

## Concrete subjected to vibrations in early-ages

## Concreto submetido a vibrações nas primeiras idades



J. F. FERNANDES <sup>a</sup>  
julianaffernandes@gmail.com

T. N. BITTENCOURT <sup>b</sup>  
tbitten@gmail.com

P. HELENE <sup>c</sup>  
paulo.helene@poli.usp.br

### Abstract

This study describes the early-age behavior of high-strength concrete made with high initial strength cement and exposed to an environment with vibrations. A sequence of tests is presented which includes the molding of concrete specimens subjected to traffic vibrations, as well as a mechanical characterization and steel-concrete bonding tests. Results indicated that early age concrete specimens subjected to vibrations undergo losses in tensile strength and in their modulus of elasticity. Such reduction in stiffness may have a negative impact on structural serviceability and result in higher deflections. Thus, a reduction in tensile strength should be taken into account when designing rigid floors, given that tensile strength is a key factor which guarantees the system's durability. The effect of vibration on early-age concrete and its effects on properties which influence the structural behavior of the system are discussed.

**Keywords:** high-strength concrete, traffic-induced vibration effects, mechanical properties characterization tests, steel-concrete bond; pull-out test.

### Resumo

Este artigo traz informações sobre o comportamento nas primeiras idades de um concreto de alta resistência, produzido com cimento de alta resistência inicial, lançado e adensado em ambientes submetidos a vibrações, como em obras de pontes de rodovias. Apresenta-se o programa experimental desenvolvido, descrevendo desde a moldagem dos corpos-de-prova, sob ação de vibrações similares às induzidas pelo tráfego, até os ensaios de caracterização mecânica e de aderência aço-concreto. Os resultados experimentais indicam que o concreto submetido à vibração nas primeiras idades pode sofrer perdas na resistência à tração e no módulo de elasticidade. A redução dessas propriedades pode comprometer a utilização da estrutura devido ao aparecimento de flechas e fissuras acima dos limites de norma. A redução da resistência à tração do concreto deve ser considerada, também, na aplicação de pavimentos rígidos, onde essa propriedade é fundamental para garantir a durabilidade do sistema. Não foi observada nenhuma redução na resistência à compressão ou na capacidade de aderência devido à introdução de vibrações nas primeiras idades do concreto.

**Palavras-chave:** concreto de alta resistência, efeito de vibração induzida pelo tráfego, ensaios de caracterização mecânica, aderência aço-concreto; teste de arrancamento.

<sup>a</sup> Pós doutoranda do Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, julianaffernandes@gmail.com, São Paulo, Brasil.

<sup>b</sup> Professor Associado do Departamento de Estruturas e Geotecnia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, tbitten@gmail.com, São Paulo, Brasil.

<sup>c</sup> Professor Titular do Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, paulo.helene@poli.usp.br, São Paulo, Brasil.

## 1. Introdução

O desempenho dos concretos em ambientes de vibração é uma crescente necessidade do setor produtivo, principalmente após as recentes privatizações da malha rodoviária brasileira, as quais carecem de expansão da precária infra-estrutura. Com isso, as principais vias de acesso aos grandes centros industrializados do país estão em franco processo de recuperação e ampliação. Neste caso, as obras novas ou de recuperação vem causando obstrução das vias levando a intermináveis desconfortos aos usuários, além do comprometimento da durabilidade dos concretos moldados sem controle e conhecimento dos fenômenos envolvidos. Dessa forma, o tema vem sendo sistematicamente discutido no âmbito de uma investigação ampla para se estabelecer critérios para projetos e execução de obras de recuperação e ampliação das estruturas sujeitas a ações dessa natureza.

A pesquisa proposta visa avaliar o comportamento do concreto de alta resistência com cimento de alta resistência inicial, nas primeiras idades, sujeito a vibrações mecânicas ambientais, induzidas por tráfego de veículos nas rodovias, para serem empregados na recuperação e na ampliação de obras de arte das principais rodovias brasileiras.

Neste trabalho, para relacionar o estudo da resistência mecânica do concreto com a amplitude de vibração para determinadas bandas de frequência tipicamente encontradas em ambientes de pontes e viadutos, foram utilizadas as vibrações registradas na investigação de uma ponte de concreto monitorada.

A cura do concreto é vulnerável a perturbações de vibrações de grandes magnitudes. Hoje, há pouco conhecimento dos níveis críticos e dos limites de vibração que poderão ser utilizados no

decorrer do processo de endurecimento do concreto que é exposto a vibrações do tráfego, Ansell e Silfwebrand (2003). Sem esse conhecimento, há longas esperas desnecessárias com a cura do concreto, o que causa maiores custos de construção em termos de tempo e dinheiro.

Construções que utilizam o material concreto e que estão próximo ao tráfego e expostos a vibrações podem ser danosos para o processo de cura do concreto. Essas vibrações podem também reduzir o vínculo final do concreto novo ao concreto existente e reforço. Um exemplo desse tema é a reparação ponte-deck em que o tráfego é permitido próximo ao local de construção nas vias adjacentes.

Cusson e Repette (2000) estudaram os efeitos de vibrações no concreto fresco induzidas pelo tráfego durante a construção de deck em concreto armado sobre uma ponte rodoviária. Os pesquisadores observaram uma intensa fissuração transversal apenas alguns dias após a concretagem. Nesse artigo foi concluído que essas rachaduras são causadas por uma combinação de gradientes de temperatura, retração diferencial e vibração devido ao tráfego. Dois diferentes tipos de vibrações de trânsito podem ter gerado grandes tensões no concreto. Primeiro, a passagem de veículos pesados de construção nas vias adjacentes e segundo, o tráfego regular nas pistas abertas durante a reabilitação da ponte. O artigo publicado por Ansell e Silfwebrand(2003) cita um resumo sobre esse tema e está ilustrado na Tabela 1.

Issa(2003) relata uma investigação das prováveis causas de fissura do concreto armado em decks de ponte em idades precoces. A investigação consistiu em uma revisão da literatura e trabalhos experimentais para verificar se há variação no módulo de elasticidade e outras propriedades mecânicas. Ele concluiu que as

**Tabela 1 – Pesquisas que realizaram ensaios utilizando o material concreto para reparo sujeito a vibrações do tráfego. Fonte: Ansell e Silfwebrand (2003)**

Referências	Descrição do ensaio	Idade depois da cura: h	Velocidade de vibração (mm/s)	Resultados
Furr and Ingram	Aprox. 50mm de revestimento sobre a viga de concreto armado	0 - 48	-	Não há deterioração da aderência (níveis projetados para simular a vibração do tráfego sobre pista adjacente).
Furr and Fouad	Vigas conectadas por tarugos	0 - 24		Nenhum vazio ao redor dos tarugos ou qualquer tipo de deterioração.
Müller-Rochholz And Weber	Cubos de concreto leve	Depois de moldado e 30 h	≤ 50	Não houve redução na resistência à compressão.
Harsh and Darwin	Áreas reparadas com barras horizontais conectadas	0.17 - 30	36	5-10% redução de aderência aço-concreto para concretos com slump > 175mm; para outras dosagens 0%.
Brandl and Günzler	Ensaio de aderência entre o concreto e a armadura	0-48; 2-48; 6-48; 8-48 4-48	20	Aderência aumentou a resistência. 50% da aderência diminuiu a resistência.
Silfwerbrand	Laje de concreto armada de 150mm revestida com concreto de 50mm de espessura	6.3 - 10.3 3.1 - 7.1	≤ 7 ≤ 24	Nenhuma deterioração na aderência, nenhuma fissura. (carregamento igual à 12% da carga de ruptura do corpo-de-prova ensaiado). (Cargas iguais à 25% da carga de ruptura dos corpos-de-prova ensaiados).

Tabela 2 - Resistência à compressão em corpos-de-prova 150 x 300 mm

CP n°	Idade	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga de ruptura (kN)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência média à compressão (MPa)	Tensão máxima 40%(MPa)
1	3	17671	365	20,7		
2	horas	17742	337	19,0	19,9	8,0
1	6	17671	530	30,0		
2	horas	17671	482	27,3	28,7	11,5
1	7 dias	17577	732	41,6		
2		17671	724	41,0	41,3	16,5
1	14 dias	17695	786	44,4	44,4	-

vibrações de tabuleiros de pontes devido ao tráfego de veículos nas pistas adjacentes não causam uma diminuição na resistência do concreto se o material estiver bem compactado e possuir baixo slump. Os pontos fortes tomados em consideração incluem, por exemplo, a resistência da aderência entre aço-concreto e o reforço de estruturas existentes. Uma conclusão importante é que as limitações de velocidade e as restrições de tráfego de caminhões pesados durante as obras são importantes para minimizar o risco de danificar o concreto no estado de endurecimento.

## 2. Procedimento experimental

Neste trabalho, propõem-se seqüências de ensaios experimentais dinâmicos e estáticos de controle, com o intuito de analisar o comportamento do concreto fresco vibrado.

O concreto após moldado foi submetido ao ensaio dinâmico por 90 minutos. Essas vibrações foram aplicadas ao concreto em dois horários diferentes: em algumas amostras foram aplicadas dos 20 minutos de vida até as 3 horas e em outras amostras das 3 horas até as 6 horas de vida. Após os ensaios dinâmicos

e completados às 24 horas da moldagem, o corpo-de-prova foi desmoldado e colocado em câmara úmida. Os ensaios estáticos, resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e por flexão foram realizados após os 28 dias da moldagem, exceto os ensaios de aderência que foram ensaiados aos 90 dias da moldagem.

As análises dos ensaios estáticos foram realizadas por comparação dos concretos vibrados de 0,3 horas às 3 horas para as amostras sem e com armadura, de 3 horas às 6 horas de vida para as amostras com armadura e os não vibrados.

Os ensaios dinâmicos em concretos nas primeiras idades foram realizados em mesa vibratória eletrodinâmica (SHAKER APS), Fig. 3.a. Os registros de vibração (séries temporais) utilizados no Shaker APS foram colhidos de uma ponte de concreto submetida a vibrações por tráfego de veículos. Os registros foram realizados com servo-acelerômetros posicionados sobre o tabuleiro da ponte. A empresa responsável pelas medições foi o LSE - Laboratório de Sistemas Estruturas Ltda. Os dados colhidos nessa ponte foram tratados no domínio do tempo e aplicados nos ensaios experimentais em laboratório, para um tipo de

Tabela 3 - Módulo de elasticidade determinado em corpos-de-prova 150 x 300 mm

Idade	Corpo-de-prova n°	Módulo de elasticidade secante a 0,4fc (GPa)		Resistência após o ensaio (MPa)
		Individual	Média	
3 horas	3	15,6		22,5
	4	15,5	15,9	23,4
	5	16,7		24,9
7 dias	3	25,8		41,6
	4	25,2	25,5	41,1
	5	25,6		41,4

**Tabela 4 – Tempo de pega.**  
Fonte: ficha do produto

Temperatura	30 °C	20 °C	5 °C
Início de pega	0h20	0h40	1h00

**Tabela 5 – Caracterização da barra de aço CA 50A**

Diâmetro	E <sub>s</sub> (Gpa)	f <sub>y</sub> (MPa)	σ <sub>t</sub> (MPa)
12,5 mm	1295	606	703

concreto. O concreto utilizado foi o Rapflex 10, com tempo de cura acelerada e resistência média à compressão de 44 MPa, aos 28 dias de vida.

**2.1 Materiais**

O concreto utilizado neste trabalho é um material de endurecimento rápido, concreto pré-dosado pronto para o uso à base de Ciment Fondu Lafarge, cimento aluminoso, com 10 cm de slump. O concreto é fabricado pela Lafarge Aluminates, conhecido pelo nome comercial "Rapflex 10".

Os ensaios de resistência à compressão axial e de módulo de elasticidade estático foram realizados de acordo com a NBR 5739(2007) e ASTM C 469(1996), respectivamente. Esses resultados estão apresentados nas Tabelas 2 e 3 a seguir. Os ensaios de

caracterização do material foram realizados pela ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. O tempo de pega inicial está descrito na Tabela 4.

Os corpos-de-prova após concretados foram envolvidos em sacos plásticos e ao completarem 24 horas de vida foram colocados em câmara úmida.

A indução das vibrações nos concretos frescos foi realizada com emprego de uma mesa vibratória eletrodinâmica, tipo Shaker APS.

A armadura de aço utilizada nos corpos-de-prova cúbicos, para o ensaio de aderência aço-concreto, foi o aço CA-50A com diâmetro  $\phi = 12,7$  mm. O ensaio à tração da barra de aço foi de acordo com a norma NBR 6152(2002). Os resultados de caracterização da barra de aço estão na Tabela 5. Estes resultados são a média de três amostras do aço CA 50A.

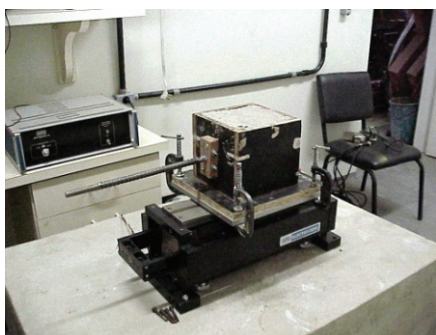
**Figure 1 – Arranjo do ensaio dinâmico: (a) Mesa vibratória tipo Shaker APS fixa em base de concreto com corpo-de-prova prismático Tipo-II; (b) Arranjo de fixação de corpo-de-prova cilíndrico tipo-I; (c) Arranjo de fixação de corpo-de-prova cúbico com armadura posicionada na horizontal, tipo-III; (d) Arranjo de fixação de corpo-de-prova cúbico com armadura posicionada na vertical, tipo-III**



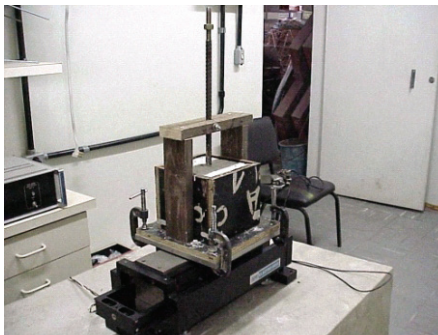
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 2 – Arranjo de ensaio estático de arrancamento para determinação da resistência de aderência aço-concreto**



## 2.2 Ensaio dinâmico

### 2.2.1 Vibrações registradas na ponte de concreto

Para os ensaios em mesa vibratória foram utilizadas as vibrações registradas na investigação de uma ponte de concreto com seção alveolar, localizada no quilômetro 310,86 na rodovia Presidente Dutra em Penedo no estado do Rio de Janeiro, Brasil. O comprimento total é de 44.15 metros, com 16.8 metros de largura, 26.15 metros de vão central e dois balanços de 9 metros.

Os resultados da investigação de monitoração da ponte realizada pela empresa LSE foram analisados pela pesquisadora. O sinal escolhido para ser reproduzido nos ensaios dinâmicos na mesa vibratória foi o sinal do acelerômetro posicionado no meio do vão na direção vertical sobre o tabuleiro da ponte. Foi escolhido esse sinal porque apresentava maiores amplitudes e menor quantidade de ruído em relação aos outros.

### 2.2.2 Concreto fresco submetido à vibração

Os ensaios dinâmicos ocorreram após a moldagem dos corpos-de-prova. O início do ensaio foi a partir dos 20 minutos de vida, pois a partir daí iniciava-se a cura do concreto com cimento de alta resistência inicial.

O tempo de duração do ensaio foi de aproximadamente 81 ciclos, 90 minutos para cada corpo-de-prova. A mesa vibratória eletrodinâmica (shaker) foi fixada na horizontal em um bloco de concreto. Após o término de cada ensaio dinâmico, o corpo-de-prova foi colocado em câmara úmida.

### 2.3 Ensaio estático

Aos 28 dias de vida, os corpos-de-prova vibrados e os não vibrados foram ensaiados à tração na flexão, à compressão axial e ensaios de módulo de elasticidade estático de acordo com as normas NBR 12142(2010), NBR 5739(2007) e NBR 8522(2008), respectivamente. A estrutura de aplicação de carga para todos os ensaios, exceto os de aderência, foi a máquina universal de ensaios mecânicos, Shimadzu, com capacidade de 1000 kN e carga controlada.

A investigação experimental do comportamento da aderência foi realizada por ensaios de arrancamento padronizados pela ASTM C 234-91a(1996) com os corpos-de-prova cúbicos encorporados com armaduras de aço. Cada corpo-de-prova possuía uma armadura de 12,7 mm de diâmetro posicionada na vertical ou na horizontal. O arranjo do ensaio de arranque é o mesmo para todos os corpos-de-prova, com armaduras posicionadas na vertical e na horizontal, Fig. 2. Os ensaios de arrancamento foram executados aos 90 dias de vida após moldados os corpos-de-prova.

## 3. Resultados

### 3.1 Resultados experimentais dos ensaios de caracterização mecânica

A Tabela 6 contém a resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos 100 mm x 300 mm aos 28 dias de vida vibrados e não

**Tabela 6 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos 150 mm x 300 mm vibrados e não vibrados aos 28 dias de vida**

N° Cps	Não vibrados		N° Cps	Vibrados		Relação (2) / (1) %
	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à média compressão (MPa) (1)		Resistência à compressão (MPa)	Resistência à média compressão (Mpa) (2)	
3	43,7	44,0	6	42,3	43,4	98,6
	43,4			44,8		
	45,0			42,6		
	42,9					
	43,5					
	44,0					

**Tabela 7 – Resistência à tração na flexão dos corpos-de-prova prismáticos 100 mm x 100 mm x 400 mm vibrados e não vibrados aos 28 dias de vida**

N° Cps	Não vibrados		N° Cps	Vibrated		Relação (2) (1) %
	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência média à tração na flexão (MPa) (1)		Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência média à tração na flexão (MPa) (2)	
3	2,7	2,8	6	2,2	2,3	82,1
	2,9			2,6		
	2,7			2,4		
				2,5		
				2,0		
				2,3		

vibrados. Os valores das resistências à compressão uniaxial das amostras vibradas e não vibradas foram praticamente as mesmas. A Tabela 7 contém a resistência à tração na flexão dos corpos-de-prova prismáticos 100 mm x 100 mm x 400 mm aos 28 dias de vida vibrados e não vibrados. Houve uma perda de resistência à tração na flexão dos corpos-de-prova vibrados de 18 % à 24 % em relação aos não vibrados. A Tabela 8 contém o módulo de elasticidade dos corpos-de-prova cilíndricos 100 mm x 200 mm aos 28 dias de vida vibrados e não vibrados. Houve uma perda de 10 % da rigidez dos concretos vibrados nas primeiras três horas de vida em relação aos não vibrados.

### 3.2 Resultados experimentais do ensaio de aderência aço-concreto

Os corpos-de-prova foram denominados de acordo com a hora da vibração, de 20 minutos às 3 horas da moldagem – 1ª vibração e

de 3 as 6 horas da moldagem – 2ª vibração. Para os corpos-de-prova com a barra de aço posicionada na vertical - V e na horizontal - H. Foram feitos três corpos-de-prova para cada modelo. CP não vibrado com armadura posicionada na horizontal.

A Tabela 9 ilustra os valores da tensão de aderência máxima de cada corpo-de-prova vibrado e não vibrado com as armaduras posicionadas na horizontal ou na vertical.

As Figuras 3 e 4 ilustram gráficos comparativos tensão de aderência por deslizamento para os corpos-de-prova vibrados e não vibrados com a armadura posicionada na horizontal e na vertical, respectivamente. As curvas são a média de dois a três corpos-de-prova para cada modelo.

## 4. Conclusões

A seqüência de ensaios, dinâmicos e estáticos, proposta neste

**Tabela 8 – Módulo de elasticidade dos corpos-de-prova cilíndricos 100 mm x 200 mm vibrados e não vibrados aos 28 dias de vida**

N° Cps	Não vibrados		N° Cps	Vibrated		Relação (2) (1) %
	Módulo de elasticidade (Gpa)	Módulo de elasticidade média (Gpa) (1)		Módulo de elasticidade (Gpa)	Módulo de elasticidade média (Gpa) (2)	
3	35,0	35,3	6	32,0	31,85	90,0
	35,4			33,0		
	35,3			31,0		
				32,6		
				31,7		
				30,8		

trabalho no estudo da resistência do concreto nas primeiras idades submetido à vibração mostrou-se eficiente, atingindo os objetivos esperados. Dos resultados obtidos neste estudo, mesmo com poucas amostras, não foram constatadas variações na resistência à compressão dos concretos vibrados em relação aos não vibrados, Tabela 6. O efeito da vibração nas primeiras horas de vida, aparentemente, não afetou a resistência à compressão do concreto. Resultados similares foram publicados na referência pelos pesquisadores Ansell e Silfwebrand(2003).

Entretanto, o mesmo não ocorreu com a resistência à tração, em que houve uma perda de 18% da resistência à tração na flexão dos corpos-de-prova vibrados em relação aos não vibrados, Tabela 7. Esse mesmo fenômeno foi verificado com os valores de rigidez do concreto onde houve uma perda de 10% do valor do módulo de elasticidade dos concretos vibrados em relação aos não vibrados, Tabela 8. Para confirmar estes resultados, necessitam-se de mais amostras vibradas.

Resultados contrários a esses foram citados por Issa(2003). O concreto utilizado neste trabalho possui baixa trabalhabilidade (10 cm) e houve perda devido à vibração nas propriedades de rigidez - módulo de elasticidade e tração na flexão, isso ressalta que o efeito da vibração nas primeiras horas de vida neste caso mostrou prejudicial ao concreto, principalmente quando se trata de pavimentos rígidos, em que são mais solicitados à tração na flexão do que à compressão.

Os concretos não vibrados apresentaram valores próximos da ten-

são de aderência obtida para os não vibrados, Tabela 9. Os gráficos comparativos, Figuras 3 e 4, ilustram comportamentos similares dos corpos-de-prova com armadura posicionada na horizontal e vertical, respectivamente. Tanto os ramos ascendentes e descendentes das curvas do gráfico 4 foram muito próximos, o que leva a concluir que nenhuma redução na capacidade de aderência foi observada pela introdução das vibrações nas primeiras idades do concreto para o caso dos corpos-de-prova com armadura posicionada na vertical. Já para os corpos-de-prova com armadura posicionada na horizontal vibrados Fig. 3, os ramos descendentes do diagrama se mostraram mais frágeis em relação aos corpos-de-prova não vibrado.

Finalmente, ressalta-se mais uma vez a importância da continuidade da investigação dos mecanismos que levam a redução da resistência à tração do concreto quando sujeitos a ambientes com vibração nas primeiras idades, principalmente pela importância que essa propriedade tem para a readequação ou reparação de obras de arte.

## 5. Agradecimentos

À FAPESP, pela concessão da bolsa de estudos. À empresa Engelog, pela doação dos materiais utilizados neste trabalho. Ao técnico Rui Coelho Jacomine, pela colaboração competente, e ao Prof. Pedro Afonso de Oliveira Almeida, pela supervisão do trabalho experimental.

**Tabela 9 – Valores da tensão de aderência máxima de cada corpo-de-prova**

Nomenclatura dos corpos-de-prova	Posicionamento da armadura	Tipo de vibração nas primeiras idades	Tensão máxima de aderência (MPa)
CNV-V1	Vertical	Não vibrado	6,40
CNV-V2			5,78
CNV-V3			5,88
CNV-H1	Horizontal		6,77
CNV-H2			-
CNV-H3			6,46
C1V-V1	Vertical	Vibrado de 20 minutos às 3h de vida	6,51
C1V-V2			6,40
C1V-V3			5,77
C1V-H1	Horizontal		6,04
C1V-H2			5,30
C1V-H3			-
C2V-V1	Vertical	Vibrado de 3h às 6h de vida	5,20
C2V-V2			5,72
C2V-V3			5,25
C2V-H1	Horizontal		5,98
C2V-H2			5,98
C2V-H3			5,88

Figura 3 - Gráfico comparativo da evolução da tensão de aderência e deslizamentos da barra durante ensaios de arrancamento em corpos-de-prova vibrados e não vibrados, com armaduras posicionadas na horizontal

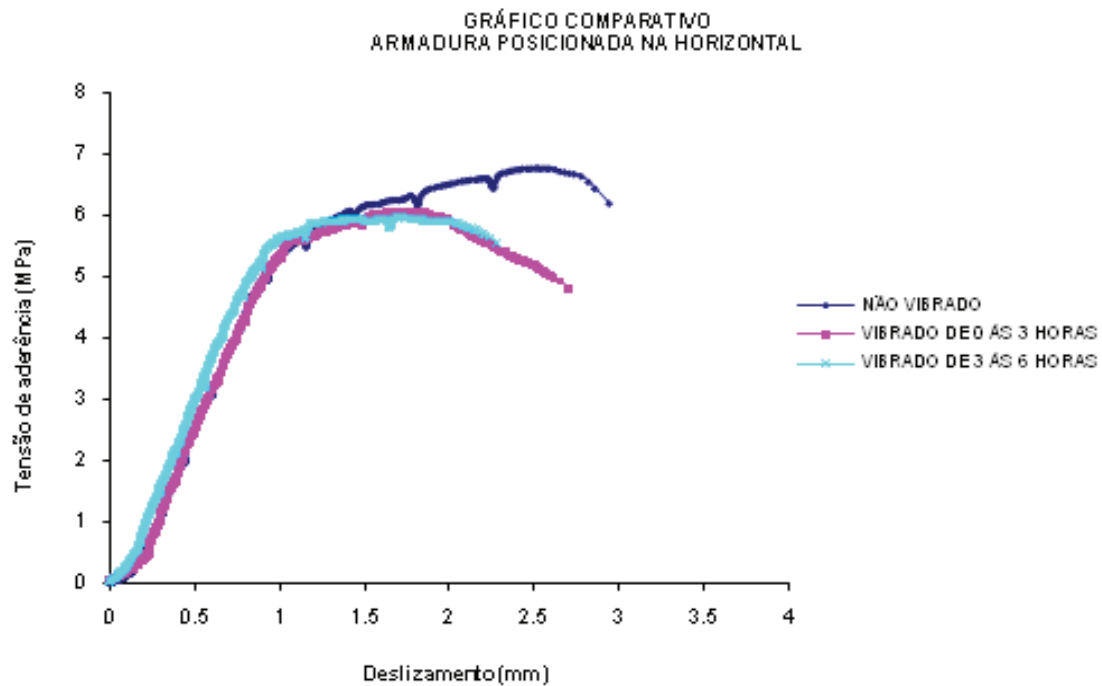
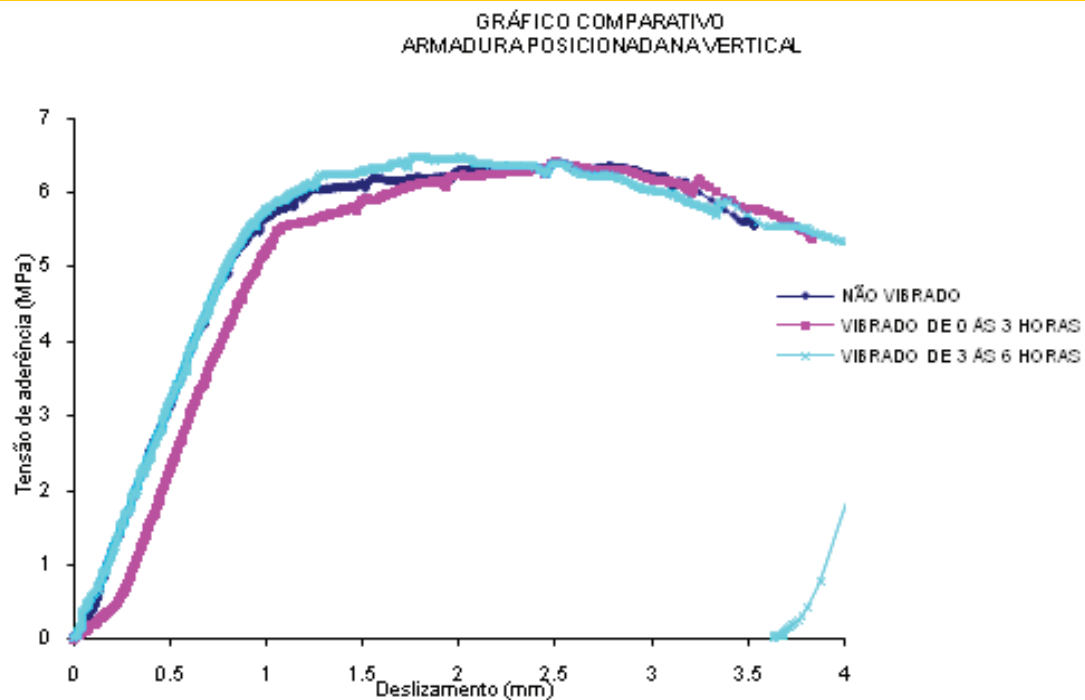


Figura 4 - Gráfico comparativo da evolução da tensão de aderência e deslizamentos da barra durante ensaios de arrancamento em corpos-de-prova vibrados e não vibrados, com armadura posicionada na vertical





## 6. Referências

- [01] ANSELL, A.; SILFWEBRAND, J. (2003) "The Vibration Resistance of Young and Early-Age Concrete". *Structural Concrete Journal of the Fib.* Vol. 4 N° 3, September. pp. 125-134.
- [02] ASTM. Annual Book of ASTM Standards: Standard Test Method for Comparing Concretes on the Basis of the Bond Developed with Reinforcing Steel. Vol. 04.02. C234-91a. October. pp. 148-152, 1996.
- [03] ASTM(1996). *Annual Book of ASTM Standards*: "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression." Vol. 04.02. C469-94. October. pp. 237-240.
- [04] CUSSON, D.; REPETTE, W.L. (2000) "Early-age Cracking in Reconstructed Concrete Bridge Barrier Walls". *ACI Materials Journal*, V. 97, No. 4, July-August, pp. 438-446.
- [05] HULSHIZER, A. J., DESAI, A.J. (1984). "Shock Vibration Effects on Freshly Placed Concrete." *Journal of Construction Engineering and Management*, V. 110, No. 2, June.
- [06] ISSA, M. A. (2003). "Investigation of Cracking in Concrete Bridge Decks at Early Ages". *Journal of Bridge Engineering*. N 2. pp. 116-124.
- [07] NBR 5739 (2007). *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. "Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos ." Maio, 9p.
- [08] NBR 6152 (2002). *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. "Materiais Metálicos – Ensaio de Tração à Temperatura Ambiente". Maio, 35p.
- [09] NBR 12142 (2010). *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. "Concreto – Determinação da Resistência à Tração na Flexão em Corpos-de-Prova Prismáticos." Dezembro, 4p.
- [10] NBR 8522 (2008). *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. "Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão." Abril, p.16.