

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO - IBRACON

JULHO/1981

CONTROLE DE ADENSAMENTO DO CONCRETO MASSA

ENGº. FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DOS
MATERIAIS E TÉCNICA DAS CONSTRU-
ÇÕES.

THEMAG ENGENHARIA

ENGº. IDEVAL BETIOLI
DIVISÃO DE CONTROLE DE
QUALIDADE DE CAMPO

ITAIPU BINACIONAL

CONTROLE DE ADENSAMENTO DO CONCRETO MASSA

1. INTRODUÇÃO

Ao ser depositado no local de aplicação, a massa de concreto possui vazios decorrentes da própria ação dos misturadores, dos processos de transporte e lançamento.

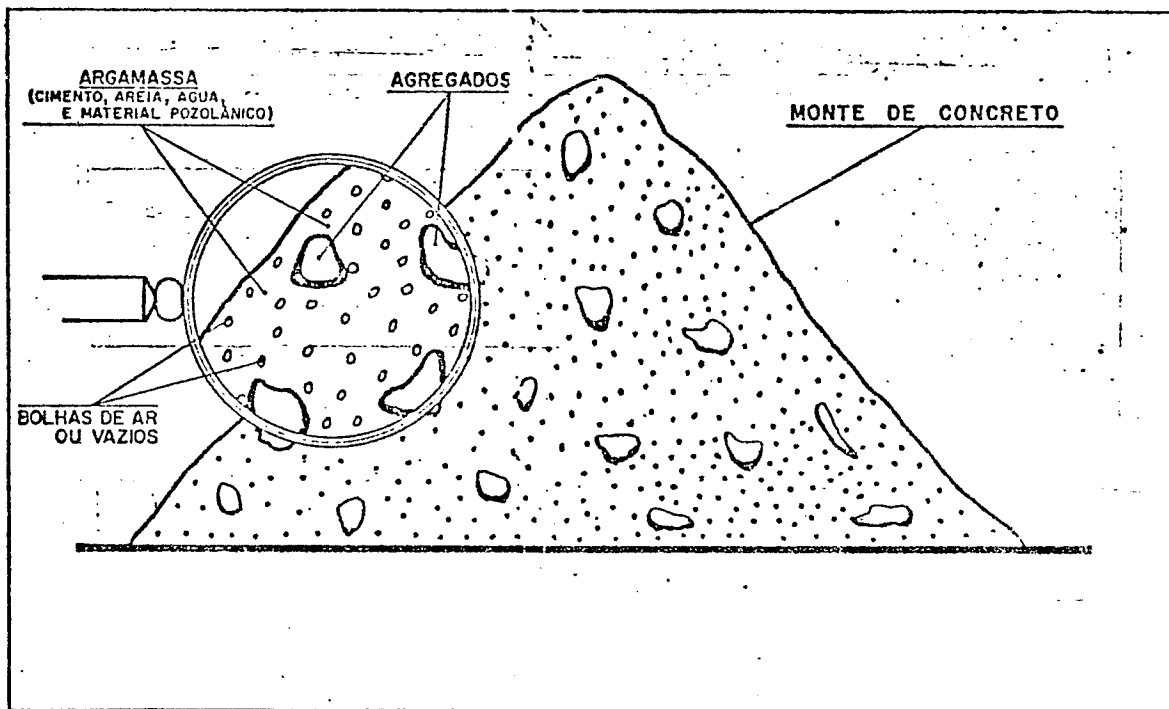


Figura 01 - Ilustração do aspecto de uma massa de concreto não adensado.

12 + ~~ACABAMENTO~~



Figura 02 - Aspecto do concreto recém lançado, sem ter sido compactado.

Deixando-se o concreto permanecer na condição tal qual lançado, ficará poroso, desuniforme e com propriedades resistentes duvidosas, tendo ainda um aspecto visual desagradável. É necessário então, que o concreto seja compactado para se obter as propriedades normalmente desejadas do concreto. Ainda, a compactação é necessária para que o concreto atinja todas as regiões do "molde", de maneira a resultar um corpo tal qual idealizado e também para que o concreto envolva perfeitamente todos elementos embutidos.

A compactação é então o processo de remoção dos vazios do concreto fresco.

Este trabalho faz referência e comentários referentes, preponderantemente, à compactação de concreto.

2. MÉTODOS E PROCESSOS PARA COMPACTAÇÃO

O método ou processo de compactação deve ser o mais adequado e compatível com as características da mistura do concreto (trabalhabilidade, consistência, diâmetro máximo dos agregados), características e dimensões das armaduras,

embutidos, formas, etc.

Dentre os processos utilizados para o adensamento do concreto podem ser citados:

2.1 APILOAMENTO

O apiloamento é executado pela ação de um "soquete" aplicado manualmente. A apiloamento é aceitável em se tratando de misturas consistentes, de diâmetro máximo de agregado até 38 mm e regiões isentas de armaduras e embutidos.



Figura 03 - Compactação por apiloamento, através de "soquete" de madeira, em concreto com agregado de ϕ máx. 38 mm.

É interessante comentar, como ilustração a figura 04, extraída do "Bulletin 2 - Part IV - Design and Construction-Boulder Dam - pág - 179", referente a detalhe de compactação através dos "pés" dos trabalhadores, durante a construção da barragem de Boulder (1932-1936).



Figura 04 - Compactação de concreto (com trabalhabilidade de 7,5 cm) através do apiloamento com os "pés".

Os vibradores eram utilizados somente nos "cantos" e extremidades de formas e proximidades de embutidos.

2.2 COMPACTAÇÃO POR VIBRAÇÃO NA SUPERFÍCIE DO CONCRETO

Na concretagem de peças com pequena altura em relação a área, como por exemplo, soleiras hidráulicas e pavimentos, a compactação pode ser efetuada através de vibradores acoplados a régua vibratórias ou vibro acabadoras. Nessas - oportunidades além da compactação, as régua vibratórias permitem o acabamento da superfície, uma vez que o deslizamento das vibro acabadoras é feito sobre guias adequadamente posicionadas.

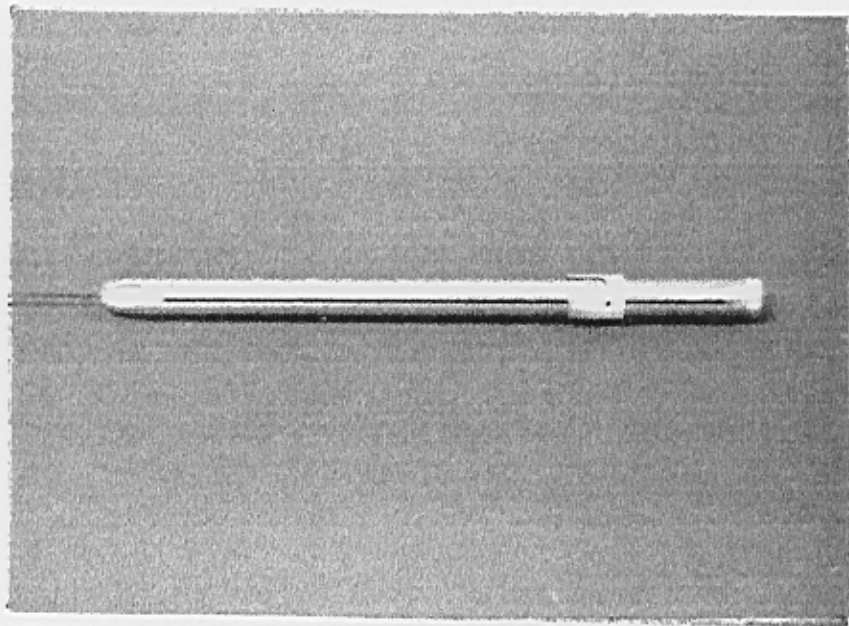


Figura 23 - Tacômetro de haste para medida de frequência de vibração.



Figura 24 - Tomada de medida de frequência de vibração, com o vibrador imerso no concreto.

Os procedimentos para medida da frequência dos vibradores são citados no CRD-521/78 do Corps of Engineers.

3.1 ACOMPANHAMENTO ESTATÍSTICO DAS FREQUÊNCIAS

Durante o controle das medidas de frequência de vibração para adensamento do concreto massa, adotou-se como valor mínimo aceitável para a operação do vibrador o valor 5500 R.P.M. Isto significa que, ao se tomar a medida de frequência de um vibrador é observado valor inferior a 5500 R.P.M a Fiscalização ordena a substituição do equipamento. Para efeito de acompanhamento estatístico das frequências, o valor médio é entretanto computado admitindo-se que até o momento o equipamento estivesse operando com a frequência medida.

A figura 25 fornece os valores de medição das frequências dos vibradores de imersão, na compactação de concreto massa durante o período de 1978 a 1980 na hidroelétrica de ITAIPU.

Com base no método -"Procedimentos recomendados para a escolha do tamanho da amostra para controlar a qualidade de um lote ou processo", com base nos métodos ASTM-E-122/72 American Society for Testing and Materials e CRD-C-580/75 do Corps of Engineers, pode-se estimar o número mínimo de valores para caracterizar a média representativa do universo de valores de medidas.

Deve-se lembrar que esse dimensionamento está sendo adotado somente para efeito de cálculo dos característicos estatísticos e não para o controle dos equipamentos nas frentes de serviços.

A equação adotada para o dimensionamento é:

$$N = \left(K \frac{\sigma_0'}{E} \right) \text{ Sendo}$$

N = Número mínimo de valores para caracterização;

σ_0' = Estimativa prévia do desvio padrão do lote.

E = Erro máximo permitido;

K = Valor que depende da confiança probabilística.

No dimensionamento foram adotados os seguintes valores:

K = 1,96 que corresponde a probabilidade de 5 valores em 100 (1:20) excederem ao erro e.

PERÍODO	DIÂMETRO DA AGULHA (mm)	DIÂMETRO MÁXIMO DO CONCRETO (mm)	CARACTERÍSTICOS ESTATÍSTICOS				PERÍODO	DIÂMETRO DA AGULHA (mm)	DIÂMETRO MÁXIMO DO CONCRETO (mm)	CARACTERÍSTICOS ESTATÍSTICOS			
			Nº DE MEDIDAS	MÉDIA (rpm)	DESVIO PADRÃO (rpm)	DEFICIÊNCIA VARIAÇÃO (%)				Nº DE MEDIDAS	MÉDIA (rpm)	DESVIO PADRÃO (rpm)	DEFICIÊNCIA VARIAÇÃO (%)
01/78	150	152 e 76	109	7000	1300	20	01/78	150	152 e 76	31	5021	597	11,1
02/78	150	152 e 76	206	6740	560	8,3	11/78	110	19 e 38	10	6560	709	10,7
03/78	150	152	31	5606	781	13,4	02/79	110	38 e 152	03	5100	520	10,2
04/78	150	38 à 152	123	6850	835	12,2	07/79	110	38 e 76	04	8125	545	6,7
05/78	150	38 e 152	64	5639	272	4,8	02/79	110	19-38 e 76	09	5311	507	9,5
09/78	150	152	06	5900	520	8,8	09/79	110	38 à 152	19	6284	569	9,0
10/78	150	152	15	6600	765	11,6	10/79	110	38 à 152	11	6955	620	8,9
11/78	150	152	09	6273	416	6,6	11/79	110	38 à 152	50	5894	549	9,3
12/78	150	152	17	6760	57	8,5	12/79	110	19 à 152	55	5925	699	11,8
01/79	150	152	13	6580	790	12	01/80	110	19 à 76	137	5786	645	11,1
02/79	150	76 e 152	45	6611	730	11,1	02/80	110	19 à 76	53	5734	483	8,4
08/79	150	152	26	6085	681	11,2	03/80	110	19	16	5350	676	12,6
09/79	150	76 e 152	06	8083	534	6,6	04/80	110	19	34	6205	643	10,4
10/79	150	38 à 152	17	5450	418	7,7	05/80	110	19 à 152	27	6433	972	15,1
11/79	150	38 à 152	15	6257	602	9,6	06/80	110	19 à 152	34	6309	1074	17,0
12/79	150	38 à 152	53	6613	1035	15,7	07/80	110	19 à 152	34	6618	760	11,5
01/80	150	38 à 152	37	5922	559	9,4	01/78	90	76	41	6800	823	12
02/80	150	38 à 152	37	5697	756	13,3	02/78	90	38 e 76	44	8120	2087	25,7
03/80	150	152	34	5524	675	12,2	03/78	90	38 e 76	62	6165	706	11,5
04/80	150	152	34	6179	1326	21,5	04/78	90	38 e 76	123	6800	1196	17,6
05/80	150	76 e 152	35	6092	867	14,2	05/78	90	38 e 76	66	7147	1362	19,1
06/80	150	76 e 152	34	5947	786	13,2	06/78	90	19 e 38	11	6860	677	9,9
07/80	150	76 e 152	34	6335	959	15,0	09/78	90	38	04	7700	83	1,1
01/78	140	152 e 76	1183	6300	820	13	12/78	90	76	02	6750	25	3,7
02/78	140	152 e 76	1359	6310	1769	28	05/79	90	38	08	6100	427	7,0
03/78	140	152 e 76	1427	6109	756	12,4	07/79	90	38	09	7966	1692	21,2
04/78	140	38 à 152	1609	5955	725	12,2	08/79	90	38	131	5321	1007	18,9
05/78	140	38 à 152	948	5841	728	12,5	09/79	90	19 e 38	124	6226	732	11,8
07/78	140	38 à 152	212	6010	783	13,2	10/79	90	19 e 38	26	6908	790	11,4
08/78	140	38 à 152	231	6030	853	14,2	11/79	90	19 e 38	178	6503	882	13,6
09/78	140	38 à 152	344	6100	767	12,6	12/79	90	19 à 76	180	6401	930	14,5
10/78	140	38 à 152	1177	5950	595	9,9	01/80	90	19 à 76	477	6351	839	13,2
11/78	140	38 à 152	611	6070	609	10,0	02/80	90	19 à 76	60	6872	1030	15,0
12/78	140	38 à 152	304	6000	813	13,6	03/80	90	19 à 76	54	8730	1305	14,9
02/79	140	38 à 152	358	6054	819	13,5	04/80	90	19 à 76	54	8178	910	11,1
05/79	140	38 à 152	111	5600	956	17,1	05/80	90	19 à 76	50	8040	1218	15,2
06/79	140	38 à 152	89	5300	690	13,0	06/80	90	19 e 38	54	8389	1367	16,4
07/79	140	38 à 152	37	5740	964	17,1	07/80	90	19 à 76	54	8527	1325	15,4
08/79	140	38 à 152	283	5330	686	12,9	01/78	70	38	04	6500	0	0
09/80	140	38 à 152	222	6222	756	12,1	04/78	70	38 e 76	04	8225	363	4,4
10/79	140	38 à 152	303	5619	842	15,0	12/78	70	38	04	7625	1139	15,0
10/79	140	152	09	6809	208	3,0	11/79	70	38	15	7207	406	5,6
11/79	140	38 à 152	748	5450	962	17,7	12/79	70	19 e 38	06	6133	1639	26,7
11/79	140	152	04	4750	250	5,3	01/80	70	19 e 38	08	6450	480	7,4
12/79	140	19 à 152	866	5570	772	13,9	02/80	70	19 e 38	34	6703	401	5,9
01/80	140	19 à 152	1363	5673	698	12,3	03/80	70	19 e 38	05	7380	1061	14,4
02/80	140	19 à 152	34	5429	724	13,3	04/80	70	19 e 38	54	8391	1263	15,0
03/80	140	19-76 e 152	34	5415	553	10,2	05/80	70	19 e 38	46	8083	999	12,1
04/80	140	19-76 e 152	34	5518	720	13,1	06/80	70	19 e 38	54	8337	1342	16,1
05/80	140	19-76 e 152	33	5315	699	13,2	07/80	70	19 e 38	54	8063	999	12,4
06/80	140	19-76 e 152	34	5544	445	8,5							

FIGURA 25 - CONTROLE DE ROTAÇÃO DOS VILHADORES

E = 250 R.P.M, que corresponde ao intervalo de leitura do tacômetro de haste.

Baseando-se nos valores da tabela 25 e no conceito acima descrito fez-se uma primeira estimativa para o valor de "N". Assim sendo, com os valores obtidos até dezembro de 1979 dimensionou-se N:

Diâmetro dos Vibradores (mm)	Média dos Desvios Padrões (RPM)	Número Mínimo de Valores (N)
150 e 140	724	33
110	590	22
90	891	49

Considerando-se, entretanto, uma segunda estimativa, com todos os valores, inclusive os determinados após a primeira estimativa (dezembro/1979), obtém-se:

Diâmetro dos Vibradores (mm)	Medidores dos desvios padrões (RPM)	Número Mínimo de Valores (N)
150 E 140	797	39
110	665	27
90	973	58

A partir desses valores serão adotados como números mínimos para caracterização da média das frequências dos vibradores:

- Vibradores de diâmetros 150, 140 e 110 mm - 40 leituras
- Vibradores de diâmetro 90 mm - 60 leituras.

Não efetuou-se o dimensionamento para vibradores de diâmetro 70 mm tendo em vista o pouco uso desse equipamento em concretos massa.

3.2 PROCESSO RÁPIDO PARA MEDIÇÃO DA FREQUÊNCIA DE VIBRAÇÃO

Tendo em vista que as medições de frequências efetuadas como indicado na figura 24 acarretam danos frequentes aos tacômetros de haste, e com base no "A.C.I-Standard 309/72"

e no método CRD-C-521/78 do Corps of Engineers que permite que as tomadas de leituras de frequências sejam efetuadas na mangueira de ar comprimido que alimenta o equipamento, foram feitas medições comparativas, cujos valores obtidos encontram-se na tabela 26.

DIÂMETRO DO VIBRADOR (mm)	DIÂMETRO INTERNO DA MANGUEIRA (polegada)	NÚMERO DE DETERMINAÇÕES	CARACTERÍSTICOS ESTATÍSTICOS	VALORES MEDIDOS					
				VIBRADOR FORA DO CONCRETO			VIBRADOR IMERSO NO CONCRETO		
				MANGUEIRA	AGULHA	AGULHA MANGUEIRA (%)	MANGUEIRA	AGULHA	AGULHA MANGUEIRA (%)
140	1	60	MÉDIA (rpm)	9120	8090	89	6810	6240	92
			DESVIO PADRÃO (rpm)	1470	1450	99	950	820	86
			C.V (%)	16	18	-	14	13	-
140	3/4	75	MÉDIA (rpm)	8420	7820	93	6620	5850	88
			DESVIO PADRÃO (rpm)	1560	1260	81	830	650	78
			C.V (%)	19	16	-	13	11	-
150	1	13	MÉDIA (rpm)	9960	9080	91	7270	6850	91
			DESVIO PADRÃO (rpm)	1930	2230	114	950	790	83
			C.V (%)	19	25	-	13	12	-

Tabela 26 - Valores comparativos referentes aos pontos de leitura.

Pelos valores obtidos observa-se que as frequências (R.P.M) medidas na agulha do vibrador são aproximadamente 10% inferiores às determinadas na mangueira, estando o vibrador imerso, ou não, no concreto. As leituras efetuadas com os vibradores fora do concreto são maiores (aproximadamente 30 a 35%) que as leituras obtidas com o vibrador imerso no concreto.

A redução do diâmetro interno da mangueira (de 1" para 3/4), reduziu também o valor médio das medidas (de 5 a 10% de redução).