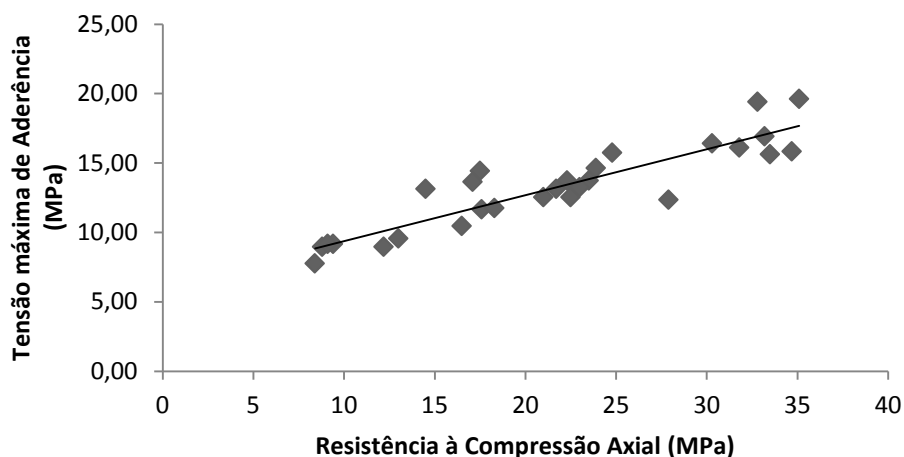
Fonte: Autor, 2014.

### 3.2 CORRELAÇÃO ENTRE TENSÃO MÁXIMA DE ADERÊNCIA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO.

Com objetivo de avaliar a existência de correlação linear entre os valores de tensão máxima de aderência e resistência à compressão do concreto, os dados obtidos nesta pesquisa foram utilizados para elaboração dos gráficos, sendo que, considerando esses dados, também foram realizadas regressões lineares e os valores dos coeficientes de determinação  $R^2$ , que é uma medida que estabelece o nível de relação entre duas variáveis, onde o mesmo varia de zero (0) a um (1), onde zero (0) apresenta nenhuma correlação entre as diferenças das variáveis em questão e um (1) o oposto disto. Ambos dados foram obtidos através do *software Microsoft Excel*.

Inicialmente foi desenvolvido um estudo baseado em todos os dados obtidos deste estudo (Tabela 03), conforme Figura 11, onde foram obtidas as regressões lineares e  $R^2$  de acordo com Tabela 06.

Figura 11 - Gráfico de correlação entre a resistência à compressão e a aderência Aço-Concreto.



Fonte: Autor, 2014.

Tabela 6- Equação da reta da regressão linear e o respectivo coeficiente de correlação para os resultados obtidos no estudo.

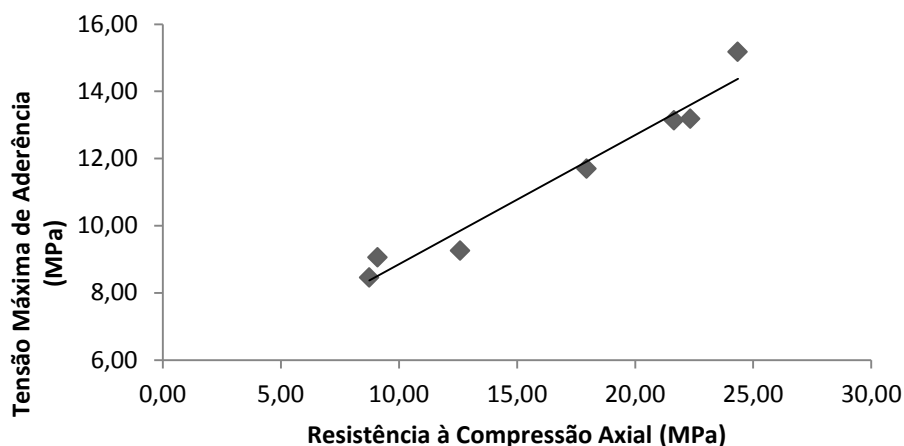
Idade Ruptura (dias)	Ø (mm)	Regressão Linear	Coeficiente de Determinação
7- 28	8,00	$\tau_{b,m\acute{a}x} = 0,33 f_c + 6,07$	$R^2 = 0,82$

Fonte: Autor, 2014.

Após análise dos dados obtidos através de todos os resultados dos ensaios, pode-se verificar que foi obtida uma boa correlação linear entre os ensaios de resistência à compressão axial e tensão máxima de aderência, conforme afirmado no estudo de Lorrain e Barbosa (2008) e Silva (2010).

Para refinar melhor os resultados, foram elaborados gráficos de correlação de acordo com sua idade de ruptura (Figura 12 e 13), sendo que foi feita a média entre as duas amostras obtidas por caminhão betoneira, e assim obtidas às respectivas regressões lineares e  $R^2$  (Tabela 07 e 08).

Figura 12 – Gráfico de correlação entre a resistência à compressão e a aderência Aço-Concreto aos 7 dias.



Fonte: Autor, 2014.

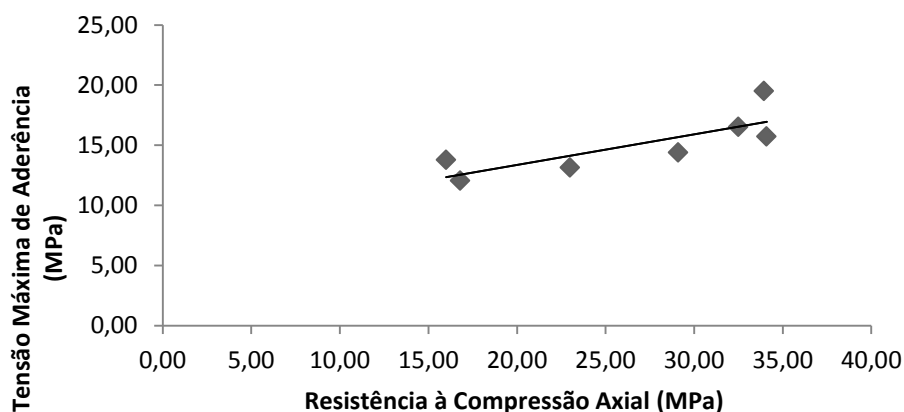
Tabela 7 - Equação da reta da regressão linear e o respectivo coeficiente de correlação para ruptura aos sete dias.

Idade Ruptura (dias)	Ø (mm)	Regressão Linear	Coeficiente de Determinação
7	8,00	$\tau_{b,m\acute{a}x} = 0,39 f_c + 5,00$	$R^2 = 0,96$

Fonte: Autor, 2014.

Analisando o gráfico, é possível verificar que os resultados indicam uma ótima correlação linear entre a tensão de aderência e a resistência à compressão aos sete dias, conforme o esperado.

Figura 13–Gráfico de correlação entre a resistência à compressão e a aderência Aço-Concreto aos 28 dias



Fonte: Autor, 2014.



Tabela 8- Equação da reta da regressão linear e o respectivo coeficiente de correlação para ruptura aos sete dias.

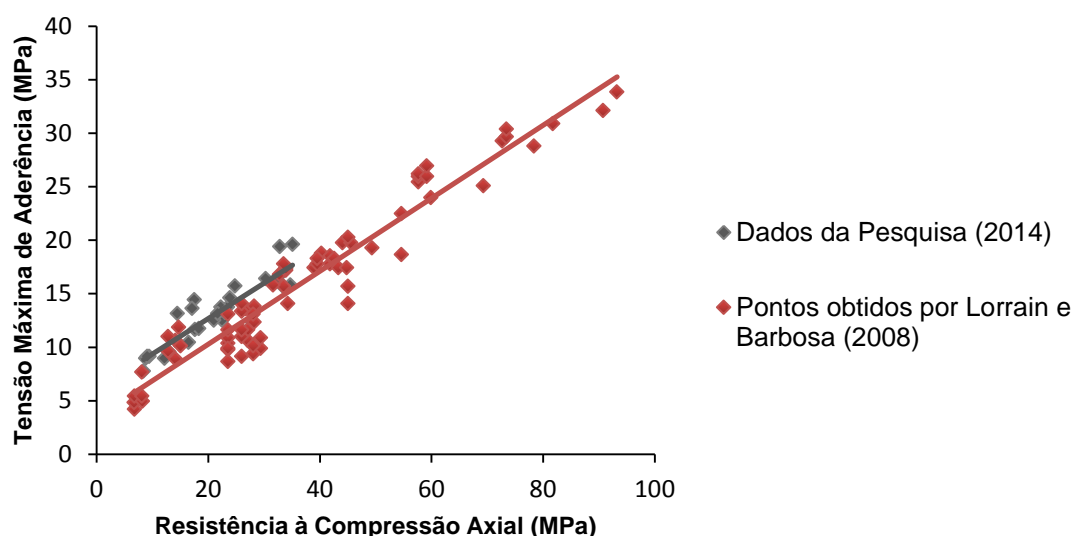
Idade Ruptura (dias)	Ø (mm)	Regressão Linear	Coeficiente de Determinação
28	8,00	$\tau_{b,m\acute{a}x} = 0,25 f_c + 8,28$	$R^2 = 0,64$

Fonte: Autor, 2014.

Analisando o gráfico e correlação linear aos vinte e oito dias, verifica-se que o ensaio se mostrou maior confiabilidade aos sete dias, onde apresentou um aumento da correlação linear, indicando uma maior relação entre a resistência de aderência e resistência à compressão.

Durante o estudo, foi feita uma análise de comparação dos resultados obtidos com todas as amostras (Tabela 03) com os dados encontrados por Lorrain e Barbosa (2008), conforme Figura 14.

Figura 14 – Comparativo com estudo de Lorrain e Barbosa (2008).



Fonte: Autor, 2014.

Após análise do gráfico, é possível perceber que a atual pesquisa apresentou uma linha de tendência semelhante aos dados obtidos por Lorrain e Barbosa (2008), agregando maior confiabilidade ao presente estudo e mostrando que a metodologia proposta resulta em estimativas da resistência à compressão similares.



#### 4 CONCLUSÕES

A análise da correlação entre a tensão máxima de aderência e a resistência à compressão através dos ensaios tipo *Push-in* realizados permitem concluir que a “Lei de Correlação” proposta inicialmente por Lorrain e Barbosa (2008) foi confirmada nesta pesquisa, para barras de aço com  $\varnothing=8,00$  mm e resistência à compressão entre 8,40 MPa e 35,10 MPa. Os resultados obtidos indicam uma variação de correlação linear de acordo com a idade do concreto, onde os ensaios executados aos sete dias apresentaram um maior índice de confiabilidade que os resultados dos ensaios aos vinte e oito dias.

Os resultados obtidos nesta pesquisa vêm acrescentar no banco de dados do projeto de pesquisa mais amplo que está sendo realizado em várias universidades com intuito consolidar o método de ensaio tipo *push-in*. Desta forma é possível afirmar que a implementação deste ensaio de aderência de forma complementar poderá melhorar significativamente o controle de qualidade das obras atuais e permitirá um controle de qualidade do concreto em idades mais curtas, de forma rápida e segura.

#### 5 TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões de trabalhos futuros pode-se citar:

- Análise da correlação de resistência de aderência e resistência à compressão para barras de aço de diferentes diâmetros;
- Análise da correlação de resistência de aderência e resistência à compressão para diferentes idades do concreto;
- Análise da correlação de resistência de aderência e resistência à compressão para diferentes resistências e composições de concreto;

#### 6 REFERÊNCIAS

TOJAL, T.L.; GOMES, P.C.C.; DÉ SIR J.M.; **Análise do Comportamento de Aderência Concreto autoadensável-Aço**. 54<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Concreto. Maceió, IBRACON, 2012.

PIMENTEL, L.L.; NEGRÃO, D.E.; PASSERINE, D; JACINTHO, A.E P.G; LORRAIN, M.; BARBOSA, M. P.**Aderência compósito X aço: Influência do tipo de garrafa PET**



no ensaio APULOT. 54<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Concreto. Maceió, IBRACON, 2012.

SILVA, B.V.; BARBOSA, M. P.; SILVA FILHO, L. C. P.; BOSCO, I.D.; TROIAN, P. **Comparativo experimental entre os métodos de ensaio pull-out e push-out para determinação da tensão de aderência aço-concreto.** 54<sup>o</sup> Congresso Brasileiro do Concreto. Maceió, IBRACON, 2010.

LORRAIN, M; BARBOSA P. M. **Controle de qualidade dos concretos estruturais: ensaio de aderência aço-concreto.** In: Revista Concreto & Construções, São Paulo, Nº51, 3<sup>o</sup> trimestre, p. 52-57, 2008.

SILVA, B. V.; BARBOSA, M.P.; SILVA FILHO, L.C.P; LORRAIN. M; DAL BOSCO, V.I. **Correlação entre a tensão última de aderência e a resistência do concreto usando ensaio “Apulot”:** Avaliação do efeito de variação do cobrimento do concreto ao redor da barra de aço. 53<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Concreto. Florianópolis, IBRACON, 2011.

BARBOSA, M.T.G.; SANTOS, W.J. **Estudo da Aderência Aço-Concreto.** 51<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Concreto. Paraná, IBRACON, 2009.

SILVA, B. V. **Investigação do potencial dos ensaios APULOT e pull-out para estimativa da resistência a compressão do concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, UNESP, 2010.

SILVA, B. V. **Proposição de um teste de aderência para o controle tecnológico da resistência à compressão do concreto.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7480: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado.** Rio de Janeiro, 1996.