

PROPRIEDADES  
DO CONCRETO

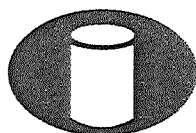
METODOLOGIAS  
DE CONSTRUÇÃO



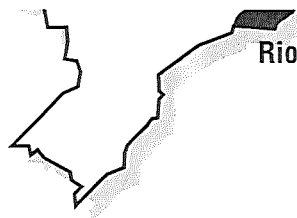
DURABILIDADE  
DAS ESTRUTURAS

O ESTADO DA ARTE DO CONCRETO

Tecnologia e Qualidade na Construção Civil



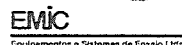
IBRACON



Rio de Janeiro

PROJETOS  
DE ESTRUTURAS

**INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO**



# INFLUÊNCIA DO CONSUMO DE CIMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO REVIBRADO

Autores: Prof. Dr. Marcos Vinício Costa Agnesini  
Prof. Dr. Laércio Ferreira e Silva

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos

## RESUMO

A Revibração é uma técnica que melhora as propriedades do concreto com respeito à resistência mecânica e impermeabilidade. Esta tecnologia apresenta potencial campo de aplicação em pisos e pavimentos rígidos.

O presente trabalho tem como principal objetivo a apresentação de um estudo sobre o aumento de resistência mecânica do concreto revibrado, comparativamente ao concreto apenas vibrado.

Na bibliografia internacional sobre o assunto, há referências de acréscimos de até 20% na resistências à compressão do concreto, através de uma revibração adequada.

Nesta pesquisa foram ensaiados concretos de cimento Portland composto dosados com teores de cimento variando de 280 a 400 kg/m<sup>3</sup> e relações água/cimento de 0,45 a 0,65. A consistência fixada correspondeu a um abatimento de tronco de cone de  $60 \pm 10$  mm e o período de revibração foi determinado em função do tempo de pega do cimento.

Os maiores aumentos na resistência à compressão do concreto foram verificados para dosagens com baixos e médios teores de cimento.

## 1 - INTRODUÇÃO

O estudo das propriedades do concreto revibrado é reconhecidamente de grande importância para o desenvolvimento da tecnologia dos concretos. Atualmente, pesquisadores estrangeiros e nacionais têm realizado uma série de programas experimentais nesta área, concluindo que a revibração do concreto traz melhorias, mais especificamente na resistência mecânica e impermeabilidade, devido à redução dos vazios e adensamento do concreto. Esta tecnologia substitui a vibração simples e prolongada, pois vibra o concreto que fora anteriormente adensado (pela vibração normal), incrementando as propriedades já mencionadas.

A revibração do concreto resulta, inicialmente, no efeito benéfico de disseminar os "germes" de cristalização, distribuindo-os homogeneamente em toda a mistura. Na acomodação das partículas, também,

SYSNO	995045
PROD	000032
ACERVO EESC	

são eliminados muitos poros decorrentes da evaporação de parte da água de amassamento, verificada durante o intervalo de tempo existente entre duas vibrações.

Quanto à resistência mecânica do concreto revibrado, os principais fatores que influenciam esta propriedade, são: consistência da mistura fresca, relação água/cimento, teor de cimento, aditivos empregados na dosagem, e tempo decorrido entre vibração e revibração.

Tratados estrangeiros, entre os quais destacam-se os trabalhos desenvolvidos por DURIEZ e ARRAMBIDE [ <sup>1</sup> ] afirmam que há possibilidade de se aumentar em até 20% a resistência do concreto através de uma revibração adequada.

Segundo reporta o boletim CONCREMAT NOTÍCIAS [ <sup>2</sup> ], “Experiências realizadas por diversos pesquisadores evidenciaram incrementos de resistência mecânica em concretos revibrados durante a pega, de valores superiores a 40% à compressão e 25% à tração. Os acréscimos de resistência foram maiores nas primeiras idades”. Além do acréscimo na resistência mecânica, cita ainda outros benefícios advindos da revibração, tais como:

“Eliminação das fissuras de assentamento e retração plástica; remistura da água de exsudação; restaurando a homogeneidade e aderência aço/concreto; atenuação das tensões de retração plástica; redução das irregularidades superficiais e aumento da impermeabilidade.”

A revibração tem um efeito variável sobre a resistência à compressão dos concretos, segundo sejam esses preparados com consistência muito seca ou quando apresentam consistência mais plástica. A literatura sobre o assunto, de um modo geral, considera que os concretos muito secos têm sua resistência diminuída quando revibrados, ao passo que os concretos plásticos apresentam uma melhoria nessa propriedade. Procura-se explicar esse comportamento admitindo-se que o fim de pega, em um concreto muito seco, é mais rápido, e portanto, a revibração destrói a estrutura cristalina já em formação. Quando a consistência é mais plástica, o fim de pega é mais lento, de tal modo que com a revibração pouco se destrói dessa estrutura, visto que a cristalização praticamente não se iniciou e, há ainda, a possibilidade de uma melhor compactação do concreto.

Os aditivos, quando convenientemente utilizados, também contribuem para melhoria das propriedades do concreto revibrado. Assim, para o emprego da revibração em concretos cuja consistência não oferece condições para aplicação desse tratamento, pode-se estudar a utilização de aditivos plastificantes ou superplastificantes nas dosagens. Por outro lado, o efeito de um aditivo retardador de pega em concreto de consistência plástica, também poderá beneficiar as propriedades desse material no estado endurecido.

Os concretos, para os quais é possível a aplicação da técnica da revibração, tornam-se mais compactos e, conseqüentemente, apresentam maior resistência mecânica e menor permeabilidade. Pode-se, portanto,

considerar o efeito da revibração na produção de concretos de melhor comportamento quanto a essas propriedades, mantendo-se inalterada a dosagem fixada para os materiais constituintes.

As vantagens da revibração do concreto em peças de grandes dimensões são evidentes. Em virtude da diminuição no consumo de cimento que se pode conseguir, sem prejuízo da resistência à compressão, obtém-se maior economia, bem como concretos menos susceptíveis ao fenómeno da fissuração de origem térmica ou por retração da massa.

Segundo CONCREMAT [2], "são inúmeras as aplicações da revibração. O acréscimo de custo que ela acarreta, por envolver uma operação adicional na execução da concretagem, é compensado pelas vantagens obtidas, e por vezes pode até gerar fatores redutores de custos, como por exemplo, nos pavimentos rígidos, onde a revibração pode propiciar o aumento do espaço entre juntas e nos pré-moldados esbeltos, onde se poderia trabalhar com água/cimento mais elevado."

## **2 - OBJETIVOS**

No nosso país, entre os estudos desenvolvidos sobre o comportamento do concreto revibrado, encontram-se os realizados no Laboratório de Construção Civil da EESC-USP. O presente trabalho, fundamentado em pesquisas realizadas neste laboratório, tem como objetivo relatar um estudo sobre a variação da resistência à compressão do concreto revibrado, comparativamente ao concreto apenas vibrado.

Com o intuito de se verificar o efeito da revibração na resistência à compressão de concretos preparados com cimento Portland composto, foi realizada uma série de ensaios, variando-se a relação água/cimento e o teor de cimento nas dosagens de misturas de mesma consistência. O intervalo de tempo ótimo empregado na revibração dos concretos, foi definido em função do tempo de início de pega do cimento utilizado.

## **3 - CARACTERÍSTICAS DOS CONCRETOS**

Os concretos foram produzidos com cimento Portland composto, tipo CPII-F-32, areia natural quartzosa e agregado graúdo resultante do britamento do basalto. Estes agregados são normalmente empregados na produção de concretos na região de S. Carlos - SP. O agregado graúdo foi composto, em massa, por 60% de brita 1 e 40% de brita 2.

As características físicas e mecânicas do CP II-F-32 estão indicadas na tabela 1. A tabela 2 fornece as características granulométricas, índices físicos e forma geométrica das partículas dos agregados, Quanto a presença de substâncias nocivas, os valores determinados para os agregados, revelaram-se satisfatórios de acordo com as condições impostas pela NBR 7211.

Tabela 1 - Características Físicas e Mecânicas do CP II-F-32

CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES		UNIDADE	VALOR OBTIDO
Finura	resíduo na peneira 75###m (NBR 11579)	%	6,0
	área específica (NBR 7224)	m <sup>2</sup> /kg	360
Tempo de pega	início de pega (NBR 11581)	min	175
	fim de pega (NBR 11581)	min	300
Expansibilidade a quente (NBR 11582)		mm	0,5
Resistência à Compressão	3 dias de idade (NBR 7215)	MPa	17,1
	7 dias de idade (NBR 7215)	MPa	25,4
	28 dias de idade (NBR 7215)	MPa	33,1

Tabela 2 - Características dos Agregados

Propriedades	Granulometria (1)			###	###	IF	###
Agregados	Classificação	MF	###	(5)	(6)	(7)	(8)
	(2)	(3)	máx (mm) (4)	(kg/dm <sup>3</sup> )	(kg/dm <sup>3</sup> )		(%)
areia natural	areia fina (zona 2)	2,32	2,40	1,52	2,63	-	0,5
agregado graúdo (basalto)	brita 1 + brita 2	7,21	25	1,50	2,91	2,43	1,1

Legenda: (1) Composição granulométrica - NBR 7217; (2) Classificação granulométrica - NBR 7211; (3) Módulo de finura - NBR 7211; (4) Dimensão máxima característica - NBR 7211; (5) Massa unitária - NBR 7251; (6) Massa específica - NBR 9773 e NBR 9937; (7) Índice de forma - NBR 7809; (8) Absorção de água - NBR 9777 e NBR 9937.

A consistência dos concretos, determinada pelo abatimento do tronco de cone (NBR 7223), foi fixada em 60 ± 10mm. Esta consistência foi plenamente satisfatória para a moldagem, vibração e revibração dos corpos-de-prova utilizados nos ensaios.

Fixando-se a consistência dos concretos, os traços em massa foram determinados para relações água/cimento variando de 0,45 a 0,65 kg/kg, obtendo-se, com isso, dosagens com teores de cimento de 412 a 283 kg/m<sup>3</sup>. Todas as dosagens foram determinadas para concretos com teor de água/materiais secos = 8,0% e 50% de argamassa. Essa quantidade ótima de argamassa foi determinada, experimentalmente, em função do valor mínimo do índice de vazios (43%) da matriz formada pela mistura adequada de brita 1 e brita 2. As proporções em massa, de 60% de brita 1 e 40% de brita 2, resultaram no valor máximo (1,65 kg/dm<sup>3</sup>) da massa unitária compactada a seco, determinada para o agregado graúdo composto. Os traços em massa determinados para os concretos, seguindo-se estas indicações, estão indicados na tabela 3.

**Tabela 3 - Características dos Concretos**

Designação	Traço em Massa	Consumo de Cimento (kg/m <sup>3</sup> )
Dosagem A	1 : 1,81 : 2,81 : x=0,45	412
Dosagem B	1 : 2,12 : 3,13 : x=0,50	369
Dosagem C	1 : 2,44 : 3,43 : x=0,55	336
Dosagem D	1 : 2,75 : 3,75 : x=0,60	307
Dosagem E	1 : 3,06 : 4,06 : x=0,65	283

#### 4 - PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

A mistura foi realizada em betoneira de eixo inclinado, de 320 litros de capacidade, com tempo de amassamento de aproximadamente 3 minutos. A moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos, de dimensões 150mm x 300mm, foi executada em 2 camadas, seguindo-se a NBR 5738. O intervalo de tempo decorrido entre a mistura e a vibração dos concretos nos moldes foi da ordem de 30 minutos. Devido a consistência plástica do concreto, apenas 5 segundos por camada foram suficientes para a perfeita compactação do concreto nos moldes.

A revibração foi aplicada 2 horas e 30 minutos após a mistura, ou seja, 2 horas após a vibração inicial. Esse intervalo de tempo foi determinado experimentalmente, considerando-se o tempo de início de pega do cimento empregado na dosagem do concreto (item 3). O tempo de revibração variou de 8 a 10 segundos por corpo-de-prova. Não houve nenhum problema para a introdução ou retirada da agulha do vibrador no concreto. A massa não ofereceu resistência à penetração da agulha, de tal modo que a penetração desta foi realizada rapidamente. Já a remoção da agulha foi executada lentamente, não deixando nenhum orifício na superfície do concreto.

O vibrador de imersão empregado na vibração e revibração do concreto apresentou as seguintes características: frequência 10.500 hertz ; diâmetro externo da agulha vibrante = 25mm; comprimento da agulha = 300mm.

A cura dos corpos-de-prova foi realizada em câmara úmida, de acordo com as condições prescritas pela NBR 5738.

#### 5 - VERIFICAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DO CONCRETO VIBRADO E REVIBRADO

Os ensaios foram programados para 2 etapas. Inicialmente determinou-se o intervalo ótimo para a revibração do concreto. Assim, para cada dosagem indicada na tabela 3, foram preparadas 5 séries de corpos-de-prova, com 5 exemplares cada uma. A 1ª série teve os corpos-de-prova apenas vibrados; nas 2ª, 3ª, 4ª e 5ª

séries os corpos-de-prova foram vibrados e revibrados, respectivamente após 2 horas, 2 horas e 30 minutos, 3 horas, e 3 horas e 30 minutos. Esse tempo foi fixado considerando-se o início de pega do cimento empregado (aproximadamente 3 horas) e refere-se ao intervalo existente entre a mistura e a revibração do concreto. As resistências dos concretos foram determinadas aos 7 dias de idade, para todas as 5 séries de cada dosagem. Os ensaios de compressão foram realizados de acordo com a NBR 5739. O intervalo ótimo predominante nos ensaios foi o de 2 horas e 30 minutos, sendo que o maior acréscimo de resistência (15%) deu-se para a dosagem C (série C-5), cujos resultados estão indicados na tabela 4.

**Tabela 4 - Resistências à Compressão do Concreto em Função do Intervalo de Revibração. Dosagem C - traço em massa = 1 : 2,44 : 3,43 : x=0,55**

Designação	Condições de Adensamento dos corpos-de-prova (*)	Resistência à Compressão aos 7 dias (MPa)
C-1	V	22,0
C-2	V + RV (2 h)	23,0
C-3	V + RV (2 h:30 min)	25,3
C-4	V + RV (3 h)	24,2
C-5	V + RV (3 h:30 min)	24,0

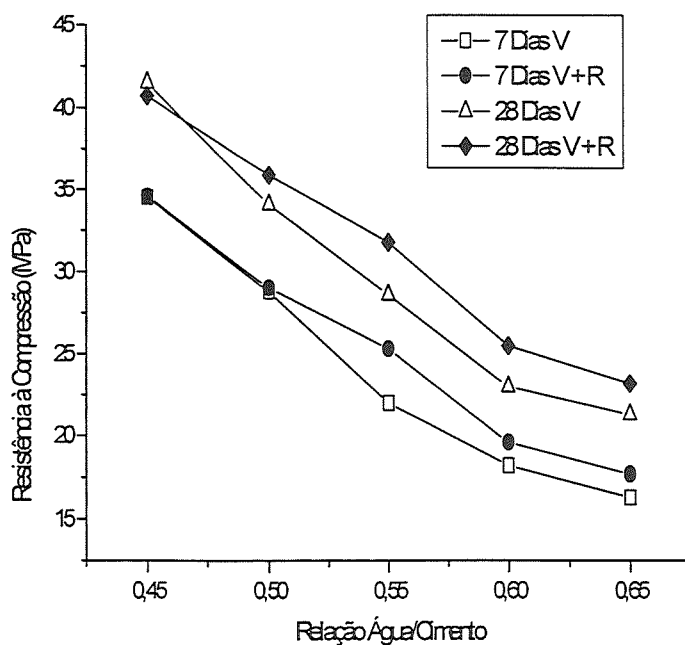
(\*) Legenda: V = c.p. apenas vibrados; V+RV (2h) = c.p. vibrados e revibrados após 2 horas; V+RV (2h:30min) = c.p. vibrados e revibrados após 2 h e 30 min; V+RV (3 h) = c.p. vibrados e revibrados após 3 horas; V+RV (3 h:30 min) = c.p. vibrados e revibrados após 3 h e 30 min.

Fixado o intervalo ótimo para revibração (2 horas e 30 minutos), estudou-se a variação da resistência à compressão do concreto revibrado, comparativamente ao concreto apenas vibrado, em função do teor de cimento empregado na dosagem. Com este objetivo, foram moldados, para cada traço indicado na tabela 3, 20 corpos-de-prova. Destes, 10 foram ensaiados com 7 dias (sendo 5 c.p. apenas vibrados e 5 vibrados e revibrados) e 10 aos 28 dias de idade (5 c.p. vibrados e 5 vibrados e revibrados). Os ensaios de compressão foram realizados seguindo-se a NBR 5739 e os resultados são indicados na tabela 5 e figuras 1 e 2.

**Tabela 5 - Resistências à Compressão do Concreto em Função do Teor de Cimento**

Dosagem	Consumo de Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Condições de Adensamento dos Corpos-de-Prova (*)	Resistência à Compressão	
			f <sub>c7</sub> (MPa)	f <sub>c28</sub> (MPa)
A x=0,45	412	V V+R	34,5 34,6	41,5 40,7
B x=0,50	369	V V+R	28,8 29,0	34,1 35,9
C x=0,55	336	V V+R	22,0 25,3	28,6 31,8
D x=0,60	307	V V+R	18,2 19,6	23,0 25,5
E x=0,65	283	V V+R	16,3 17,7	21,3 23,2

(\*) V = c.p. apenas vibrados ; V+R = c.p. vibrados e revibrados após 2h:30min.



**Figura 1- Resistência à Compressão do Concreto Vibrado e Revibrado em função da Relação Água / Cimento**



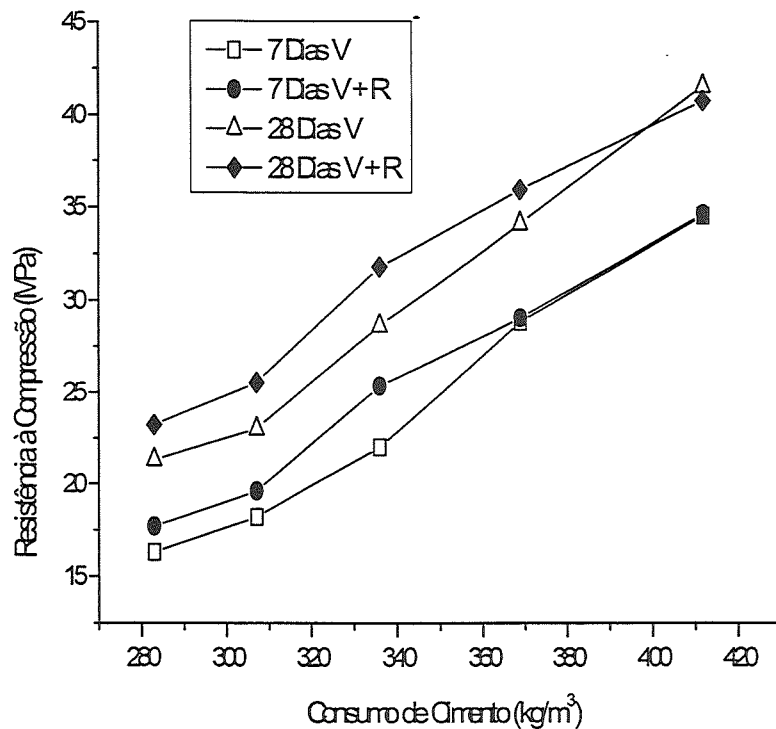


Figura 2- Resistência à Compressão do Concreto Vibrado e Revibrado em função do Consumo de Cimento

## 6 – ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

6.1 - O intervalo ótimo para revibração do concreto, no caso do CP II-F-32 estudado, foi determinado em 2h:30min (tabela 4), valor inferior ao tempo de início de pega deste cimento. Todavia, o intervalo ótimo deverá ser convenientemente pesquisado para cada tipo de cimento, podendo, inclusive, ser encontrado após o início de pega.

6.2 - Para concretos revibrados, preparados com o CP II-F-32 estudado, houve um ganho de resistência à compressão da ordem de 10% em relação aos valores obtidos nos concretos somente vibrados, para dosagens com teores de cimento compreendidos entre 336 a 283 kg/m³ (tabela 5 e figura 2). Este resultado confirma a pesquisa realizada por AGNESINI [3], na qual verificou-se acréscimo de 12% na resistência à compressão de concretos dosados com cimento Portland comum (atual CP I-25), através da aplicação da técnica da revibração. Este aumento de resistência do concreto poderia ser atribuído à absorção de água pelo agregado (tabela 2), o que diminuiria a relação água/cimento. Assim, procurou-se verificar a diferença entre a absorção de água após 30 minutos (tempo normal para aplicação do concreto) e a absorção após 2 horas, que

foi o intervalo determinado entre a vibração e a revibração. Todavia, constatou-se que, praticamente não houve aumento da absorção por parte do agregado neste intervalo.

6.3 – O ganho máximo de resistência devido à revibração ocorreu para concretos dosados com relação água/cimento  $a/c \cong 0,55$  (Consumo de cimento da ordem de  $340 \text{ kg/m}^3$ ), conforme pode-se observar nas figuras 1 e 2.

Assim, para uma resistência de dosagem de 27 MPa, concreto usinado, obtém-se para concreto apenas vibrado (V), um valor de  $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ ; já para o concreto vibrado e revibrado (V+R), essa resistência característica passaria para 25 MPa. Por outro lado, considerando-se o consumo de cimento, fixado  $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ , verifica-se que para concreto apenas vibrado (V), o teor seria da ordem de  $335 \text{ kg/m}^3$  e para concreto vibrado e revibrado (V+R), o consumo diminuiria para  $315 \text{ kg/m}^3$  (figura 2), equivalente a uma economia de 6%.

6.4 – Ressalte-se finalmente que ao empregar-se a técnica de revibração no concreto, é necessário realizar, a priori, um estudo cuidadoso em laboratório, a fim de se avaliar o comportamento do cimento a ser empregado. O efeito da revibração, ao provocar consequências físico-químicas no concreto, dependerá principalmente das características de cada tipo e do consumo de cimento.

## 7 - REFERÊNCIAS

- [1] DURIEZ, M; ARRAMBIDE, J. Nouveau Traité des Matériaux de Construction. Paris. Dunod. 3v.
- [2] CONCREMAT NOTÍCIAS – Ano 6 – Número 23 – julho/1990
- [3] AGNESINI, M.V.C. Revibração do Concreto. São Carlos, EESC-USP, 35p.- 1983.