

## Capítulo 15

# Dosagem dos Concretos de Cimento Portland

*Paulo Helene*

Universidade de São Paulo

### 15.1 Introdução

Entende-se por estudo de dosagem dos concretos de cimento Portland, os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, também conhecido por traço do concreto. Essa proporção ideal entre os materiais constitutivos do concreto pode ser expressa em massa ou em volume, sendo preferível e sempre mais rigorosa a proporção expressa em massa seca de materiais.

Hoje em dia deve-se considerar como materiais passíveis de uso nos concretos e que podem ser utilizados num estudo de dosagem; *os vários cimentos; os agregados miúdos; os agregados graúdos; a água; o ar incorporado; os aditivos; as adições; os pigmentos e as fibras*. Entre agregados pode ser feita distinção entre agregados reciclados, artificiais e naturais.

No Brasil ainda não há um texto consensuado de como deve ser um estudo de dosagem. A inexistência de um consenso nacional cristalizado numa norma brasileira sobre os procedimentos e parâmetros de dosagem tem levado vários pesquisadores a propor seus próprios métodos de dosagem, logo confundidos com uma recomendação da Instituição para a qual trabalham, ou pela qual foram publicados seus métodos.

Assim ocorreu com o método de dosagem IPT, proposto inicialmente por Ary Frederico Torres em 1927 e mais recentemente por Gilberto Molinari, Pedro Kirilos, Simão Priskulnick, Carlos Tango; com o método INT – Instituto Nacional de Tecnologia (RJ), proposto por Fernando Luiz Lobo Carneiro; com o método do ITERS – Instituto Tecnológico do Estado do Rio Grande do Sul, proposto por Eládio Petrucci; com o método da ABCP, proposto inicialmente por Ary Torres e Carlos Rosman, e atualmente uma adaptação do método americano do ACI, com o método de Carbonari e outros vários pesquisadores que empregam ou empregaram versões de métodos estrangeiros tais como o método O’Reilly, Vallete, Fuller, Bolomey, De Larrard, Alaejos y Cánovas, e outros.

Essa grande diversificação dos métodos “nacionais” de dosagem impediu até o presente que os aspectos comuns pudessem ser aprofundados e uniformizados, de tal maneira que continua prevalecendo o método de cada um.

Apesar dos métodos de dosagem diferirem entre si, certas atividades são comuns a todos, como por exemplo o cálculo da resistência média de dosagem, a correlação da resistência à compressão com a relação água/cimento para determinado tipo e classe de cimento, a consideração da natureza dos agregados e outros.

Um estudo de dosagem sempre é realizado visando obter a mistura ideal e mais econômica para atender uma série de requisitos. Esta série será maior ou menor, segundo a complexidade do trabalho a ser realizado e segundo o grau de esclarecimento técnico e prático do usuário do concreto que demandou o estudo.

Em princípio os requisitos usuais a serem atendidos podem ser englobados nos seguintes:

1. *Resistência mecânica:* a resistência mecânica do concreto é o parâmetro mais frequentemente especificado sendo a resistência à compressão a mais utilizada e a resistência à tração por flexão também muito comum em projetos de pavimentos de concreto. A resistência à compressão dos concretos tem sido tradicionalmente utilizada como parâmetro principal de dosagem e controle da qualidade dos concretos destinados a obras correntes. Isso se deve, por um lado, à relativa simplicidade do procedimento de moldagem dos corpos-de-prova e do ensaio de compressão, e, por outro, ao fato da resistência à compressão ser um parâmetro sensível às alterações de composição da mistura permitindo inferir modificações em outras propriedades do concreto. No Brasil, os métodos para obtenção da resistência à compressão do concreto estão especificados nos métodos de ensaio *NBR 5738; NBR 5739; e no procedimento de projeto NBR 6118 (NB-1); e no procedimento de execução NBR 1493.* Caso o parâmetro principal a ser atendido seja a resistência à compressão, esta deverá encaixar-se nas faixas determinadas pela *NBR 8953;*
2. *Trabalhabilidade:* todos os concretos requerem uma certa trabalhabilidade adequada a cada situação particular. Os condicionantes vêm definidos pelos projetos arquitetônicos e estruturais (fôrmas, taxas de armadura, detalhes geométricos), pelos equipamentos a serem utilizados (bomba, carrinhos, giricas, caçambas, projeção, submerso, auto-adensável); pelas necessidades de acabamento (sarrafeado, polido, lixado, aparente, desempenado) e pelas condições ambientais (temperatura, insolação, ventos, umidade relativa). Os concretos devem ser coesos e viscosos, ou sejam, para cada caso devem permitir ser transportados adequadamente até sua posição final sem apresentar segregação, bicheiras, ninhos, exsudação, variações de cor e escorrimentos exagerados. A trabalhabilidade do concreto é uma variável complexa que depende de fatores intrínsecos e extrínsecos ao material conforme alerta o “Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete ACI 211.3R” e o “Behavior of Fresh Concrete During Vibration” ACI 309.1R, do “American Concrete Institute”. No caso da consideração exclusiva de fatores intrínsecos ao concreto adota-se, no Brasil, a consistência do concreto fresco como o parâmetro principal e esta pode ser obtida através do método de ensaio *NBR 7223 equivalente a ASTM C143/C143M Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, e na NBR 9606;*
3. *Durabilidade:* os concretos devem ser duráveis frente às solicitações às quais será exposto durante sua vida útil. Essa durabilidade depende de fatores extrínsecos aos concretos tais como presença de sais, maresia, chuvas ácidas, umidade relativa, natureza das solicitações mecânicas a que fique sujeito (carga monotônica, cíclica, longa ou curta duração, impactos) e de fatores intrínsecos tais

como tipo de cimento, relação a/c; adições, aditivos e outros. O conceito de durabilidade está associado aos dos mecanismos de transporte ou de penetração de agentes agressivos em materiais porosos: capilaridade; difusibilidade, migração iônica e permeabilidade. A durabilidade é considerada um tema muito complexo que depende de várias variáveis e portanto ainda não tem um método consensuado de ser medida, sendo necessário e conveniente proceder-se a estudos consubstanciados de vida útil. Do ponto de vista do projeto estrutural a *NBR 6118 (NB-1)*, a *NBR 12655* e a *NBR 14931*, buscam assegurar uma certa durabilidade da estrutura a partir das especificações de relação água/cimento máxima; resistência à compressão mínima; espessura mínima de cobrimento de concreto à armadura e consumo mínimo de cimento, para cada uma das condições de exposição previstas a que estarão submetidos os elementos estruturais de uma obra ao longo de sua vida útil;

4. *Deformabilidade*: cada vez mais a retração hidráulica, a deformação inicial ou imediata e principalmente a deformação lenta (fluência) do concreto têm sido especificadas pelos projetistas estruturais mais esclarecidos. Essas deformações próprias de todos os materiais de construção, podem ter no caso do concreto, grandes e nefastas interferências com os demais elementos construtivos (paredes, pisos, caixilhos, elevadores, escadas rolantes, pontes rolantes, etc.). Por essa razão, progressivamente vêm sendo incluídas como requisitos importantes nos estudos de dosagem. As deformações do concreto podem ser medidas através dos métodos *NBR 8224*, *NBR 8522*, e *NM 131*.

Hoje em dia não se pode mais considerar apenas o estudo de dosagem de concretos correntes. O mercado e as técnicas construtivas exigem concretos de alta resistência (CAR ou HSC); concretos de alto desempenho (CAD ou HPC); concretos auto-adensáveis (CAA ou SCC); concretos com altos teores de adições e pozolanas; concretos aparentes; concretos coloridos; concretos brancos; concretos sustentáveis e muitos outros. Para cada um deles existe na literatura especializada uma série de métodos de dosagem que prometem obter o concreto ideal ao menor custo possível. Essa grande oferta de alternativas está transformando cada vez mais a atividade de dosagem numa atividade específica, complexa e dispendiosa.

É muito comum constatar que certos profissionais inseguros relegam seus conhecimentos básicos, fundamentais e imutáveis de tecnologia de concreto em busca de receitas novas e mágicas que, infelizmente, nem sempre dão bons resultados.

As principais propriedades do concreto endurecido são normalmente expressas pelo projetista das estruturas enquanto que as propriedades do concreto fresco são determinadas pelos equipamentos e técnicas de execução – transporte, lançamentos e adensamento do concreto – assim, como pelas próprias características geométricas da estrutura a ser concretada.

Cabe ao tecnólogo de concreto conciliar essas exigências satisfazendo a ambos através de um concreto o mais econômico possível. Apesar de óbvia, esta última condição é freqüentemente esquecida, encontrando-se engenheiros que se orgulham de produzirem ou empregarem em suas obras concretos com características – e custo – muito acima dos necessários. Infelizmente também há aqueles que, por omissão ou ignorância, não utilizam o concreto com as propriedades requeridas e comprometem a segurança, a durabilidade, a deformabilidade e os custos futuros de manutenção.

Qualquer estudo de dosagem dos concretos tem fundamentos científicos e tecnológicos

fortes mas sempre envolve uma parte experimental em laboratório e/ou campo o que faz com que certos pesquisadores e profissionais considerem que dosar concreto é uma arte mais que uma ciência. De qualquer forma somente àqueles capazes de bem domar essa arte e essa ciência é conferido os grandes benefícios econômicos e técnicos de um correto uso do concreto bem dosado.

## 15.2 Histórico Internacional

Até o século XIX pouco se conhecia acerca do proporcionamento adequado dos materiais constitutivos dos concretos e argamassas. Em 1828, na França, Louis J. Vicat (apud Ferrari, 1968) constata experimentalmente que uma determinada relação cimento/areia conduz à máxima resistência das argamassas e faz considerações sobre os inconvenientes do excesso e da insuficiência de areia no traço.

Na mesma época, Rondelet, em 1830, preconiza a utilização de areia tão grossa quanto possível para obtenção de argamassas e concretos econômicos [apud Ferrari (2), 1968]. Esse conceito vigora até hoje apesar de estar atualmente comprovada a sua inconsistência tecnológica, ou seja, é possível obter concretos equivalentes técnica e economicamente, tanto com o uso de areias finas quanto com o emprego de areias grossas.

Préaudeau, em 1881, apresenta formalmente um método de dosagem das argamassas e concretos. Propõe que seja determinado o volume de vazios da areia e que o volume da pasta aglomerante seja 5% superior ao volume de vazios encontrado no agregado miúdo. A seguir, deve-se determinar o volume de vazios da pedra, a partir do qual se calcula o volume da argamassa como sendo 10% superior ao volume de vazios do agregado graúdo (Coutinho, 1973). Esses conceitos básicos de proporcionamento permanecem até hoje em certos métodos de dosagem como o do ACI 211 (2005).

Considera-se, no entanto, que o primeiro estudo de proporcionamento racional dos materiais tenha sido realizado por René Ferét – Chefe do Laboratórios de “Ponts et Chaussées”, da França. Em 1896, propôs uma parábola como melhor modelo matemático de correlação entre resistência à compressão e volume de água mais ar do concreto [Ferrari(3), 1968].

Em 1918, Duff A. Abrams, após o estudo de inúmeros traços e análise de mais de 50.000 corpos-de-prova enuncia a “lei de Abrams”, mundialmente aceita. Abrams introduz também o termo “Módulo de Finura” que propôs para representar, por meio de um único índice, a distribuição granulométrica dos agregados. O índice assim obtido mostrou-se tão útil que foi adotado mundialmente nas normas de agregados para concreto, inclusive na brasileira, *NBR 7211*.

A contribuição de Abrams foi ainda mais longe, introduziu a noção de trabalhabilidade do concreto e propôs a medida da sua consistência em 1922, através de um molde tronco de cone de altura 30cm e bases 10cm e 20cm, que entrou na utilização corrente da produção mundial de concreto, transformando-se no único método normalizado no Brasil para medida da consistência do concreto fresco até 1986, quando foi introduzido também o método da mesa de espalhamento, atualmente em vigor, porém ainda muito pouco conhecido e utilizado.

Segundo Draffin (1943), dois pesquisadores da Universidade de Illinois, Talbot e Richart, questionaram por volta de 1923 a validade da abrangência do modelo de Abrams que afirmava ser a resistência do concreto determinada somente pela relação *a/c*. Talbot e Richart, defendiam que a magnitude do total de vazios no concreto – os espaços

ocupados pela água e pelo ar – é que determinava a resistência final. Com o advento das técnicas de incorporação de ar e com o uso de concretos de consistência seca – de difícil adensamento – comprovou-se que a teoria universal de Abrams realmente tem suas limitações requerendo pequenos ajustes quando não se trata de concretos plásticos nem de baixos teores de ar aprisionado.

Em 1932, Inge Lyse publicou sua contribuição ao estudo da dosagem dos concretos, demonstrando que dentro de certos limites e mantidos os mesmos materiais, é possível considerar a massa de água por unidade de volume de concreto como a principal determinante da consistência do concreto fresco, qualquer que seja a proporção dos materiais da mistura. Inge Lyse sugeriu ainda empregar a Lei de Abrams com relação água/cimento em massa e não em volume como originalmente proposto por Abrams.

Em 1925, Bolomey reintroduz o conceito de granulometria contínua iniciado por Fuller em 1901, como a ideal para concretos (apud Newlon Jr., 1976).

Contrariando essa tendência à granulometria contínua, Roger Vallete, em 1949, propõe o modelo válido para a situação de granulometria descontínua: o agregado primário de dimensão  $D_1$ , composto apenas por grãos dessa dimensão, deve ser misturado com o agregado secundário, uniforme também e de dimensão  $D_2$ , de forma que  $D_2$  se ajuste dentro dos vazios deixados por  $D_1$ , sem que a distância entre os grãos do primário seja aumentada, ou seja, sem expansão do volume de vazios de  $D_1$ . O agregado terciário deverá ser uniforme e de dimensão  $D_3$  tal que se ajuste dentro dos vazios da mistura de  $D_1$  e  $D_2$ , sem alterar a distância entre os grãos, e assim sucessivamente até o cimento.

Apesar de lógica e de impor-se à razão como uma verdade intuitiva, esses métodos baseados na granulometria descontínua, não se generalizaram devido à dificuldade de obter, prática e economicamente, agregados com grãos uniformes que obedeçam uma dada relação geométrica, variável de uma a outra situação. Hoje em dia são utilizados apenas nos estudos de dosagem de concretos de elevada resistência à abrasão, tipo pisos industriais.

Em 1944 é publicado o primeiro texto consensuado elaborado pelo “Committee 613” instalado sob a coordenação de Robert F. Blanks do “Bureau of Reclamation-USA”, publicado pelo “American Concrete Institute-ACI”, após oito anos de intensas discussões (apud Cordon, 1974). A recomendação americana para dosagem é alterada em 1970 de ACI-613 para ACI-211.1. O método de dosagem recomendado pelo ACI teve grande aceitação entre os tecnologistas nacionais, sendo traduzido e divulgado pela ABCP, e também é largamente empregado no Brasil e toda a América Latina.

Em maio de 1954, em Londres, a “Cement and Concrete Association-C&CA” promove o “Symposium on Mix Design and Quality Control of Concrete”, resgatando a importância dos ingleses na contribuição ao desenvolvimento da dosagem dos concretos (Andrew, 1954). Destaca-se o trabalho de McIntosh (1954) sobre os princípios básicos da dosagem dos concretos.

Esse evento alcança absoluto sucesso e pode ser considerado como uma das maiores ao desenvolvimento da tecnologia do concreto, principalmente com relação aos parâmetros de dosagem e controle da qualidade. O trabalho de Sparkes (1954), que apresenta uma revisão do estado de conhecimento da época sobre o controle da qualidade do concreto, recupera contribuições fundamentais de Stanton Walker (1944) e Morgan (1944) sobre os critérios de dosagem do concreto com base na resistência à compressão especificada no projeto estrutural. Os ingleses tiveram, nesse evento, o mérito de vislumbrar a estreita relação que há entre os parâmetros de dosagem e os de controle de qualidade do

concreto.

Em 1958, na Alemanha, Kurt Waltz publica as recomendações para dosagem e fabricação de concreto com propriedades específicas. Introduz uma proposta para curvas de referência da correlação da resistência à compressão dos concretos com a resistência dos cimentos, que será adotada, posteriormente, por volta de 1970, nas normas alemãs “DIN 1945 – Dimensionamento e Execução das Construções de Concreto e Concreto Armado” e “DIN 1164-Cimentos”, sendo conhecidas atualmente como curvas de Waltz (apud Coutinho, 1973).

Em 1955, Murdock & Brook (1979), apresentam um modelo para a trabalhabilidade dos concretos frescos que passa a ser mundialmente conhecido.

$$\text{modelo de Murdock: } FC = 0,74 \bullet \left\{ \frac{10 \bullet \left[ \frac{a}{c} - \left( \frac{a}{c} \right)_{pn} \right]}{f_s \bullet f_A \bullet \left( \frac{\gamma_c}{\gamma_m} \bullet m - 2 \right)} + 0,67 \right\}$$

onde:  $FC$  = fator de compactação é o método de ensaio de consistência do concreto fresco utilizado frequentemente na Inglaterra, *BS 1881-103 “Testing Concrete. Method for Determination of Compaction Factor” British Standards Institution BSI*, e que tem correlação forte com o abatimento (“slump”).  $FC$  máximo possível é 1 e corresponde a concretos fluidos com abatimento > 200mm;

$\left( \frac{a}{c} \right)_{pn}$  = relação água/cimento da pasta de consistência normal (0,23 a 0,31);

$f_s$  = índice de superfície dos agregados;

$f_A$  = índice de angulosidade dos agregados (1,0 a 3,0);

$m$  = relação agregados/cimento em massa seca;

Em 1948, os franceses Robert L’Hermitte e Tournon apresentam seus primeiros estudos sobre a vibração e reologia do concreto fresco, levados a cabo no “Centre d’Études et de Recherches de l’Industrie des Liants Hydrauliques – CERILH”, dando início a uma nova forma de focar os estudos de dosagem dos concretos.

Suas propostas são aceitas e desenvolvidas a partir do final da década de 60 por Bombled (1973) na França, Tattersall (1978) em Londres, e Tattersall e Banfill (1983) que acreditam ser conveniente caracterizar o concreto fresco com os parâmetros dos modelos reológicos clássicos de Bingham.

O estudo da reologia dos concretos frescos, apesar de iniciados há mais de 50 anos, ainda não convenceram o meio técnico de sua real utilidade. Estudos mais recentes de Koehler et al. (2003) apontam para o desenvolvimento de novos reômetros, mais potentes e mais modernos, que com o auxílio de computadores para processar simulações e com a colaboração científica de outras disciplinas, por exemplo da física e da química, esperam que a reologia venha a demonstrar em breve uma efetiva contribuição ao desenvolvimento dos concretos e da construção civil deixando de ficar restrita a estudos especulativos de laboratório.

Admite-se que a teoria atual mais abrangente das técnicas de dosagem foi a proposta por Trelval Powers em 1966. A partir de estudos no concreto fresco e no concreto endurecido, é possível, com base nos modelos de Powers (1968), representar o comportamento resistente integral do concreto, tendo em conta as envoltórias de Coulomb e Mohr. Powers deduziu teoricamente que a resistência à compressão – à paridade de outras condições – depende somente da relação gel/espaço da pasta.

modelo de Powers:

$$f_c = k_1 \cdot \left[ \frac{0,68 \cdot \alpha}{0,32 \cdot \alpha + \frac{a}{c}} \right]^{k_2}$$

onde:  $f_c$  = resistência à compressão, em MPa

$\alpha$  = grau de hidratação do cimento (varia de 0 para concreto recém-misturado a 1 para condições ideais de cura após tempo infinito)

$k_5$  = constante que depende dos materiais (em geral da ordem de 120)

$k_6$  = constante que depende dos materiais (em geral da ordem de 3)

$a/c$  = relação água/cimento em massa (caso houver vazios devido ao ar aprisionado em valor superior a 1% em volume, estes devem ser somados em volume à massa de água)

Analisando esta equação, pode-se observar que para alterar a resistência à compressão deve-se atuar sobre o grau de hidratação ou sobre a relação água/cimento.

A alteração do grau de hidratação é conseguida através de:

- mudança do tipo de cimento (composição química ou características físicas);
- alteração nas condições de cura (idade, pressão, umidade e temperatura);
- emprego de aditivos aceleradores ou retardadores.

A alteração da relação água/cimento pode ser alcançada através de:

- mudança do tipo de cimento (finura ou composição química);
- mudança dos agregados (textura, dimensão, granulometria, absorção d'água);
- emprego de aditivos redutores de água ou superplastificantes.

Em 2002, Kosmatka et al. da Portland Cement Association PCA/USA, publica a 14ª edição do boletim de engenharia n.1, denominado "Design and Control of Concrete Mixtures" que apresenta uma versão atualizada do primeiro boletim da PCA publicado na década de 20. No capítulo 9 desse boletim trata em detalhes dos métodos de dosagem discorrendo sobre quatro alternativas diferentes, sendo duas delas bem similares à do ACI 211. Trata-se de um documento interessante e abrangente sobre tecnologia do concreto.

### 15.3 A Evolução dos Estudos de Dosagem no Brasil

O início da tecnologia no Brasil está relacionado com a instalação – pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo EPUSP – do Gabinete de Resistências dos Materiais, em 1899. Em 1926, passou a denominar-se Laboratório de Ensaios de Materiais e, a partir de 1934, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

A partir da década de 20 há um grande desenvolvimento da engenharia nacional e as obras de concreto armado passam a assumir cada vez maior importância. Inicia-se a produção brasileira de cimentos Portland induzindo o maior estudo dos conglomerados. O eng. Ary Frederico Torres, então diretor do laboratório de Ensaios de Materiais, publica em 1927 o Boletim EPUSP n.1 intitulado "Dosagem dos Concretos" que constitui uma obra histórica de confirmação dos modelos propostos por Ferét e Abrams.

Em dezembro de 1931, o eng. Rômulo de Lemos Romano, publica o Boletim n. 5 do laboratório de Materiais da EPUSP, no qual apresenta um balanço da situação dos

cimentos existentes no mercado. Em 1933, junto com Ary Torres, propõe, no Boletim n.11, um método para o ensaio mecânico dos cimentos que dará origem mais tarde, em 1940 com a fundação da Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, ao método brasileiro de ensaio de cimento MB-1 (apud Vasconcelos, 1985).

Nessa época, no Rio de Janeiro, o eng. Alberto Pastor de Oliveira, Instituto Nacional de Tecnologia INT, publica em 1939 a primeira aplicação dos conceitos estatísticos no controle da resistência à compressão do concreto, analisando 600 corpos-de-prova de uma mesma obra. Na época fazia parte da equipe do INT o eng. Fernando Luiz Lobo Carneiro que publica em 1937, o seu método de dosagem dos concretos plásticos, ampliado em 1943 para concretos de consistência seca.

No ano de 1944, por ocasião do Simpósio de Estruturas realizado no Rio de Janeiro, promovido pelo INT, Lobo Carneiro propõe a adoção de resistência de dosagem com base a valores mínimos representados pelo quantil de 2.5%. Essa idéia são avançadíssimas para a época, uma vez que, internacionalmente, apenas poucos meses antes, haviam sido publicados os trabalhos clássicos de Morgan e Stanton Walker. Esses pesquisadores propunham, no entanto a adoção de uma resistência mínima que fosse ultrapassada em 99% das vezes, ou seja, correspondente ao quantil de 1%.

A história demonstrou que Lobo Carneiro estava mais próximo do consenso pois, atualmente, adota-se, a nível mundial, a resistência mínima (característica) como aquela que corresponde ao quantil de 5%.

Ruy Aguiar da Silva Leme da EPUSP, em 1953, e Francisco de Assis Basílio da ABCP, em 1954, reforçam uma vez mais a importância da consideração da variabilidade da resistência do concreto nos critérios de dosagem e defendem a adoção do coeficiente de variação como parâmetro de referência de rigor da produção de concreto. Suas idéias prevaleceram na elaboração do texto na NB-1/60 – Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado (ABNT).

No campo das aplicações práticas destacam-se as cartilhas e calculadoras de traços de concreto elaborados por Abílio de Azevedo Caldas Branco. Segundo Vasconcelos (1985), esse engenheiro foi quem mais contribuiu, no Brasil, para levar os métodos de dosagem ao alcance dos mestres-de-obra e até aos engenheiros pouco dedicados ao estudo teórico. Evidentemente tratava-se da primeira aproximação do traço ótimo, em geral com excesso de ligante e anti-econômico.

Em 1951, o prof. e eng. Eládio Petrucci, da Seção de Aglomerantes e Concretos do ITERS, apresenta o método de dosagem por ele desenvolvido. Esse método diferia dos existentes, por ser mais simples desviando-se do enquadramento da granulometria dos agregados a curvas ou faixas preestabelecidas e por abandonar a composição total com módulo de finura compreendido entre limites estreitos e ótimos. Petrucci enfatizava no seu método a composição que conduzisse à máxima trabalhabilidade dos concretos, observada com base a experimentos em laboratório e obra.

Eládio Petrucci transfere-se para São Paulo e assume a disciplina de Materiais de Construção do Curso de Engenharia Civil da EPUSP (Petrucci, 1965). A partir da publicação da primeira versão de seu livro “Concreto de Cimento Portland” patrocinado pela ABCP, em 1963, consolida a tecnologia do concreto no Brasil sendo, a partir de então, respeitado e conhecido em todo o Brasil e América Latina. Seu método de dosagem é adotado com pequenos ajustes pelo IPT, pela EPUSP e outros centros de pesquisa que passam a difundí-lo nacionalmente e a empregá-lo nos estudos correntes de dosagem.

Anos antes, em 1956 é publicado, pela Associação Brasileira de Cimento Portland-ABCP, o método para dosagem racional do concreto elaborado por Ary Torres e Carlos Eduardo Rosman do IPT. Nessa proposta já são incorporados os conhecimentos da estatística para a adoção da resistência média de dosagem.

Por ocasião da reunião do Grupo Latino-Americano da “Reunión Internacionale de Laboratoires d’Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions”-GLA-RILEM, ocorrida em Santiago do Chile em novembro de 1965, o eng. Francisco de Assis Basílio da ABCP apresenta um resumo das práticas correntes de dosagem do concreto no Brasil, destacando as adotadas e difundidas pelo INT, IPT, ITERS e ABCP. Ressaltava que os métodos se destinavam a dosagem dos concretos para as obras correntes de engenharia, uma vez que os concretos pesados, concretos leves, concretos massa e concretos de consistência seca requeriam métodos específicos, ou no mínimo, uma adaptação dos citados.

Gilberto Molinari, do IPT, demonstrando apurada visão tecnológica, funda junto com Basílio, Petrucci, Bauer, Kuperman, Prizskulnik e outros, em 1972, o Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON que passa a representar a partir de então o mais expressivo canal de divulgação dos trabalhos sobre concreto no país.

São inúmeras as publicações de interesse no extenso acervo do IBRACON, cabendo ressaltar as comunicações de Hernani Sávio Sobral (1977) sobre a generalização das técnicas de dosagem efetuada a partir do método de Powers; a de Wander Miranda de Camargo (1977), também dentro da mesma linha de pensamento de obtenção de um modelo único que possa ser aplicado para representar indistintamente o comportamento do concreto fresco e endurecido em qualquer situação; e a de Simão Prizskulnik (1977) que por primeira vez no país apresenta um trabalho sobre as propriedades reológicas das pastas, argamassas e concretos.

Cabe ainda registrar o grande desenvolvimento havido a partir de 1965 com o início da construção das grandes barragens brasileiras, no domínio da tecnologia do concreto massa. O eng. Walton Pacelli de Andrade, junto com outros pesquisadores do Laboratório de Furnas, podem ser considerados os pioneiros no Brasil ao apresentarem, em julho de 1981, um método de dosagem para concretos massa.

Em 1984 a ABCP, publica o estudo técnico de autoria de Publio Penna Firme Rodrigues, denominado Parâmetros de Dosagem do Concreto, que representa uma versão adaptada, atualizada, moderna, simples e objetiva do método de dosagem americano, descrito no ACI 211.1.

Em 1986, Carlos Tango do IPT publica aplicações do método de dosagem na época adotado no Instituto, e finalmente em 1992, Helene e Terzian, publicam o “Manual de Dosagem e Controle do Concreto” que reúne os resultados das pesquisas de mestrado e de doutorado do prof. Paulo Helene levadas a cabo na EPUSP e no IPT por vários anos, com a larga experiência de campo e de laboratório do eng. Paulo Terzian. Esses 3 pesquisadores trabalharam juntos por cerca de 10 anos no IPT e acumularam grande interesse no tema. O manual é muito bem aceito pela academia que o adota nas aulas de graduação e pós-graduação e também pelo meio técnico, tendo sido reimpresso continuamente nos últimos 12 anos, apesar de já necessitar de atualização.

Para sintetizar cronologicamente a evolução nacional e internacional dos métodos de dosagem, apresenta-se na Fig. 15.3.1 um resumo do exposto.

Período	Pesquisador	Contribuição
---------	-------------	--------------

até 1891 “princípios da tecnologia de cimentos, argamassas e concretos”	Joseph Aspdin, Louis Vicat, Rondelet, Préadeau,	1824 1828 1830 1881	<ul style="list-style-type: none"> <li>• patenteia processo de fabricação de cimento Portland</li> <li>• importância da granulometria da areia; inconveniente do excesso de água</li> <li>• finura da areia é fundamental</li> <li>• fundamentos da granulometria descontínua</li> </ul>
1892 a 1951  “Fundamentos dos métodos clássicos de dosagem”	René Féret, Fuller, Duff Abrams, Bolomey, Ary Torres, Du Sablon, Inge Lyse, Lobo Carneiro, Blanks, Vallete, Petrucci,	1892 1901 1918 1925 1927 1927 1932 1937 1944 1949 1951	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lei fundamental de correlação entre resistência e compacidade</li> <li>• curva de referência (parábola) para granulometria ideal</li> <li>• lei universalmente aceita de correlação entre resistência e relação a/c; módulo de finura; cone de abatimento para medida de consistência</li> <li>• melhora a curva de referência de Fuller</li> <li>• confirma modelos de Féret e Abrams e propõe método do módulo de finura no Brasil</li> <li>• princípios da granulometria descontínua</li> <li>• demonstra a importância da água por unidade de volume na definição da consistência do concreto</li> <li>• métodos de dosagem do INT com base nas curvas de Bolomey</li> <li>• texto consensual do ACI (na época 613, atual 211)</li> <li>• método de dosagem com base na granulometria descontínua e água de molhagem</li> <li>• método de dosagem ITERS</li> </ul>
1936 a 1978  “Consideração dos parâmetros estatísticos”	Paulo Sá, Oliveira, Walker, Morgan, Lobo Carneiro, Leme, C&CA, Basílio, ABNT, NB-1, CEB, CIB, FIP, Rilem, ABNT, NBR-6118, ABNT, NBR-12655,	1936 1939 1944 1944 1944 1953 1954 1954 1960 1972 1978 2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aplicação da estatística às características das madeiras</li> <li>• aplicação da estatística ao controle da resistência do concreto</li> <li>• aplicação dos conceitos da probabilidade à dosagem do concreto (1%)</li> <li>• dosagem do concreto com base a resistências mínimas (1%)</li> <li>• dosagem do concreto com base a resistências mínimas (2,5 %)</li> <li>• conceito moderno de coeficiente de segurança</li> <li>• simpósio sobre dosagem e controle da qualidade do concreto</li> <li>• influência do coeficiente de variação na dosagem</li> <li>• adota exclusivamente o coeficiente de variação como parâmetro característico da produção de concreto</li> <li>• privilegia o desvio-padrão como parâmetro característico da produção de concreto.</li> <li>• adota exclusivamente o desvio-padrão como parâmetro característico da produção de concreto.</li> <li>• adota os dois parâmetros como característicos da produção de concreto.</li> </ul>
1950 a 1978  “Teorias abrangentes”	L’Hermite, Tattersall, Bombed, Powers, Sobral, Camargo, Prizskulnik, Tattersall,	1950 1957 1968 1968 1977 1977 1977 1978	<ul style="list-style-type: none"> <li>• introduz o modelo reológico para representar o comportamento do concreto fresco</li> <li>• aprofunda os estudos de reologia</li> <li>• aprofunda os estudos de reologia do concreto fresco correlacionando-o ao concreto endurecido</li> <li>• propõe um modelo abrangente de comportamento do concreto</li> <li>• introduz o modelo de Powers no Brasil</li> <li>• propõe uma representação do comportamento resistente integral do concreto</li> <li>• introduz os modelos reológicos no Brasil</li> <li>• publica um resumo das teorias sobre reologia e trabalhabilidade dos concretos frescos</li> </ul>
1958 a 2005  “Aperfeiçoamento e simplificações dos parâmetros de dosagem”	Kurt Walz, Murdock, Prizskulnik & Kirilos Fusco, Rodrigues, Tango, Helene & Terzian,	1958 1960 1974 1979 1990 1986 1992	<ul style="list-style-type: none"> <li>• introduz a curva de referência da resistência do cimento com a relação a/c, que é posteriormente adotada em vários países</li> <li>• apresenta uma fórmula simplificada de representação dos fatores que influem na trabalhabilidade</li> <li>• introduzem o diagrama de dosagem dos concretos nos estudos de dosagem</li> <li>• ressalta a importância da variabilidade da resistência do cimento sobre a resistência do concreto</li> <li>• apresenta a versão nacional do método de dosagem do ACI incluindo parâmetros obtidos das correlações atualizadas</li> <li>• publica aplicações do método IPT de dosagem</li> <li>• publicam manual sobre dosagem e controle dos concretos no Brasil</li> </ul>

Figura 15.3.1 Síntese da evolução dos métodos de dosagem dos concretos.

## 15.4 Procedimentos para Dosagem dos Concretos Estruturais

### Conceituação

Como apresentado, vários são os métodos de dosagem disponíveis na literatura especializada. Considera-se, no entanto que o método proposto inicialmente por Eládio Petrucci (1965) e posteriormente modificado com contribuições de pesquisadores do IPT e da EPUSP, é um dos métodos mais versáteis, simples e capaz de fornecer uma resposta profícua aos requisitos exigidos de um concreto, tanto atendendo as exigências técnicas dos projetistas estruturais, quanto as econômicas e de produtividade dos construtores e usuários dos concretos.

O método que poderia chamar-se ITERS-IPT-EPUSP, é um método que busca obter o comportamento mecânico e reológico do concreto de forma unívoca com os materiais escolhidos. É um método que pode classificar-se como semi-experimental onde há uma parte experimental de laboratório precedida por uma parte analítica de cálculo baseada em leis de comportamento dos concretos.

O método considera a relação a/c como o parâmetro mais importante para o concreto estrutural. Definidos os materiais e essa relação a/c, a resistência e durabilidade do concreto passam a ser únicas, sempre que seja mantida a mesma trabalhabilidade da mistura.

São adotadas como leis de comportamento, os seguintes modelos que governam a interação das principais variáveis em jogo:

➤ a Lei de Abrams (1918): 
$$f_c = \frac{k_1}{k_2^{a/c}}$$

➤ a Lei de Lyse (1932): 
$$m = k_3 + k_4 \cdot \frac{a}{c}$$

➤ a Lei de Priszkulnik & Kirilos (1974): 
$$C = \frac{1000}{k_5 + k_6 \cdot m}$$

onde:  $f_c$  = resistência à compressão do concreto a  $j$  dias de idade, em MPa;

$m$  = relação em massa seca de agregados/cimento, em kg/kg;

$a/c$  = relação em massa de água/cimento, em kg/kg;

$C$  = consumo de cimento por  $m^3$  de concreto adensado em  $kg/m^3$ ;

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$  e  $k_6$  são constantes particulares de cada conjunto de mesmos materiais,

Este método não exige conhecimentos prévios sobre os agregados, apesar que desde o ponto de vista da durabilidade sempre é conveniente contar com informação de ensaios prévios de laboratório tipo: reação álcali-agregado, presença de sulfatos, de materias carbonosas, presença de pó e de argila, granulometria, e outros.

É um método que combina conceitos teóricos de comportamento do concreto de uma forma analítica desenvolvida em gabinete mas continua requerendo um estudo experimental em laboratório. Esse experimento, neste caso, é de importância fundamental, pois ao fixar o mesmo abatimento para diferentes proporções de teor de

argamassa seca ( $\alpha$ ) pretende encontrar a mínima quantidade de água para obter a trabalhabilidade especificada. Desta forma otimiza a proporção entre agregados miúdos e graúdos com bases experimentais nas quais está implícitamente incluída a interferência do cimento e de outros finos utilizados.

Isso lhe confere uma vantagem em relação a outros métodos que apenas tratam de otimizar, por separado, por um lado a mistura de agregado miúdo/agregado graúdo com bases em curvas granulométricas ideais, e por outro a pasta de cimento, adições e aditivos, esperando que assim isoladamente otimizadas conduzirão a um concreto ótimo ao serem juntadas na betoneira. O método do ACI 211 e outros que se utilizam destes princípios, não consideram a grande influência da granulometria, finura e características do cimento e suas adições no comportamento final do concreto fresco e endurecido.

Considerar a participação dos finos torna-se ainda mais interessante quando se considera que os cimentos atuais contêm muitas adições (escórias, pozolanas, calcário, sílica ativa, metacaulím e outras) que podem ter grande influência na otimização final das proporções dos diferentes materiais constitutivos da mistura a ser escolhida.

Em resumo o método entende que a melhor proporção entre os agregados disponíveis é aquela que consome a menor quantidade de água para obter um certo abatimento requerido, e faz isso considerando a interferência do aglomerante (cimento + adições) na proporção total de materiais.

Os limites de aplicação conhecida deste método são:

- Resistência à compressão  $5\text{MPa} \leq f_c \leq 250\text{MPa}$
- Relação a/c  $0,15 \leq a/c \leq 1,50$
- Abatimento  $0\text{mm} \leq \text{abatimento} \leq 250\text{mm}$
- Dimensão máxima do agregado  $4,8\text{mm} \leq D_{\text{max}} \leq 100\text{mm}$
- Teor de argamassa seca  $30\% < \alpha < 90\%$
- Fator água/ materiais secos  $6\% < H < 11\%$
- Módulo de finura dos agregados qualquer
- Distribuição granulométrica dos agregados qualquer
- Massa específica dos agregados  $> 1500 \text{ kg/m}^3$

O método adota ainda como modelos de comportamento:

- 1) Teor de argamassa seca  $\alpha = \frac{1+a}{1+m}$
- 2) Relação água/materiais secos  $H = \frac{a/c}{(1+m)}$
- 3) Consumo de cimento/ $\text{m}^3$   $C = \frac{\gamma}{1+a+p+\frac{a}{c}}$

onde:

- C : consumo de cimento por  $\text{m}^3$  de concreto compactado em  $\text{kg/m}^3$
- $\gamma$  : massa específica do concreto, medida em  $\text{kg/m}^3$
- ar : teor de ar incorporado ou aprisionado por  $\text{m}^3$  em  $\text{dm}^3/\text{m}^3$
- a/c: relação água/cimento em massa em  $\text{kg/kg}$
- a : relação agregado miúdo seco/cimento em massa em  $\text{kg/kg}$
- m = a + p : relação agregados secos/cimento em massa em  $\text{kg/kg}$

$p$  : relação agregado graúdo seco/cimento em massa em kg/kg

$\alpha$  : teor de argamassa seca na mistura seca, deve ser constante para uma determinada família para assegurar a mesma coesão do concreto fresco, em kg/kg

$H$  : relação água / materiais secos, deve ser constante para uma determinada família para assegurar o mesmo abatimento, em kg/kg

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$  y  $k_6$  : constantes que dependem exclusivamente do processo, ou seja, dos:

- dos materiais (cimento, agregados, adições, aditivos e fibras utilizados)
- da consistência do concreto fresco (abatimento)
- dos equipamentos (betoneira)
- da mão-de-obra
- das operações de ensaio (moldagem, cura, capeamento, ensaio)

### Construção do Diagrama de Dosagem

Com os resultados obtidos e com os processados deve ser construído o chamado “Diagrama de Dosagem” introduzido por José Pedro Kirilos (Prizskulnik & Kirilos, 1974), que corresponde ao modelo de comportamento das misturas do estudo em andamento, e que facilita sobre maneira o entendimento do comportamento dessa família de concretos de mesmo abatimento más de propriedades muito diferentes depois de endurecidos, conforme se apresenta na Fig, 15.4.1.

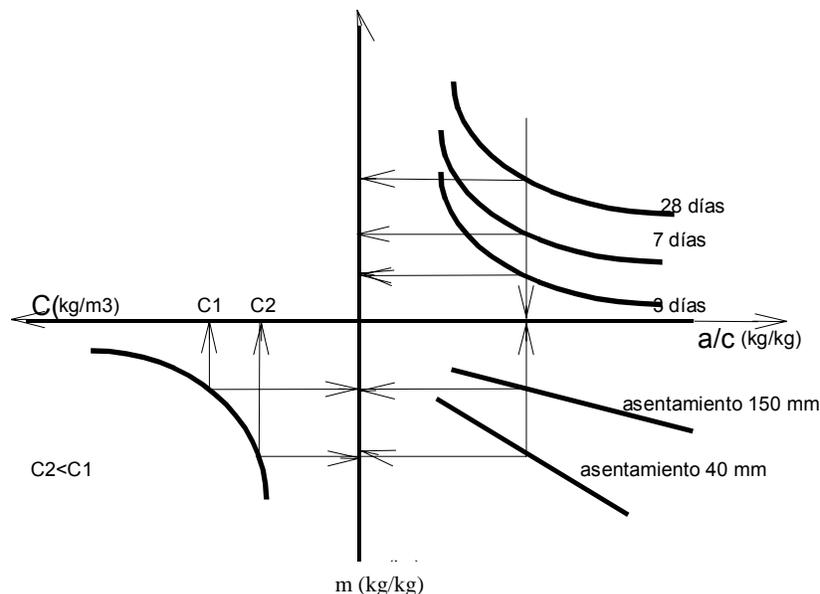


Figura 15.4.1 Diagrama de dosagem dos concretos de cimento Portland  
“Modelo de Comportamento do Concreto”

### Principais passos do método de dosagem

Os passos em detalhes do método estão indicados na Fig. 15.4.2.

Escolher dimensão máxima característica do agregado graúdo compatível com os espaços disponíveis entre armaduras e fôrmas do projeto da estrutura (depende do desenho estrutural e da obra)

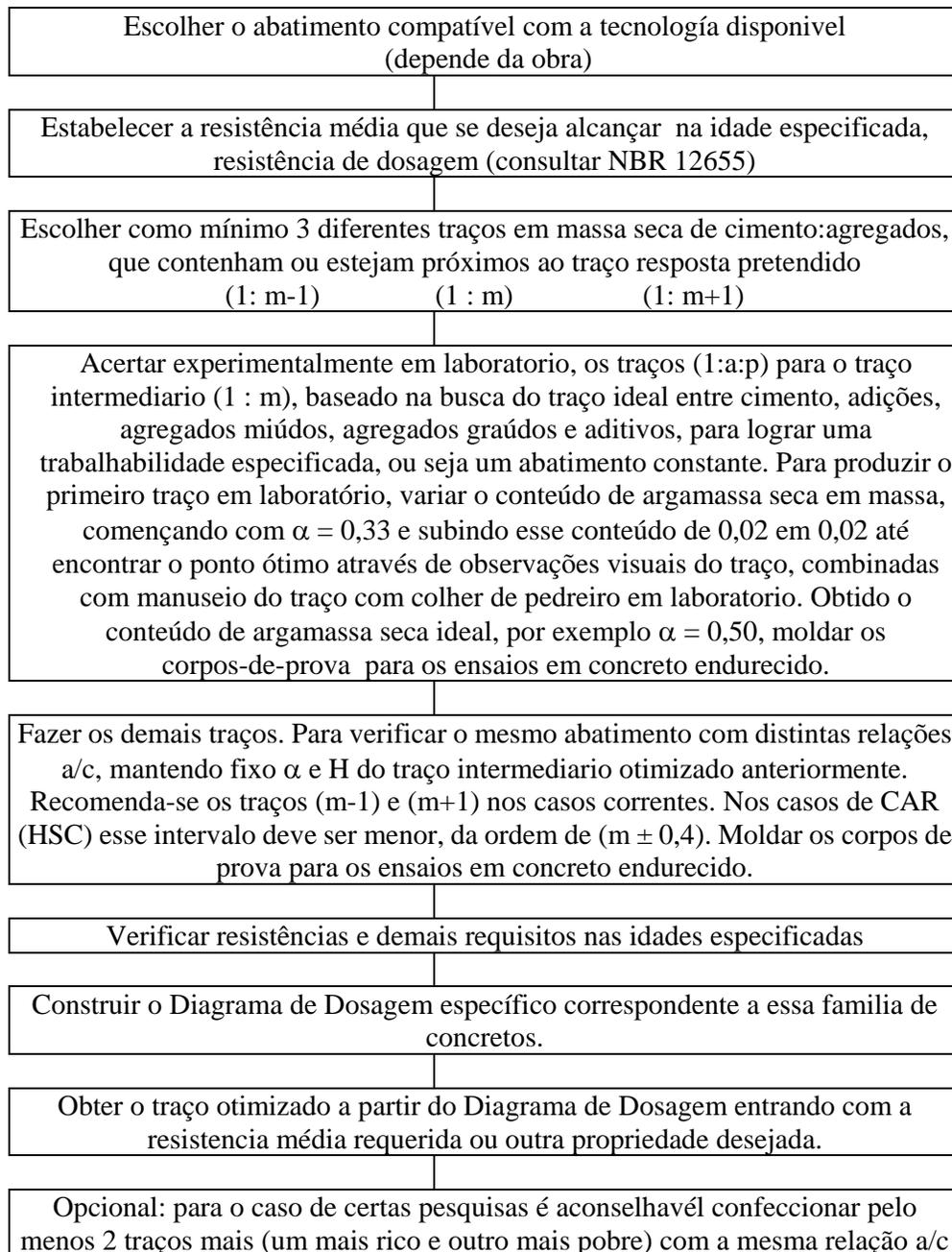


Figura 15.4.2 Diagrama de fluxo do Método IBRACON

Para este método o traço resposta deve ser obtido de preferência, por interpolação, ou eventualmente pela extrapolação, para um determinado abatimento atendendo à resistência requerida ou à propriedade requerida. Um dos pontos fortes deste método de dosagem que trabalha com leis universais de comportamento do concreto é que desde que seja utilizado corretamente e com bom senso, os bons resultados estarão sempre assegurados.

### Sequência de atividades para obtenção do traço básico

Uma sequência bem detalhada, ilustrada com fotos, com formulários e exemplos de uma correta utilização deste método de dosagem pode ser encontrada no Manual de autoria

de Helene e Terzian (1992) que tem 350 páginas e é considerada a primeira publicação detalhada, didática e completa sobre o método aqui exposto.

Para fins deste capítulo, recomenda-se a seguinte seqüência de atividades a serem implementadas no laboratório para bem conduzir a parte experimental do método de dosagem apresentado:

- 1) Imprimir a betoneira com uma porção de argamassa (> 20kg) com o traço 1:2, a/c < 0,6. Deixar o material excedente cair livremente, quando a betoneira estiver com a abertura (boca) para baixo e em movimento;
- 2) Após pesar e lançar os primeiros materiais na betoneira, deve-se misturá-los durante 5 minutos, com uma parada intermediária para limpeza das pás das betoneiras. Ao final, verificar se é possível efetuar o abatimento do tronco de cone, ou seja, se há coesão e plasticidade adequada;
- 3) Para a introdução dos materiais de modo individual dentro da betoneira, deve-se obedecer a seguinte ordem preferencial: água (80%); agregado graúdo (100%); fibra de aço (100%); cimento (100%); adições (100%); aditivo plastificante (100%); agregado miúdo (100%); misturar por 5 minutos. Claro está que as fibras, as adições e os aditivos são dispensáveis na maioria dos casos e basta não incluí-los na betoneira, mas a seqüência é sempre a mesma;
- 4) A seguir, quando for o caso, adicionar as fibras de polipropileno e o superplastificante de terceira geração (policarboxalato) e misturar por mais 20 minutos. Em muitos casos esta operação não é necessária pois não se estará utilizando fibras nem policarboxalatos;
- 5) Adicionar água aos poucos observando e controlando até obter o abatimento requerido;
- 6) Para a definição do teor ideal de argamassa deve se realizar o procedimento baseado em observações práticas e descrito a seguir, para cada teor de argamassa:
  - a) com a betoneira desligada, retirar todo material aderido nas pás e superfície interna e misturar novamente;
  - b) passar a colher de pedreiro sobre a superfície do concreto fresco, introduzir dentro da massa e levantar no sentido vertical. Verificar se a superfície exposta está com vazios, indicando falta de argamassa;
  - c) introduzir novamente a colher de pedreiro no concreto e retirar uma parte do mesmo, levantando-o até a região superior da cuba da betoneira. Com o material nesta posição, verificar se há desprendimento de agregado graúdo da massa, o que indica falta de argamassa na mistura. Após esta observação, soltar a porção de concreto que está sobre a colher e verificar se a mesma cai de modo coeso e homogêneo, o que indica teor de argamassa adequado;
  - d) após o ensaio de abatimento, estando ainda o concreto com o formato de tronco de cone, deve-se bater suavemente na lateral inferior do mesmo, com auxílio da haste de socamento, com o objetivo de verificar sua queda. Se a mesma se realiza de modo homogêneo e coeso, sem desprendimento de porções, indica que o concreto está com teor de argamassa considerado adequado;
  - e) na mesma amostra em que foi feito o ensaio de abatimento, deve ser observado se a superfície lateral do concreto está compacta, sem apresentar vazios;
  - f) outra observação a ser realizada é se ao redor da base de concreto com formato de tronco de cone aparece uma camada de água oriunda da mistura.

Esta ocorrência evidencia que há tendência de exsudação de água nesta mistura por falta de finos, que pode ser corrigida com mudança na granulometria da areia, adição de adições ou de mais cimento;

- g) o teor final de argamassa seca depende ainda de um fator externo que é a possibilidade de perda de argamassa no processo de transporte e lançamento (principalmente a quantidade retida na fôrma, na armadura, na tubulação da bomba, ou quando se utiliza de bica de madeira para o lançamento). Este valor em processos usuais pode ser estimado entre 2% a 4% de “perdas”;
- h) realizar uma nova mistura com o traço 1:5,0, com o teor de argamassa definitivo e determinar todas as características do concreto fresco;
  - relação água/cimento, necessária para obter a consistência desejada;
  - consumo de cimento por metro cúbico de concreto;
  - consumo de água por metro cúbico de concreto;
  - massa específica do concreto fresco;
  - abatimento do tronco de cone;
  - teor de aprisionadoe calcular as constantes dessa família;
  - teor de argamassa seca ( $\alpha$ ) em kg/kg;
  - relação água/materiais secos (H) em kg/kg

### Traços auxiliares

Mantendo constante esse teor de argamassa ( $\alpha$ ) e essa relação água/materiais secos (H) calcular analiticamente as proporções para, pelo menos, mais dois traços, um mais rico tipo (1: m-1) e um mais pobre tipo (1: m+1). Produzir esses traços em laboratório, com os mesmos materiais, mão-de-obra e equipamentos e se possível mesmas condições ambientais. Sempre colocar somente 80% da água e “dosar” os 20% restantes para “ajustar” o abatimento (trabalhabilidade) desejado. Medir no final a quantidade de água efetivamente necessária para conseguir o “slump” requerido. Para esses traços moldar e ensaiar corpos-de-prova assim como fazer todas as determinações no concreto fresco.

### Traço final para obra

Com os dados e resultados obtidos no estudo experimental (mínimo 3 traços da mesma família e com mesmo abatimento), deve-se construir as correlações entre traço de concreto e relação água/cimento,  $f_c = \text{função}(a/c)$ ; consumo de cimento e traço,  $C = \text{função}(m)$ , e relação total de agregados secos/cimento,  $m = \text{função}(a/c)$  utilizando as leis de comportamento adotadas neste método.

A construção dessas correlações dará origem ao chamado Diagrama de Dosagem, que é válido somente para o mesmo tipo, classe de cimento e empresa fornecedora (marca). Com esse diagrama é possível obter vários concretos com propriedades bem distintas quando endurecido, porém pertencentes sempre a uma mesma família.

### Avaliação das operações de ensaio

As operações de ensaio podem aumentar a variabilidade do concreto e obrigar à elevação da resistência média de dosagem com conseqüente aumento do custo do concreto.

O desvio-padrão do processo de produção e ensaio, mais conhecido por desvio-padrão do concreto  $s_c$ , é resultado de:

$$s_c^2 = s_{c,ef}^2 + s_e^2$$

onde:

$s_c$  = desvio-padrão do processo de produção e ensaio do concreto em MPa (geralmente adota-se  $s_d = s_c$ )

$s_{c,ef}$  = desvio-padrão efetivo ou real do processo de produção do concreto em MPa

$s_e$  = desvio-padrão das operações de ensaio em MPa

sendo  $v_e = s_e/f_{cm}$  definido como coeficiente de variação das operações de ensaio, em porcentagem

O coeficiente de variação de ensaio  $v_e$  deve estar dentro dos limites indicados na Tabela 15.4.1, que definem a eficiência das operações de ensaio (Fusco, 1979).

Tabela 15.4.1 Coeficiente de variação das operações de ensaio.

operações de ensaio	excelentes	eficientes	razoáveis	deficientes
no campo	< 3%	3% a 4%	4% a 5%	> 5%
no laboratório	< 2%	2% a 3%	3% a 4%	> 4%

**Cálculo de  $s_e$  e  $v_e$**

$$s_e = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{1,128 \cdot n} = \frac{\sum_{i=1}^n (f_{c1} - f_{c2})}{1,128 \cdot n} \quad e, \quad v_e = \frac{s_e}{f_{cm}}$$

onde:

$A_i$  = diferença (amplitude) entre o maior e o menor resultado obtido dos corpos-de-prova irmãos que representam um mesmo exemplar

$n$  = número de exemplares considerados

$f_{cm}$  = média dos 2n corpos-de-prova ( $n > 9$ )

$f_{c1}, f_{c2}$  = resultados de cada corpo-de-prova de um mesmo exemplar, irmãos

1,128 = constante da teoria das probabilidades referida a 2cps irmãos, pois no caso de 3 ou mais, muda o valor da constante

## 15.5 Exemplo de uma Sequência de Dosagem

### 15.5.1 Exigências do projeto estrutural

- Resistência característica do concreto:  $f_{ck} \geq 40\text{MPa}$ .
- A estrutura está bem projetada e entre armaduras há espaços livres de no mínimo 2cm;
  - O cimento a ser utilizado é o CP III 40;
  - O adensamento do concreto é mecânico, com o uso de vibrador de imersão;
  - O lançamento do concreto é do tipo bombeado

### 15.5.2 Sequência geral do estudo

Para determinar o traço de concreto adequado à execução desta estrutura, deve-se:

- Definir a resistência à compressão média de dosagem  $f_{cp}$ , a trabalhabilidade requerida (slump), a durabilidade requerida (a/c máxima) e a dimensão máxima do agregado  $D_{max}$ 
  - A resistência média de dosagem deve ser calculada de acordo com a NBR 12655, sendo sempre bem superior à resistência característica do concreto à compressão especificada no projeto estrutural  $f_{cp} > f_{ck}$ ;
  - O slump deve ser de 12cm para ser bombeável e coeso;
  - A durabilidade deve atender à NBR 6118 e NBR 12655 e neste caso  $a/c < 0,50$

4. A dimensão máxima característica do agregado graúdo deve ser de 19mm ou seja brita 1
- b) Adotar um traço para a primeira mistura  
Adota-se aleatoriamente um traço inicial, porém sempre utilizando o bom senso e considerando que esse traço deve resultar na resposta ou muito próximo do traço resposta. Neste caso com essa a/c, esse cimento e esse slump, deve-se adotar  $m = 4$
- c) Produzir esse traço no laboratório e medir seus parâmetros principais que serão os parâmetros dessa família. Começar com teor de argamassa baixo, da ordem de 35% e ir observando o concreto até que esteja visual e tatilmente bem, enquanto vai subindo o teor de argamassa no traço de mesma proporção final 1 :  $m (=4)$ . Suponhamos que neste caso resultou teor de argamassa seca ( $\alpha$ ) de 50% e relação água/materiais secos de 8%. Portanto o traço final resultou 1: 1,5 ; 2,5 ; a/c = 0,40 para atender slump de 12cm sem aditivo. Moldar cps para ensaios de concreto endurecido
- d) Realizar mais duas, pelo menos, misturas experimentais com os traços 1:3,5 e 1:4,5 com o mesmo  $\alpha$  (50%) e com o mesmo H (8%). Portanto serão: o mais rico 1 : 1,25 ; 2,25 a/c = 0,36 e o mais pobre 1 : 1,75 : 2,75 a/c = 0,44. Moldar cps
- e) Nas misturas experimentais são importantes as determinações de:
- massa específica do concreto no estado fresco;
  - consumo de cimento por metro cúbico de concreto;
  - consumo de água por metro cúbico de concreto;
  - relação água/cimento;
  - abatimento do tronco de cone;
  - teor de ar aprisionado
  - corpos-de-prova para ensaios de concreto endurecido.
- f) Com os resultados construir o Diagrama de Dosagem e obter o traço resposta.

## 15.6 Concreto de Alta Resistência

Considera-se concretos de alta resistência CAR (ou HSC, high strength concrete) os concretos que superam 50MPa aos 28 dias de idade. Para obter essas resistências à compressão é necessário que esses concretos sejam compactos e apresentem reduzida micro-fissuração, razão porquê muitas vezes são confundidos com concretos de alto desempenho CAD (ou HPC, high performance concrete). Na realidade entende-se por HPC ou CAD, todos os concretos que tenham alguma propriedade acima das usuais, não necessariamente somente a resistência.

A “FHWA Federal High Way Administration” dos USA (Goodspeed et al., 1998), classifica os concretos de acordo com vários parâmetros sendo conveniente, no caso do Brasil, considerar pelo menos os indicados na Tabela 15.5.1, Recomendados por Paulo Helene e adaptados da FWHA.

Tabela 15.5.1 Proposta de requerimentos para concretos CAR ou CAD.

propriedade	método de ensaio	classes de concreto			
		D	C	B	A
resistência à carbonatação (coeficiente de carbonatação)	RILEM CPC 18 exposição natural	$\leq 2,8$ $\frac{mm}{\sqrt{ano}}$	$\leq 2,0$ $\frac{mm}{\sqrt{ano}}$	$\leq 1,5$ $\frac{mm}{\sqrt{ano}}$	$\leq 1,0$ $\frac{mm}{\sqrt{ano}}$

resistência a delaminação p/50 ciclos (classificação visual)	ASTM C 672	$3 > x > 2$	$2 > x > 1$	$1 > x > 0$	$0 = x$
resistência a abrasão	ASTM C 944	$2 > x > 1$ mm	$1 > x > 0.5$ mm	$0.5 > x > 0.25$ mm	$0.25 > x$ mm
resistência à penetração de Cl <sup>-</sup>	ASTM C 1202 AASHTO T277	$3000 > x > 2000$ C	$2000 > x > 1000$ C	$1000 > x > 500$ C	$500 \geq x$ C
retração de secagem	ASTM C 157	$700 > x > 600$ m/m	$600 > x > 500$ m/m	$500 > x > 400$ m/m	$400 \geq x$ m/m
deformação sob carga	ASTM C 152	$75 > x > 60$ $\mu\text{m}/\text{MPa}$	$60 > x > 45$ $\mu\text{m}/\text{MPa}$	$45 > x > 30$ $\mu\text{m}/\text{MPa}$	$30 \geq x$ $\mu\text{m}/\text{MPa}$
resistência à compressão p/28d	ASTM C 39 AASHTO T 22	$55 > x > 40$ MPa	$70 > x > 55$ MPa	$100 > x > 70$ MPa	$100 \leq x$ MPa
módulo de elasticidade p/28d (cordal p/ $0,4 \cdot f_c$ )	ASTM C 469	$40 > x > 30$ GPa	$45 > x > 35$ GPa	$50 > x > 40$ GPa	$45 \leq x$ Gpa
resistência à flexão p/28d	ASTM C 78 AASHTO T 97	$5 > x > 4$ MPa	$7 > x > 5$ MPa	$10 > x > 7$ MPa	$10 \leq x$ MPa

Segundo Maldonado (2005), os métodos de dosagem para dosar CAD devem atender aos objetivos de proporcionar misturas facilmente manuseáveis com resistências mecânicas elevadas, assim como proporcionar uma durabilidade compatível com as expectativas do projeto, mas que ao mesmo tempo seja simples, rápido, econômico e permita correções futuras do traço inicial com grande facilidade.

Para os estudos de dosagem dos concretos CAD, CAR, HSC ou HPC, o método IBRACON se aplica na íntegra, cuidando apenas de manter o consumo de cimento e a relação a/c baixos através do uso inteligente de aditivos redutores de água de grande eficiência.

## Pesquisas

Dosagem de concreto é necessário para a maioria dos trabalhos de pesquisa experimental de tal sorte que o tema é amplamente estudado nos diferentes centros de ensino e pesquisa do país. Como referência histórica pode-se citar: Helene, Paulo R.L. Contribuição ao Estabelecimento de Parâmetros de Dosagem e Controle dos Concretos de Cimento Portland. São Paulo, PCC.USP, FAPESP, 1987, e os artigos de Tango, Carlos E.S. A Dosagem IPT - Aplicações. A Construção em São Paulo, seção Concreto, n. 1994 e n. 1998. Publicação IPT nº 1745. São Paulo, 1986.

## Realizações

O Brasil detém o recorde de resistência à compressão de concreto aplicado em obra nos 7 pavimentos iniciais do edifício *e-Tower* em São Paulo, desde 2002 quando os pilares foram concretados. Os estudos de dosagem estiveram a cargo do prof. Paulo Helene que utilizou o método IBRACON de dosagem, obtendo resistências médias de 125MPa aos 28 dias de idade em corpos-de-prova cilíndricos. O concreto foi dosado em usina, misturado no balão do caminhão betoneira que o transportou por 40 minutos no pesado trânsito de São Paulo.

Depois dessa vitória, é possível afirmar que não há mais desculpas para não usar esse novo material de construção que só traz vantagens técnicas, de durabilidade, de construtibilidade, de baixa manutenção e principalmente que vai agregar muito valor às obras e muito prestígio a suas construtoras e projetistas. Cabe ressaltar que o uso de

concretos com vida útil de mais de 350 anos, muito superior aos padrões atuais de 50 anos também contribui sobremaneira à preservação dos recursos naturais, assegurando o tão desejado desenvolvimento sustentável com preservação do meio ambiente. Para saber mais: Helene, P.; Hartmann, C. HPCC in Brazilian Office Tower. Concrete International. ACI, American Concrete Institute, v. 25, n. 12, p. 64-68, 2003.

Construtora:	Tecnum Engenharia
Projeto arquitetônico:	Aflalo & Gasperini
Projeto estrutural:	França e Associados
Proprietários:	Munir Abbud Empreendimentos Imobiliários Ltda.
Pavimentos:	37 pavimentos + 4 subsolos + térreo
Altura:	a partir do térreo: 149 m a partir do subsolo: 165 m
Concreteira:	Engemix (Geral de Concreto)
Aditivos:	Grace (Adva e Recover) e MBT (Glenium)
Pigmentos:	Bayer

### 15.7 Concreto Auto-adensável

O conceito de concreto auto-adensável CAA (SCC, self compacting concrete), foi introduzido pelo Prof. Okamura (Ouchi et al., 1997) da Universidade de Tóquio em 1986 com o objetivo de aumentar a durabilidade e a confiabilidade nas estruturas de concreto, ao mesmo tempo que reduzia em muito o ruído durante o lançamento e adensamento do concreto nas obras.

Segundo Gettu e Agulló (2003) a vitoriosa experiência japonesa foi seguida por outros pesquisadores (Ambroise e Péra, 2001; Daczko e Constantiner, 2001) e durante os últimos anos permitiu identificar uma série de vantagens importantes no uso dos concretos CAA (SCC):

- Menor dependência da formação e experiência dos operários para obter estruturas duráveis (Okamura et al., 2000);
- Redução dos riscos de ninhos e bicheiras;
- Redução dos prazos de obras;
- Oferece maior liberdade aos arquitetos para projetar formas complexas;
- Redução do ruído com vantagens em centros urbanos;
- Redução dos riscos de doenças do trabalho (audição);
- Aumento da vida útil das fôrmas com maior reaproveitamento das mesmas.

Segundo a EFNARC (2002) o concreto CAA (SCC) pode ser definido como o concreto capaz de fluir no interior das fôrmas, preenchendo-a de maneira natural por simples ação da gravidade, permeando entre as barras da armadura e compactando-se pelo peso próprio. Além disso deve apresentar-se homogêneo após endurecido, ou seja, ser coeso e resistente à segregação.

Do ponto de vista dos materiais, os CAA (SCC) utilizam praticamente os mesmos materiais dos demais concretos correntes. Entretanto são imprescindíveis as adições finas, os aditivos superplastificantes e os agentes modificadores de viscosidade (VMA).

Os agentes VMA são aditivos químicos que melhoram substancialmente a coesão e portanto reduzem a exsudação e a segregação (Rixom e Mailvaganam, 1999). A incorporação de aditivos VAM pode afetar negativamente a fluidez do concreto e isto deve ser compensado pelo aumento no teor de superplastificante e água (Mailvaganam, 1999).

### Ensaio especiais

Os estudos de dosagem de concretos CAA (SCC) podem e devem utilizar os mesmos conceitos e princípios do método descrito neste capítulo, mas os ensaios de avaliação são específicos e bem diferenciados para permitir comprovar a sua capacidade de ser auto-adensável.

Os principais métodos de ensaio empregados em concretos SCC estão indicados no documento da “RILEM Technical Committee 174-SCC Self-Compacting Concrete, 2004” e são:

1. Ensaio de fluidez do abatimento (slump flow) do cone de Abrams ou do cone reduzido;
2. Ensaio do funil em “V” (V-funnel), normal e reduzido;
3. Ensaio da caixa “L” (L-box), normal e reduzido, com e sem armadura.

## **Pesquisas**

O tema é relativamente novo no Brasil e tem despertado muito interesse no meio técnico. Cabe citar: Johnson, W.R.V.; Ros, P.S.; Barbosa, M.P. Estudo da Influência da Granulometria dos Sólidos na Composição de Concretos Auto-adensáveis. Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON, Revista Concreto, ano XXXIII, n. 37, fev. 2005. p. 46-53

## **15.8 Concreto Aparente**

### **Materiais**

O cimento é o material que tem maior influência na cor final do concreto, por isso deve-se escolher um tipo e um fabricante que possam ser mantidos constantes durante a obra. Concretos produzidos com cimentos contendo escórias de alto forno, tipo CP III, quando em contato com a atmosfera tornam-se mais claros na superfície que os concretos com cimento Portland comum, tipo CP I, CP II, CP V ARI ou mesmo o CP IV. A execução de concreto aparente com cimentos contendo adições tipo escória, pozolanas, sílica ativa e metacaulim, deve ser bastante controlada, na medida em que uma pequena variação nos teores dessas adições pode alterar consideravelmente a coloração final do concreto.

Deve-se utilizar o mesmo agregado miúdo em toda a obra, de forma a evitar alterações de coloração. Esse material deve ser submetido à caracterização mineralógica e petrográfica, visando identificar possíveis materiais reativos, como algumas piritas que ao longo do tempo reagem formando manchas com aspecto de ferrugem.

Do ponto de vista da dosagem aplica-se integralmente o método aqui apresentado. As propriedades de durabilidade requeridas para o concreto aparente devem ser mais exigentes, recomendando-se que a relação  $a/c$  seja inferior a 0,45 e a resistência à compressão sempre superior a 40MPa. Aconselha-se o uso de cimentos com baixo teor de silicato tri-cálcico pois estes geram muito hidróxido de cálcio e podem ocasionar futuras eflorescências se em presença de água. O traço deve sempre ser um pouco mais argamassado que o ideal (cerca de 2% a mais) para assegurar bom acabamento superficial.

A desforma deve ser realizada sempre à mesma idade, pois a coloração do concreto é influenciada pelo tempo em que ele não fica diretamente em contato com o ar.

No final da obra as superfícies de concreto aparente normal, colorido ou branco, devem ser lavadas com emprego de jato de água à pressão. Para sua melhor manutenção ao longo da vida útil recomenda-se aplicação de hidrofugantes de superfície tipo silanos e siloxanos. Vernizes de base acrílico e sistemas duplo tipo epóxi-poliuretano também podem ser utilizados mas dão brilho à superfície.

## 15.9 Concreto Colorido e Concreto Branco

A dosagem dos concretos aparentes coloridos e brancos deve seguir os mesmos cuidados e procedimentos básicos do método de dosagem apresentado. As grandes diferenças estão nos materiais e nos cuidados de execução.

A tonalidade do cimento é essencial para o concreto branco. Os cimentos brancos a serem utilizados em concreto branco devem ter índices mínimos de reflectância de 85 (Positieri, 2005). A coloração do concreto pode ser alterada com a utilização de óxidos metálicos (ferro, cromo, titânio, cobalto, manganês) ou pigmentos sintetizados pela indústria química. Os pigmentos devem atender às especificações da “ASTM C 979. Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete, 2004”

A coloração do concreto é mais influenciada pela areia, tendo os agregados graúdos um papel menos relevante. Com a variação da coloração da areia poderá ocorrer variações nas tonalidades do concreto. Os aditivos devem ser apropriados para concreto colorido e no caso de concreto branco não devem ter pigmentos escuros.

O controle da cor dos concretos coloridos ou brancos pode ser realizado por sistemas de medição de cor tipo CIELAB (Positieri, 2005), que consiste num gráfico cartesiano espacial que descreve a cor de uma fonte de luz refletida por uma superfície sob condições padrões de iluminação. Sua principal vantagem está em reduzir os erros de análises subjetivas com sistemas de cartas padrões comparativas de cor. Para tal é necessário medir e calcular os parâmetros cromáticos como a saturação de cor  $C^*$ , a cor total  $E^*$  e suas variações conforme cálculos indicados na Tabela 15.7.1

Tabela 15.7.1 Parâmetros colorimétricos típicos (Positieri, 2005)

Parâmetro	Significado	Cálculo
$\Delta L^*$	Diferença de luminosidade	$L^*_{\text{final}} - L^*_{\text{inicial}}$
$\Delta a^*$	Diferença eixo vermelho-verde	$A^*_{\text{final}} - a^*_{\text{inicial}}$
$\Delta b^*$	Diferença eixo amarelo-azul	$b^*_{\text{final}} - b^*_{\text{inicial}}$
$C^*$	Saturação	$\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$
$\Delta C^*$	Diferença de saturação	$\sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$
$E^*$	Cor total	$\sqrt{(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$
$\Delta E^*$	Diferença total de cor	$\sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$

Para manter o concreto colorido ou branco, sem manchas de ferrugem, é essencial que as armaduras de arranque sejam protegidas contra a corrosão com a própria nata de cimento colorido ou de cimento branco. Nas fôrmas a utilização de desmoldantes correntes à base de óleos minerais é inadequada, recomendando-se as ceras parafinicas, aplicadas em película fina e contínua com o auxílio de uma pistola. A seleção do tipo e forma dos espaçadores e pastilhas é também essencial na qualidade de acabamento do concreto aparente colorido ou branco.

De modo a assegurar homogeneidade as superfícies devem ser desmoldadas o mais cedo possível mas sempre de uma forma contínua e rápida (Carvalho, 1999). A cura com água do concreto logo após a concretagem é essencial para reduzir riscos de fissuras. O processo mais fácil para manter boas condições de umidade durante a cura é a rega por

aspersão de água de forma uniforme e controlada. Recomenda-se sistemas de aspersão tipo bico de jardim com formação de névoa (Fonseca, 2003).

### **Pesquisas**

Destaca-se o pioneirismo e profundidade com que a UFRGS, através do NORIE vem tratando do estudo dos concretos brancos no Brasil, podendo-se citar: KLEIN, Dario L.; GASTAL, Francisco P.S.L.; CAMPAGNOLO, João L.; SILVA FILHO, L.C.P. Análise de materiais e definição de traço para utilização na confecção de concreto branco para o Museu Iberê Camargo. Porto Alegre, UFRGS, 2001.

### **Realizações**

Em São paulo uma das mais importantes obras de concreto colorido de alta resistência são os concretos utilizados na estrutura do Hotel Unique em São Paulo. Projetado pelo arquiteto Ruy Ohtake realizar os concretos representou um verdadeiro desafio pois há paredes cujas faces opostas são de concretos com cores diferentes.

Obra:	Hotel Unique / SP
Construtora:	Método Engenharia
Arquiteto:	Ruy Ohtake
Projeto estrutural:	Mário Franco
Central de concreto:	Engemix (Geral de Concreto)
Consultor de concreto:	Paulo Helene
Cores:	cinza, grafite, vermelho

### **15.10 Concreto Sustentável**

Os estudos de concreto sustentável incluem todos aqueles que consigam reduzir a emissão de gases prejudiciais na atmosfera durante a fabricação dos cimentos, ou que se prestem a consumir rejeitos industriais inclusive entulho da própria construção. Os princípios e procedimentos do método de dosagem apresentado se aplicam perfeitamente tomando-se os cuidados de bem elaborar os procedimentos de preparação dos rejeitos e entulhos a serem incorporados ao concreto.

Concretos especiais e sustentáveis, com altos teores de adições minerais requerem modificação na determinação do teor de argamassa, quando se realiza a substituição em igualdade de massa, devido ao aumento do volume de pasta devido às diferenças de massas específicas (principalmente quando se utiliza cinza volante). Uma vez encontrado o teor de argamassa ideal, do traço básico 1:m, transforma-se o teor de argamassa em volume e se mantém constante este último, fazendo-se as correções no teor de areia (miúdos).

### **Pesquisas**

Praticamente todos os centros de pesquisa em concreto do país estão engajados nestes estudos. Vale a pena consultar a edição de n. 37 da revista Concreto do IBRACON que dedicou toda essa edição ao tema sustentabilidade. Em reverência à primeira tese nacional sobre o tema, abordando a questão da dosagem e da durabilidade de concretos sustentáveis, recomenda-se: Isaia, Geraldo C. Efeito de Misturas Binárias e Ternárias de Pozolanas em Concreto de Elevado Desempenho. São Paulo, PCC.USP, FAPESP, 1995. 197 p. (Tese de Doutorado) que utilizou pozolanas em substituição a até 50% do cimento, em massa, e Levy, Salomon M. Durabilidade de Concretos com Agregados Reciclados de Concreto e Alvenaria. São Paulo, PCC.USP, FAPESP, 2001. 217p. (Tese de Doutorado) que empregou agregados reciclados de concreto e de cerâmica.

### **Realizações**

A Racional Engenharia, criou um programa permanente para aproveitar o entulho de obras feitas pela empresa. O material que seria descartado é transformado em blocos de

concreto e doado para a construção de casas populares. A grande vantagem desse trabalho é a diminuição significativa da quantidade de entulho, que geralmente iria para os lixões. A demolição de um dos antigos edifícios da região central do Rio de Janeiro produziu entulho de argamassas, concretos, alvenarias e pisos, que se transformou em material reciclado.

Empresa:	Racional Engenharia
Obra:	272 casas populares em Guaratiba (RJ)
Volume de entulho:	5.000 m <sup>3</sup> gerados no centro do Rio de Janeiro
Volume de agregados reciclados:	3.700 m <sup>3</sup>
Blocos de concreto produzidos:	300.000 ud
Período:	2003-2004

### 15.11 Referências

- ABRAMS, D.A. Design of Concrete Mixtures. Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, 1918
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738 Concreto. Moldagem e Cura de Corpos-de-prova Cilíndricos ou Prismáticos. Método de Ensaio
- \_\_\_ NBR 5739 Concreto. Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos. Método de Ensaio
- \_\_\_ NBR 6118 (NB-1) Concreto. Projeto de Estruturas de Concreto. Procedimento
- \_\_\_ NBR 7211 Agregado para Concreto de Cimento Portland. Especificação.
- \_\_\_ NBR 7212 Concreto. Execução de Concreto em Central. Procedimento
- \_\_\_ NBR 7223 Concreto. Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone. Método de Ensaio
- \_\_\_ NBR 8224 Concreto. Fluência. Método de Ensaio,
- \_\_\_ NBR 8522 Concreto. Módulo de Elasticidade. Método de Ensaio
- \_\_\_ NBR 8953 Concreto para Fins Estruturais. Classificação por Grupos de Resistência. Classificação
- \_\_\_ NBR 9606 Concreto. Consistência pelo Espalhamento do Tronco de Cone. Método de Ensaio
- \_\_\_ NBR 12654 Concreto. Controle Tecnológico. Procedimento
- \_\_\_ NBR 12655 Concreto. Preparo, Controle e Recebimento. Procedimento
- \_\_\_ NBR 14931 Concreto. Execução de Estruturas de Concreto. Procedimento
- \_\_\_ NM 131 Concreto Endurecido. Determinação da Retração Hidráulica ou Higrométrica. Método de Ensaio
- AMBROISE, J.; PÉRA, J. Properties of Self-Leveling Concrete: Influence of a Viscosity Agent and Cement Content. ACI SP 200, ed. V.M.Malhotra, American Concrete Institute, 2001. p. 367-80
- ANDRADE, W. P. et al. Um método de dosagem para concreto massa. In: Colóquio sobre Concreto Massa, São Paulo, 1981. Anais: IBRACON
- ANDREW, R.P., ed. Mix design and quality control of concrete. Proceedings of a Symposium on, London, C&CA, 1954. 548 p.
- BASÍLIO, F.A. Influência do coeficiente de variação na dosagem dos concretos. São Paulo, ABCP, 1954. (ET-3)
- BÁSILIO, F.A. Práticas de dosagem do concreto no Brasil. In: Reunión del GlaRilem; Santiago, 1965. Práticas correntes de dosagem de concreto nos países latino-americanos, s.n.t.
- CAMARGO, W. M. Fixação na dosagem das propriedades finais dos concretos: correlação entre as propriedades de composição do concreto fresco e as propriedades tecnológicas do concreto endurecido. In: Colóquio sobre Dosagem do Concreto, São Paulo, 1977. Anais: IBRACON
- CARNEIRO, F.L.L. Os coeficientes de segurança e as tensões admissíveis em peças de concreto simples e de concreto armado. In: Symposium de Estruturas, Rio de Janeiro, 1944. Anais. INT, v. 2, p. 82-126
- CARNEIRO, F.L.L., Dosagem dos concretos plásticos. Rio de Janeiro, INT, 1937
- CARVALHO, F. Hormigones Coloreados. Madrid, INTEMAC, 1999. (tesis doctoral)
- CORDON, W.A. History of Proportioning. In: American Concrete Institute. Proportioning concretes mixes. Detroit, 1974, p.167-76. (SP, 46)
- COUTINHO, A.S. Fabrico e propriedades do betão. Lisboa, LNEC, 1973, v.1.
- DACZKO, J.A. Y CONSTANTINER, D. Rheodynamic Concrete. 43º Congresso Brasileiro do Concreto(Foz do Iguaçu, Brasil), Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON, 2001.
- DRAFFIN, J.O. A brief history of lime, cement, concrete and reinforced concrete. Journal of the Western Society of Engineers, v. 48, n. 1, p.14-47, mar., 1943.
- EFNARC. (2001). "Specification Guidelines for Self-Compacting Concrete," Farnham, UK: European Federation of Producers and Contractors of Specialist Products for Structures.
- FERRARI, F. Cenzo storico sui legante idraulici. Il Cemento, v.65, n. 762, p.147-50, giu. /ago., 1968

FERRARI, F. Cenno storico sui legante idraulici. *Il Cemento*, v.65, n. 763, p.179-87, set. /out., 1968

FERRARI, F. Cenno storico sui legante idraulici. *Il Cemento*, v.65, n. 764, p.221-33, nov. /dic., 1968

FONSECA, A. Betão Branco. São Paulo. In: V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. SmartSystem, v.1, 2003.

GETTU, R.; AGULLÓ, L. Estado del Arte del Hormigón Autocompactable y su Caracterización. Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, E.T.S., Informe C4745/1, 2003

GOODSPEED, C.; VANIKAR, S.; COOK, R. HPC Defined for Highway Structures. *Concrete International*, ACI, February, 1996.

HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P.R. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo, PINI, 1992. 350 p. (reimpresso 1995, 1998, 2001, 2005)

JOHNSON, W.R.V.; ROS, P.S.; BARBOSA, M.P. Estudo da Influência da Granulometria dos Sólidos na Composição de Concretos Auto-adensáveis. Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON, Revista Concreto, ano XXXIII, n. 37, fev. 2005. p. 46-53

KOEHLER, E.P.; FOWLER, D.W.; FERRARIS, C.F. Summary of Concrete Workability Test Methods. International Center for Aggregates Research. The University of Texas at Austin. Form DOT F 1700.7 (8-72) . ICAR 105-1. 2003

KOSMATKA, S.H; KERKHOFF, B.; PANARESE, W.C. Design and Control of Concrete Mixtures, EB001. 14<sup>a</sup> ed. Portland Cement Association PCA, Skokie, Illinois, USA, 2002. 372 p.

KUROIWA, S., MATSUOKA, Y., HAYAKAWA, M., SHINDOH, T. Application of Super Workable Concrete to Construction of a 20-Story Building. In: ACI SP-140: High Performance Concrete. 1993

L'HERMITE, R.; TOURNON, G. La Vibration du Béton Frais. Paris, CERILH, 1948 (pub.;tech. 2)

LEME, R.A.S Conceito moderno de coeficiente de segurança. *Engenharia*, v.12, n.135, p.111-4., nov., 1953

LYSE, I. Tests on consistency and strength of concrete having constant water content. *American Society for Testing and Materials, Proc.*, v. 32, part 2, p.629-36, dec., 1932.

MAILVAGANAM, N. Admixture Compatibility in Special Concretos. 2<sup>o</sup> CANMET/ACI Conf., Gramado, Brasil, ACI SP 186, eds. V.M. Malhotra et al., American Concrete Institute, 1999. p. 615-34

MALDONADO, N.G. Hacia una Metodología Compreensiva de Dosificación de Hormigones de Alta Performance. Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mendoza, 2005. (Tesis Doctoral)

MCINTOSH, J.D. Basic principles of concrete mix design. In: ANDREW, R.P., ed. Mix design and quality control of concrete: proceedings of a symposium London, CCA, 1954, p.3-27

MORGAN, E.E. The design of concrete mixes on a minimum strength basis. *The engineer*, v. 177, n.4611, p.400-2, may, 1944

MURDOCK, L. J.; BROOK, K.M. *Concrete Materials and Practice*. 5th edition. London, Edward Arnold Publishers, 1979. p. 103 ISBN 07131 33996

NEWLON JR., H., ed. A selection of historical American papers on concrete: 1876-1926. Detroit, ACI, 1976, p.234. (SP, 52.)

OKAMURA, H., OZAWA, K.; OUCHI, M. Self-Compacting Concrete. *Structural Concrete*, v. 1, n<sup>o</sup> 1, 2000. p. 3-17

OLIVEIRA, A.P. O controle de concreto numa construção, Rio de Janeiro, INT, 1939

OUCHI, M., HIBINO, M.; OKAMURA, H. Effect of Superplasticizer on Self-Compactability of Fresh Concrete. *Transportation Research Record*, paper 970284, n<sup>o</sup> 1574, 1997. p. 37-40

PETRUCCI, E.G.R. Dosagem de concretos de cimento: prática corrente no Rio Grande do Sul, Brasil. In: *Reunion del Glarilem*; Santiago, 1965. Práticas correntes de dosagem de concreto nos países latino-americanos, s.n.t.

POSITIERI, M.J. Durabilidad de Concretos Coloreados. Córdoba, Argentina, Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Córdoba. Tesis doctoral. 2005

POWERS, T.C. *Properties of Fresh Concrete*. New York: John Wiley & Sons. 1968

POWERS, T.C. The Nature of Concrete. *Concrete and Concrete-Making Materials*. ASTM. STP No. 169-A, 1966. p. 61-72

PRISZKULNIK, S. Aspectos reológicos do concreto fresco e sua dosagem: métodos ACI e do ITERS. In: *Colóquio sobre Dosagem do Concreto*, São Paulo, 1977. Anais: IBRACON

PRISZKULNIK, S.; KIRILOS, J.P. Considerações sobre a resistência à compressão de concretos preparados com cimentos Portland comum tipos CP-250, CP-320 e CP-400, e a sua durabilidade. Rio de Janeiro. II<sup>o</sup> Encontro Nacional da Construção (ENCO), 8-13 Dez., 1974

RIXOM, M.R.; MAILVAGANAM, N.P. *Chemical Admixtures for Concrete*, 3<sup>a</sup> edición, E&FN Spon, Londres, 1999.

RODRIGUES, P.P.F. *Parâmetros de Dosagem do Concreto*. São Paulo, ABCP, 1984.

SABLON, L. Le béton rationnel : méthodes pratiques pour la réalisation des mortiers et des bétons offrant les qualités désirées aux prix de revient minimum. *Annales des Ponts e Chaussées*, v. 97, n.1, 1927

SILVA JR., J.F. Contribuição para o estudo da dosagem dos concretos. Revista Politécnica, n. 144, p. 213-17, maio, 1944

SOBRAL, H.S.A. Generalização das técnicas de dosagem: método de Powers. In: Colóquio sobre Dosagem do Concreto, São Paulo, 1977. Anais: IBRACON, p.21

SPARKES, F.N. The control of concrete quality: a review of the present position. In: ANDREW, R.P., ed. Mix design and quality control of concrete: proceedings of a symposium London, CCA, 1954, p.211-27

TANGO, C.E.S. A Dosagem IPT - Aplicações. A Construção em São Paulo, seção Concreto, n. 1994 e n. 1998. Publicação IPT nº 1745. São Paulo, 1986.

TATTERSALL, G.H. The Workability of Fresh Concrete. London, Viewpoint, 1978

TATTERSALL, G.H.; BANFILL, P.F.G. The Rheology of Fresh Concrete. Marshfield, MA: Pitman Publishing. 1983

TORRES, A. F. Dosagem dos concretos. São Paulo, Escola Polytechnica, 1927. (Boletim EPUSP, 1.)

TORRES, A.F.; ROSMAN C.E. Método para dosagem racional do concreto. São Paulo ABCP, 1956

VALLETTE, R. Composition des bétons mise au point de la question. Annales des Ponts et Chaussées, v.97, n. 1-19, mars./avr/ 1949

VALLETTE, R. Manuel de composition des bétons : Méthode expérimentale Valette. Paris, Eyrolles, 1964, p.29

VASCONCELOS, A.C. Concreto no Brasil: recordes, realizações, história. São Paulo, Copiare, 1985, p.47-55

WALKER, S. Application of Theory of probability to design of concrete for strength specifications. Rock Products, v. 47, p.400-2, may.26, 1944

### **15.12 Sugestões para Estudo Complementar**

ALAEJOS GUTIERREZ, M.P.; FERNANDEZ CÁNOVAS, M. 1994. Dosificación de hormigones de alta resistencia. Revista Cemento-Hormigón 738, 1994. p. 1299-323

CARBONARI, B.T. Estudio paramétrico de variables y componentes relativos a la dosificación y producción de hormigones de alta performance. PhD. Thesis. Universidad Politécnica de Catalunya. Escuela Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals i Ports. Barcelona, 1996

DE LARRARD, F. A Method for Proportioning High-Strength Concrete Mixtures. Cement, Concrete and Aggregates 12 (1), 1990. p. 47-52

HARTMANN, C. T. Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland. São Paulo, Universidade de São Paulo EPUSP.PCC. FAPESP. Dissertação Mestrado, 2002

HELENE, P.R.L. Concreto de Elevado Desempenho - O Material para Construção das Obras no Ano 2000. Revista Engenharia e Construção 18, 1998. p. 11-13

HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P.R. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo, PINI, 1992. 350 p. (reimpresso 1995, 1998, 2001, 2005)

MARTINS, V. C. Otimização dos Processos de Dosagem e Proporcionamento do Concreto Dosado em Central com a Utilização de Aditivos Superplastificantes. Florianópolis, Dissertação de Mestrado. UFSC, 2005

O'REILLY, V. Método de Dosagem de Concreto de Elevado Desempenho. Editora Pini. São Paulo, 1998