

Concretos de alta resistência: tendências das composições

Eduardo Christo Silveira Thomaz
Luiz Antonio Vieira Carneiro
Instituto Militar de Engenharia

1. Introdução

Para elaboração de orçamento de obras de estruturas de concreto, faz-se necessário estimar a quantidade dos materiais que compõem o concreto. É útil, para isso, ter-se uma idéia das composições atualmente usadas nos concretos.

Neste trabalho, selecionou-se um conjunto de cerca de 200 composições de concretos com valores de resistência média à compressão entre 40 MPa e 120 MPa (ACI, 1995 a 2006; DAY, 1999; DEWAR e ANDERSON, 1998; HELENE e TERZIAN, 1993; LARRARD, 1999; PACELLI, 1997; REINHARDT, 2003). Cerca da metade deste se refere a grandes obras executadas (torres, edifícios altos, túneis, pontes, portos, entre outras) em todas as partes do mundo. A outra metade é de ensaios feitos em laboratórios de institutos de pesquisas.

Após um tratamento estatístico elementar, escolheram-se as correlações entre os diferentes parâmetros que definem uma composição de concreto, tais como resistência à compressão, relação entre água e ligante, e consumos de ligantes, de agregados, de adições, de aditivos e de água. Com as correlações definidas, mesmo com dispersões, pôde-se estimar a quantidade média de cada material componente dos concretos.

Por fim, apresenta-se neste trabalho uma planilha, cujo dado de entrada é a resistência média do concreto à compressão aos 28 dias. Seus dados de saída são as quantidades de materiais constituintes na composição de concretos.

2. Uso de concretos de alta resistência

Concretos de alta resistência, aqui definidos com resistência característica à compressão f_{ck} superior a 50 MPa, estão sendo usados em

pontes, pavimentos, elementos pré-fabricados, túneis, estacas, silos, reatores nucleares, estruturas sob ambientes agressivos, reforço de estruturas e, principalmente, em colunas de edifícios altos.

Nas lajes e nas vigas dos edifícios, no entanto, não se consegue aproveitar totalmente a alta resistência à compressão desses concretos, pois a altura destes elementos estruturais seria pequena e o índice de esbeltez grande. Surgiriam grandes deformações, imediatas e lentas, e também vibrações não aceitáveis.

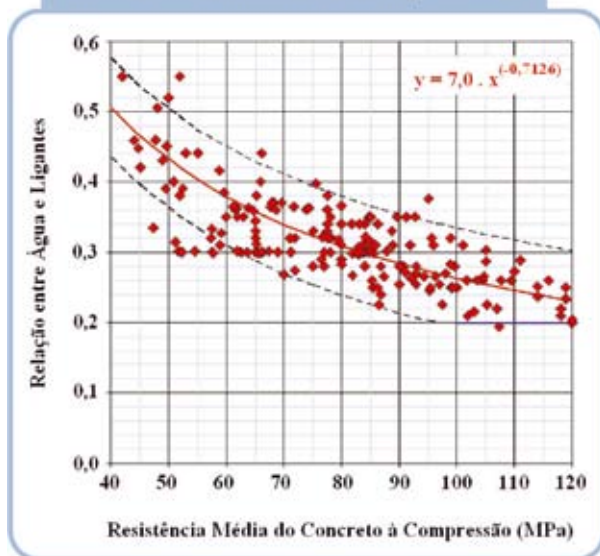
Em pontes com concreto protendido, usam-se atualmente no Brasil concretos com f_{ck} variando de 40 MPa a 60 MPa. As dimensões reduzidas das vigas e os índices de esbeltez conseqüentes não oferecem desconforto aos usuários. As vibrações não são sentidas pelos passageiros dos veículos e as grandes flechas de carga móvel não são notadas visualmente por passantes à distância. No caso de passarelas de pedestres, ao contrário, as vibrações são inaceitáveis.

Muitas obras especiais junto ao mar, com grandes exigências de durabilidade, são feitas de concretos de alta resistência, pois há uma crença de que estes concretos são sempre muito mais duráveis, o que não é sempre verdadeiro. Alta resistência não é sinônimo de durabilidade. Se não houver uma execução perfeita, com o controle da temperatura do concreto, antes e depois do lançamento, a durabilidade fica muito reduzida pela fissuração do concreto nas primeiras horas.

3. Análise da composição de concretos de alta resistência

A Figura 1 reúne dados sobre a relação entre os consumos de água e ligantes em função da resistência média do concreto à compressão

Figura 1 – Relação entre água e ligantes em função da resistência média do concreto à compressão



f_c . Os materiais ligantes considerados nesta figura foram o cimento e as adições minerais, tais como microssilica, escória, cinzas e outras. Pode-se observar que esta relação diminui com o aumento de f_c e que, para a maioria dos concretos com f_c maior que 50 MPa, esta relação situa-se entre 0,20 e 0,40. Nota-se que a relação mínima entre os consumos de água e ligantes é igual a 0,20, o que conduz à quantidade mínima de água necessária para hidratar

Figura 2 – Consumo de ligante em função da resistência média do concreto à compressão

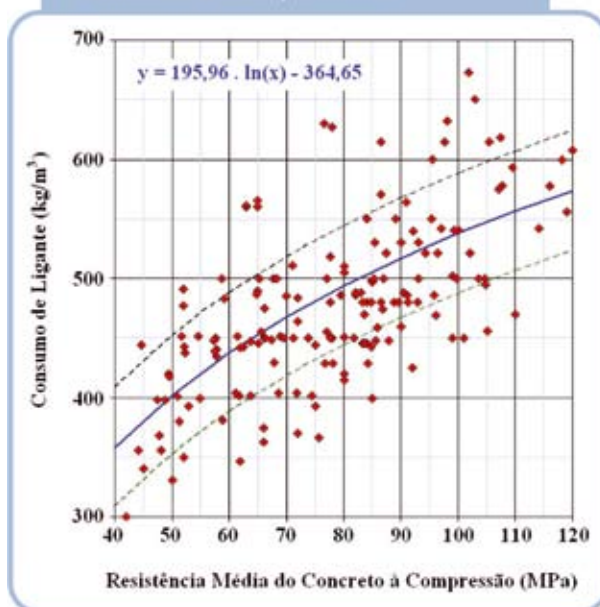
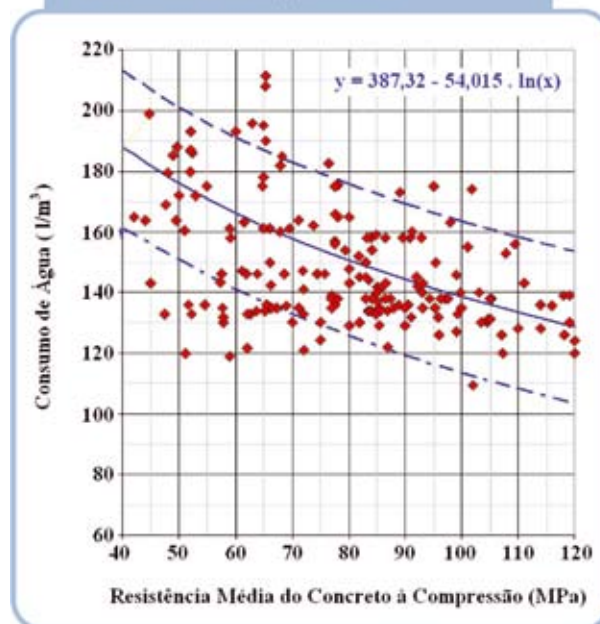


Figura 3 – Consumo de água em função da resistência média do concreto à compressão



as partículas de cimento. Nesta figura não foi feita distinção entre os tipos de cimentos e de adições minerais usados.

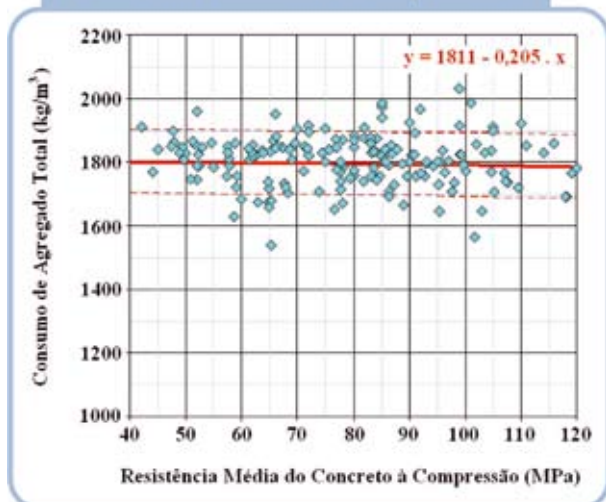
Dados sobre consumo de ligante em função de f_c encontram-se na Figura 2. Verifica-se nesta figura que, quanto maior o valor de f_c , maior o consumo de ligante. Consta-se também que o consumo médio mínimo de ligante é, para concretos com f_c maior que 50 MPa, cerca de 400 kg/m³ de concreto. No material ligante desta figura foram incluídos cimento e adições minerais.

Na Figura 3 podem ser vistos dados sobre consumo de água em função de f_c . Este consumo leva em conta a água contida nos agregados e nos aditivos químicos. Como esperado, percebe-se que o consumo de água diminui com o incremento de f_c . Para uma faixa de f_c entre 50 MPa e 120 MPa, o consumo de água situa-se em um intervalo de 180 l/m³ a 120 l/m³.

Conforme se pode visualizar na Figura 4 que, para qualquer f_c , o valor médio de consumo de agregado total é praticamente igual a 1800 kg/m³ de concreto. No consumo de agregado total desta figura, estão embutidos os agregados miúdo e graúdo.

A Figura 5 apresenta dados sobre percentagem de volumes de agregado total e de pasta em relação ao volume de concreto. Observa-se que, com o aumento de f_c , há uma pequena queda no valor de volume de agregado total em relação ao volume de concreto, o

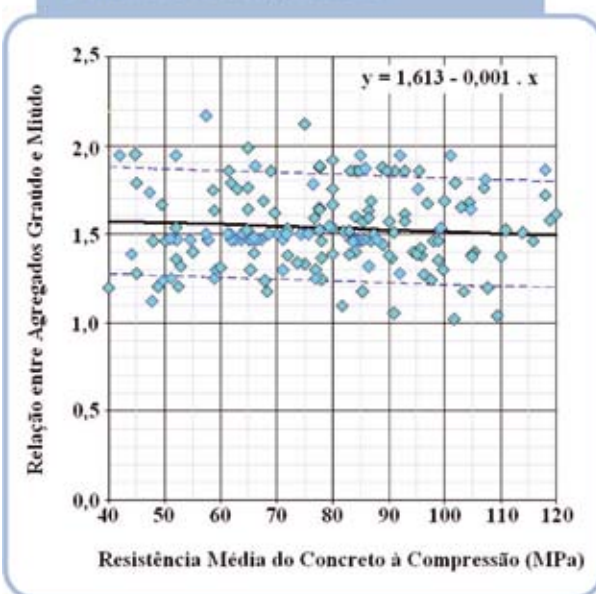
Figura 4 – Consumo de agregado total em função da resistência média do concreto à compressão



que de forma contrária ocorre em se tratando do valor de volume de pasta em relação ao volume de concreto. Nos dados de pasta desta figura, além do cimento e da água, levaram-se em conta as adições minerais.

Segundo AITCIN (1998), concretos de alta resistência com melhor trabalhabilidade tendem a possuir percentagens de volumes de agregado total e de pasta em relação ao volume de concreto iguais a 65% e 35%. Ressalta-se que concretos auto-adensáveis possuem um volume de pasta em torno

Figura 6 – Relação entre agregados graúdo e miúdo em função da resistência média do concreto à compressão



de 35% a 40% do volume total para terem boa trabalhabilidade. Este último valor de 40% seria o limite superior para o volume relativo da pasta em um concreto.

O valor médio para relação entre agregados graúdo e miúdo de 1,5 pode ser adotado para composição de concretos de alta resistência, conforme se identifica na Figura 6.

Figura 5 – Percentagens de agregado total e pasta em volume em função da resistência média do concreto à compressão

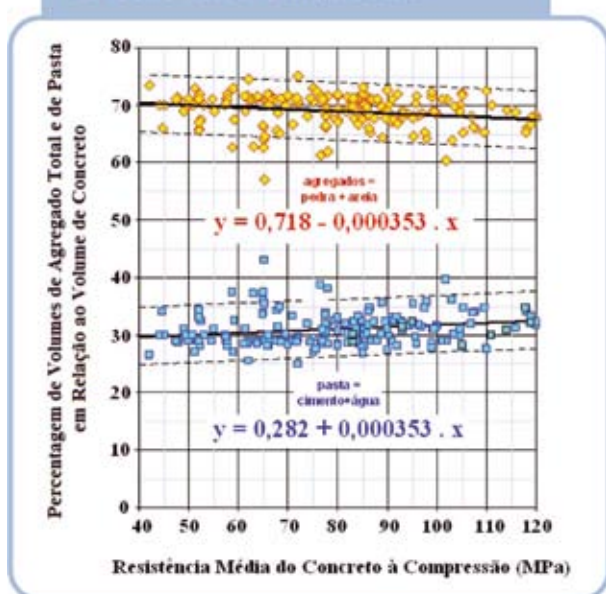


Figura 7 – Consumo de superplastificante em função do consumo de ligante total

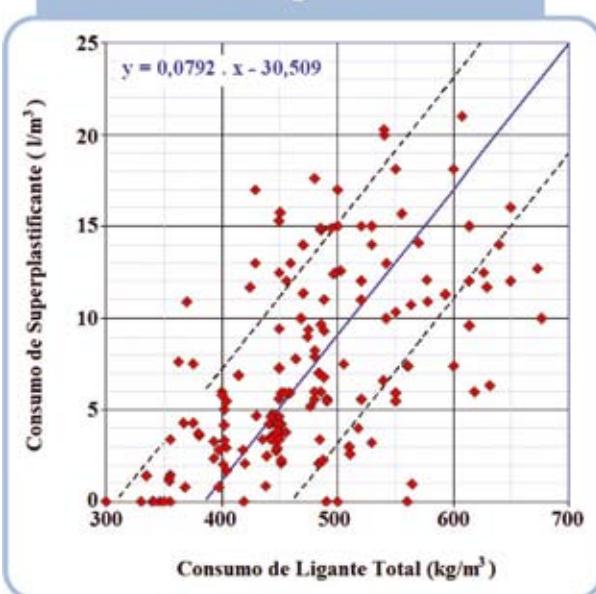
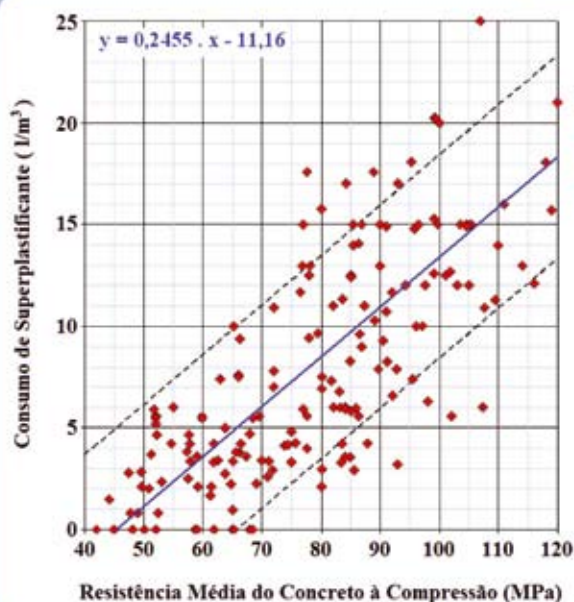
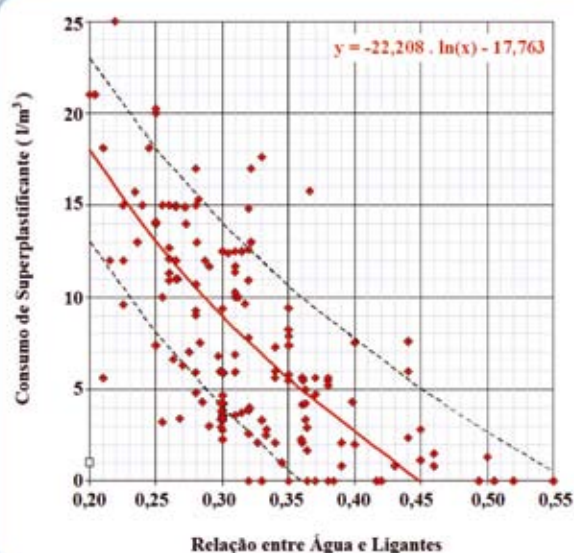


Figura 8 – Consumo de superplastificante em função da resistência média do concreto à compressão



Da Figura 7, notam-se uma grande dispersão nos dados de consumo de superplastificante em função do consumo de ligante total na composição de concretos de alta resistência e uma tendência em se aumentar o consumo de superplastificante quanto maior o consumo de ligante total.

Figura 9 – Consumo de superplastificante em função da relação entre água e ligantes



Dados sobre o consumo de superplastificante em função de f_c e da relação entre água e ligantes estão agrupados nas Figuras 8 e 9. Verifica-se que o consumo de superplastificante cresce com o aumento de f_c e decresce com o incremento da relação entre água e ligantes nos concretos pesquisados.

4. Proposta sobre composições de concretos de alta resistência

Com base no levantamento feito e nas Figuras 1 a 9, propõe-se neste trabalho uma planilha (v. Figura 10), cujo dado de entrada é a resistência média do concreto à compressão aos 28 dias.

Para condições “muito boas” de preparo do concreto, indispensáveis para executar uma obra com concreto de alta resistência, admite-se para f_c segundo o que se prescreve no item 6.4.3.1 da NBR 12655 (1996), cujo valor é igual a:

$$f_c = f_{ck} + 6,6$$

(1)

onde f_c e f_{ck} são dados em MPa.

Os dados de saída dessa planilha são as quantidades de materiais constituintes na composição de concretos de alta resistência, cujos valores estão expressos em função de f_c e podem ser vistos na Figura 10.

Caso se utilize pedra britada ao invés de seixo rolado, ao se observar os dados disponíveis, recomenda-se reduzir em 10% o valor proposto, conforme Figura 10. Considerando um valor de f_c igual a 60 MPa, os consumos de agregados gráudo do tipo seixo rolado e miúdo são iguais a 1094 kg/m³ e 705 kg/m³ de concreto. Assim, ao se utilizar agregado gráudo do tipo pedra britada, estes consumos mudam para 985 kg/m³ e 814 kg/m³ de concreto.

Sugere-se adotar, no caso de concretos com seixo rolado, o maior valor entre os 3 valores propostos para consumo de superplastificante, de acordo com a planilha da Figura 10. Para um concreto com f_c igual a 60 MPa, o consumo de superplastificante é, então, igual a 4,2 l/m³ de concreto. Para concretos com pedra britada, após análise dos dados disponíveis, indica-se aumentar este consumo em torno de 40%, o que leva a o consumo de superplastificante de 5,9 l/m³ de concreto.

Figura 10 – Planilha para estimativa de composição de concretos de alta resistência

Entrar f_c >>	60	MPa	Formulações
Água Total / Ligante Total =	0,38	<< Figura 1	(Água/Ligante) = $7,0 \cdot f_c^{(-0,7126)}$
Ligante Total (kg/m ³) =	438	<< Figura 2	(Ligante Total) = $195,96 \cdot \ln(f_c) - 364,65$
Água Total (l/m ³) =	166	<< Figura 3	(Água Total) = $387,32 - 54,015 \cdot \ln(f_c)$
Cimento (kg/m ³) =	398		(Cimento) = (Ligante Total) / 1,10
Microsilica (kg/m ³) =	40		(Microsilica) = (Cimento) . 0,10
Agregado Total (kg/m ³) =	1799	<< Figura 4	(Agregado Total) = $1811 - 0,205 \cdot f_c$
Agregado Graúdo / Agregado Miúdo =	1,55	<< Figura 6	(Graúdo / Miúdo) = $1,613 - 0,001 \cdot f_c$
Agregado Graúdo (kg/m ³) =	1094		(Graúdo) = (Agregado Total)/(1+1/(Graúdo / Miúdo))
Agregado Miúdo (kg/m ³) =	705		(Miúdo) = (Agregado Total) - (Graúdo)
Massa Total (kg/m ³) =	2403		(Massa Total) = (Ligante Total) + (Água Total) + (Agregado Total)
Superplastificante x Ligante Total (l/m ³) =	4,2	<< Figura 7	(Superplastificante) = $0,0792 \cdot (\text{Ligante Total}) - 30,509$
Superplastificante x f_c (l/m ³) =	3,6	<< Figura 8	(Superplastificante) = $0,2455 \cdot f_c - 11,16$
Superplastificante x (Água / Ligante) (l/m ³) =	3,8	<< Figura 9	(Superplastificante) = $- 22,208 \cdot \ln(\text{Água/Ligante}) - 17,763$

5. Considerações finais

As propostas para estimativa de composição de concretos de alta resistência, reunidas neste trabalho, têm sido testadas em pesquisas no Laboratório de Materiais de Construção e Concreto do IME. Os resultados destas pesquisas têm sido satisfatórios para concretos com f_c de até 90 MPa.

Indica-se o uso de betoneiras misturadoras de alta eficiência, com mistura forçada, para concretos com f_c maior que 90 MPa.

É necessário lembrar que a composição de concretos de alta resistência, obtida segundo as propostas deste trabalho, serve como uma primeira estimativa para orçamento e deve ser

ajustada experimentalmente no laboratório e na obra. Antes de tudo, é indispensável selecionar criteriosamente os materiais, testar e comprovar a compatibilidade entre ligantes e aditivos químicos do concreto a fim de se evitar a perda rápida do seu abatimento do tronco de cone.

Destaca-se a recomendação do Prof. Luiz Fernando Lobo Barboza Carneiro (LOBO CARNEIRO, 1953): “Queremos mais uma vez prevenir que é uma ilusão pensar-se ser possível a um engenheiro, em seu gabinete de trabalho, munido de régua de cálculo (Tabelas de Caldas Branco) e de ábacos mais ou menos complicados, projetar um traço de concreto como se projeta uma estrutura. É indispensável realizar experiências para cada novo tipo de material que aparecer”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] AİTCIN, P. C., 1998, High – Performance Concrete, E& FN SPON, London.
- [02] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995 a 2006, Materials Journal, Structural Journal, Concrete International – Magazine of the American Concrete Institute.
- [03] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, NBR 12655, 1996, Concreto – Preparo, Controle e Recebimento, Brasil, pp. 7, Jul.
- [04] DAY, K. W., 1999, Concrete Mix Design, Quality Control and Specification, E&FN SPON, London.
- [05] DEWAR, J. D., ANDERSON, R., 1998, Manual of Ready – Mixed Concrete, Second Edition, Blackie Academic & Professional, London.
- [06] HELENE, P. R. L., TERZIAN, P. R., 1993, Manual de Dosagem e Controle do Concreto, São Paulo, PINI / SENAI, 189 p.
- [07] LARRARD, F., 1999, Concrete Mixture Proportioning, A Scientific Approach – Modern Concrete Technology Series – 9, E & FN Spon, London.
- [08] LOBO CARNEIRO, F. L. B., 1953, Dosagem de Concreto, Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro.
- [09] PACELLI, W. A., 1997, Concretos – Ensaios e Propriedades, Laboratório de Concreto, Furnas, Editora Pini.
- [10] REINHARDT, H. W., 2003, Beton für den Hochbau (Concreto para Edifícios), Beton Kalender, Teil 2 , Hochhäuser und Geschossbauten, Stuttgart. ♦