

## 34ª REUNIÃO DE TÉCNICOS DA INDÚSTRIA DO CIMENTO

## PARÂMETROS DA DOSAGEM RACIONAL DO CONCRETO

*Engº Públio Penna Firme Rodrigues*  
Associação Brasileira de Cimento Portland

## INTRODUÇÃO

O objetivo principal deste trabalho é fornecer aos técnicos da indústria cimenteira alguns dos elementos principais da dosagem do concreto para que possam, dentro de certos limites, ter condições de compreender e analisar os principais fatores que alteram as propriedades do concreto fresco e endurecido. Sendo este trabalho de caráter introdutório, procuramos não nos estender de masiadamente nos tópicos que o compõem, devendo aqueles que desejarem aprofundar-se no assunto consultar algumas das bibliografias indicadas. O último capítulo é reservado à apresentação de um método de dosagem, por ora designado por ABCP/ACI, adaptação do método proposto pelo *American Concrete Institute*, resultado da experiência em mais de uma centena de traços experimentais executados no Departamento de Cimento e Concreto, da ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland.

## 1. O QUE É DOSAGEM DO CONCRETO

O concreto de cimento portland, seguramente o mais versátil material de construção idealizado pelo homem, é composto por três componentes básicos: cimento portland, agregados e água. As suas características irão depender, em primeira instância, fundamentalmente do proporcionamento desses três materiais.

Partindo da hipótese de que o volume unitário do concreto, digamos  $1\text{m}^3$ , é formado pela somatória dos volumes absolutos de cimento, agregados e água, podemos, com auxílio de um diagrama ternário<sup>(1)</sup>, apresentado na figura 1, visualizar todas as possibilidades de proporcionamento dos três constituintes básicos.

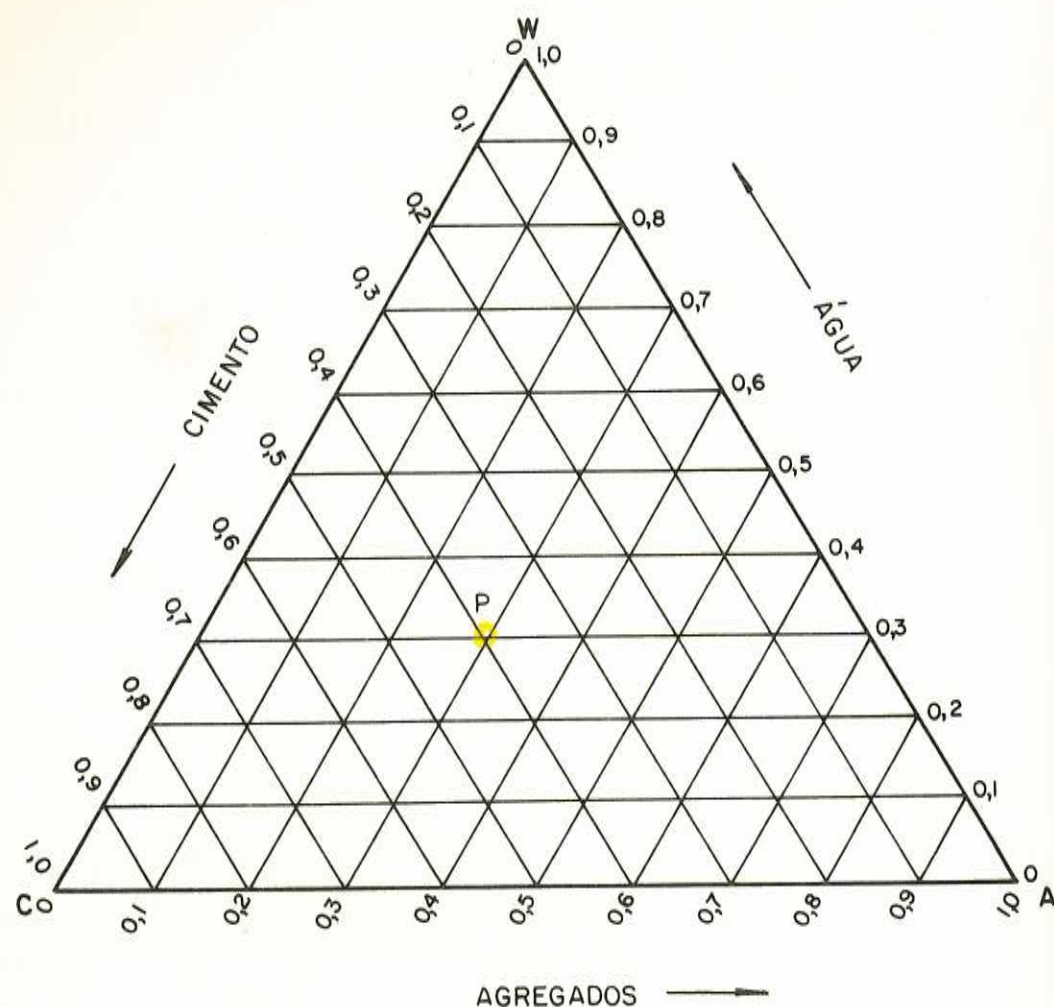


FIGURA 1

Assim, por exemplo, o ponto *P* representa um concreto composto por  $0,4\text{m}^3$  de cimento,  $0,3\text{m}^3$  de agregados e  $0,3\text{m}^3$  de água. Para maior facilidade de raciocínio, transformando os volumes absolutos dos materiais em massas, através da multiplicação dos mesmos pelas suas massas específicas (3,15; 2,60 e 1,00, respectivamente), teremos que este metro cúbico de concreto é formado por 1260kg de cimento, 780kg de agregados e 300kg de água. Até mesmo uma pessoa não familiarizada com a dosagem consegue perceber que este concreto não deve ter aplicação prática. Primeiro, porque a quantidade de água presente é muito pequena, insuficiente até para hidratar todo o cimento, que está presente em quantidade excessiva em relação aos outros constituintes, fazendo o concreto ter um alto custo, isto sem falar dos inconvenientes tecnológicos desta estranha mistura que dificilmente poderia denominar-se concreto.

Este tipo de raciocínio nos induz à conclusão elementar de que não são todas as proporções de cimento, agregados e água (os constituintes) que fornecem concretos com interesse prático.

A dosagem do concreto é, portanto, o proporcionamento adequado dos três constituintes, de maneira que o material resultante desta mistura atenda aos seguintes requisitos:

- a) No estado fresco possuir trabalhabilidade adequada para ser possível, de acordo com os meios disponíveis na obra, transportá-lo, lançá-lo e adensá-lo, sem ocorrência de segregação, de acordo com as normas correntes da boa execução das obras de concreto.
- b) No estado endurecido, o concreto deve possuir as características ditadas pelo projeto da obra; deve ter, por exemplo, resistência, durabilidade, permeabilidade, etc., compatíveis com as solicitações impostas pelas condições e destino a que estará sujeita a obra acabada.
- c) Finalmente, todas estas propriedades exigidas do concreto, tanto no estado fresco como no endurecido, devem ser atingidas com o menor custo possível, para tornar a obra economicamente viável e competitiva com os outros materiais alternativos para a sua execução.

Com base nestas três leis da dosagem do concreto, podemos voltar ao diagrama ternário e procurar delimitar uma região onde os concretos apresentem interesse prático, isto é, onde o proporcionamento dos três materiais são tecnicamente exeqüíveis.

Primeiramente, a prática tem mostrado que a relação água/cimento ( $a/c$ ), isto é, a quantidade de água em relação ao cimento (relação entre massas), responsável principal pela resistência química e mecânica do concreto, deve estar compreendida, na grande maioria dos casos, no intervalo de 0,4 até 1,0. Desta forma, as dosagens possíveis que cumprem somente esta, respeitando apenas a limitação do fator água/cimento, fica restrita ao triângulo ABC (figura 2). Prosseguindo com o mesmo raciocínio, temos que a relação entre as massas dos agregados secos e o cimento  $m$ , que influencia principalmente o custo do concreto, deve estar compreendida, aproximadamente, entre 2 e 8; esta nova limitação é representada pela faixa limitada pelo triângulo WDE. Finalmente,

a prática tem mostrado que a quantidade de água por metro cúbico de concreto, que varia em função da sua plasticidade, deve situar-se entre 160 a 240 l/m<sup>3</sup> aproximadamente, dando, no diagrama triangular, a faixa trapezoidal FGHI.

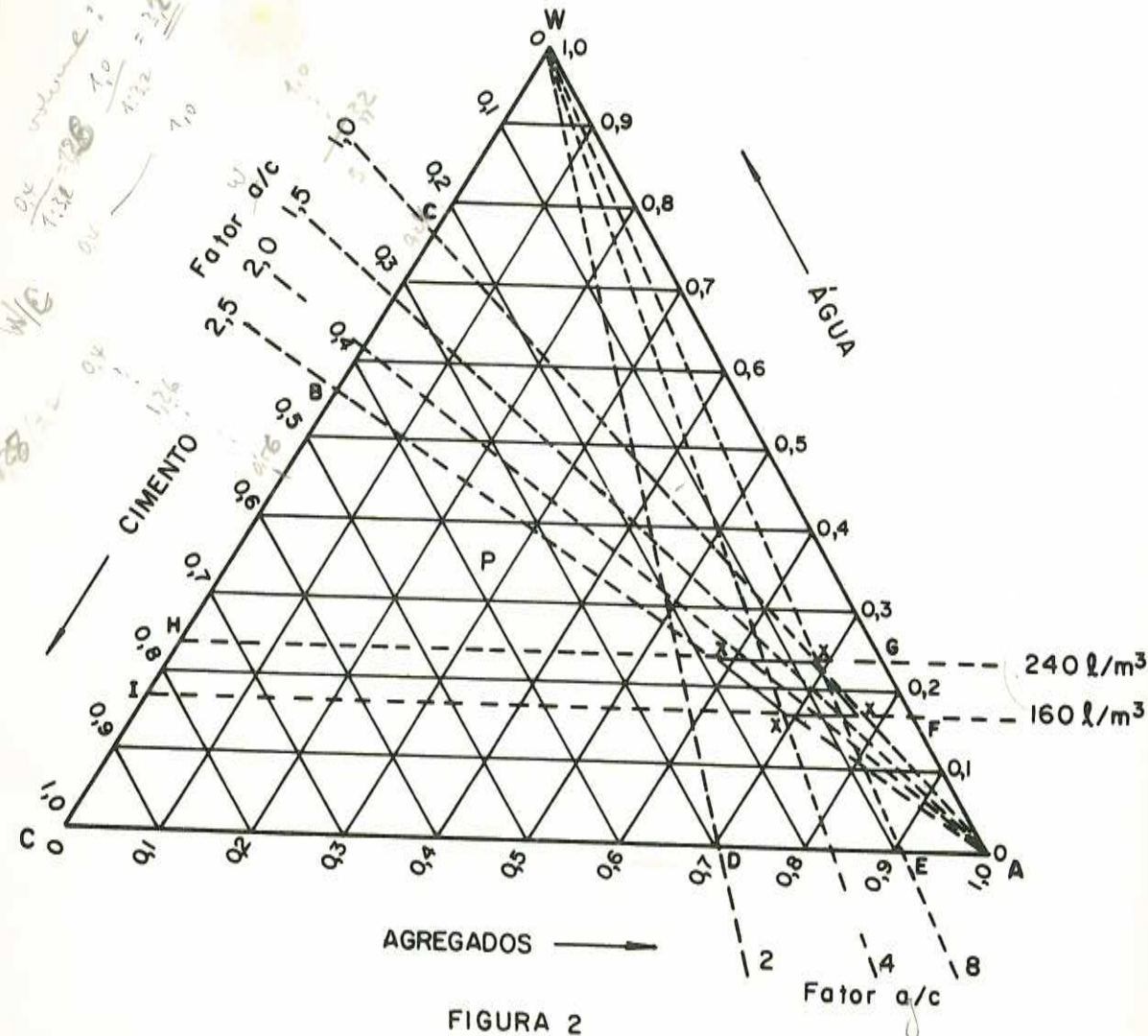


FIGURA 2

A intersecção das três faixas propostas nos fornece, dentro do diagrama ternário, a região na qual as proporções entre os constituintes resultam em concretos com interesse prático. A dosagem consistirá então na escolha de um dos concretos pertencentes a esta região, e será função das características específicas do cimento, agregados e da finalidade que se pretende dar ao concreto.

portanto, antes de adentrarmos mais detalhadamente nas técnicas de dosagens, é imprescindível fazermos algumas considerações referentes as influências dos constituintes sobre as propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no endurecido.

## 2. FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

Dentre as diversas propriedades do concreto endurecido, a que apresenta maior proveito prático é a resistência mecânica, pois, além de ser a primeira característica exigida ao material, geralmente correlaciona-se muito bem com outras propriedades de interesse, como, por exemplo, a durabilidade. Por este motivo, é a mais controlada ou verificada no concreto, despertando interesse especial sobre os fatores que a afetam.

A resistência do concreto pode ser considerada como sendo função, principalmente, das resistências da pasta de cimento endurecido, da aderência entre a pasta e o agregado e da resistência intrínseca do agregado. Secundariamente pode ser afetada pelo teor de cimento na mistura e pela dimensão média dos agregados. Para efeitos didáticos, vamos considerar os efeitos da pasta, agregados e teor de cimento isoladamente.

### 2.1 Resistência da pasta de cimento endurecida

A resistência mecânica da pasta propriamente dita é função, basicamente, do seu grau de hidratação e da sua porosidade; ambos têm notável efeito sobre o desenvolvimento e serão abordados separadamente.

2.1.1 Grau de hidratação — O grau de hidratação da pasta de cimento é função da idade, temperatura de cura e das características físicas (finura), químicas e mineralógicas do cimento. Destes cinco fatores, o tecnólogo de concreto tem condições de intervir ou controlar apenas o tempo de hidratação e a temperatura de cura, que podem ser analisados simultaneamente através do conceito de maturidade, introduzido por Saul<sup>(2)</sup>.

Sabemos que a resistência da pasta será diretamente proporcional ao tempo decorrido após a adição da água ao cimento e que podemos acelerar o processo de endurecimento se fornecermos

calor ao sistema. Portanto, tempo e temperatura são condicionantes da resistência da pasta e podem ser unidos por uma regra única que expressa a maturidade do material:

$$M = t \times (\theta + 10)$$

onde  $t$  é o tempo transcorrido em dias ou horas,  $\theta$  é a temperatura de cura e a constante 10 leva em consideração que as reações de hidratação do cimento não ocorrem a temperatura inferior a  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Em termos práticos, isto significa que se tivermos um concreto com composição definida e mantida fixa, curado por 28 dias à temperatura constante de  $21^{\circ}\text{C}$ , ele apresentará, ao final deste período, a maturidade aproximadamente igual a  $870 \text{ dias} \times ^{\circ}\text{C}$ . Se este concreto for curado a  $50^{\circ}\text{C}$ , atingirá as mesmas maturidade e, teoricamente, resistência em 14,5 dias. A figura 3 expressa graficamente a regra de Saul.

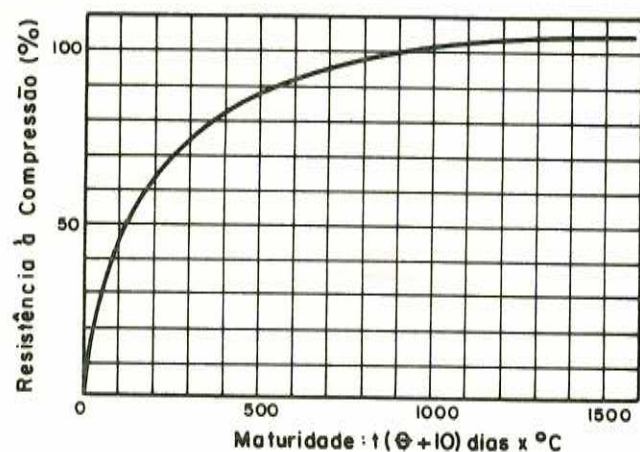


FIGURA 3 - Relação entre a resistência à compressão e maturidade (resistência à compressão como porcentagem da resistência aos 28 dias e curada a  $21^{\circ}\text{C}$ )

A regra de Saul é válida para temperaturas inferiores a  $60^{\circ}\text{C}$ <sup>(2)</sup> e quando os concretos são idênticos em termos de composição e materiais. Mesmo assim, alguns cimentos podem apresentar comportamento diferenciado, principalmente quando contêm adições, dentro de determinados intervalos de temperatura, invalidando o conceito de maturidade.

2.1.2 Porosidade — Não apenas no caso da pasta de cimento endurecida, mas, também, em todos os materiais sólidos, frágeis ou não, a porosidade tem efeito relevante sobre a resistência mecânica<sup>(3)</sup>.

No caso específico da pasta de cimento, a porosidade pode ser causada tanto pela água de amassamento, como pelo ar naturalmente arrastado no processo de mistura ou intencionalmente incorporado com auxílio de aditivos específicos. O fator água/cimento é, para um mesmo grau de hidratação da pasta, o principal alterador da sua resistência e é definido pela relação entre as massas de água e cimento da pasta no estado fresco. O ar naturalmente arrastado, que também contribui para o aumento da porosidade, normalmente está presente em pequenas quantidades e seu efeito pode ser assemelhado ao de um volume equivalente de água, provocando, conseqüentemente, acréscimo no fator água/cimento.

Para o caso de concretos confeccionados com os mesmos materiais, misturados, moldados, adensados e curados em condições idênticas (apresentando mesmo grau de hidratação), suas resistências mecânicas serão praticamente apenas função do fator água/cimento e podem ser expressas pela lei empírica de Abrams:

$$f_c = \frac{k_1}{k_2^{a/c}}$$

Onde  $k_1$  e  $k_2$  são constantes que dependem do cimento utilizado na confecção do concreto e das condições experimentais.

Na figura 4 é apresentada esquematicamente uma curva de Abrams. Dentro dos intervalos usuais de resistências mecânicas, todos os cimentos obedecem a esta lei empírica, mas não com a mesma intensidade, sendo alguns mais sensíveis às alterações do fator água/cimento que outros.

Até aqui foram feitas referências apenas a dois fatores que afetam a resistência do concreto endurecido: grau de hidratação e porosidade (ou fator água/cimento). Entretanto, se ambos forem mantidos constantes, existem dois outros fatores que podem afetá-la, se bem que em escala menor, e seus efeitos serão tanto mais acentuados quanto mais elevados forem os níveis de resistência. Estes fatores são o teor de cimento da mistura e a natureza e características dos agregados, que serão abordados apenas superficialmente dado seus menores graus de importância.

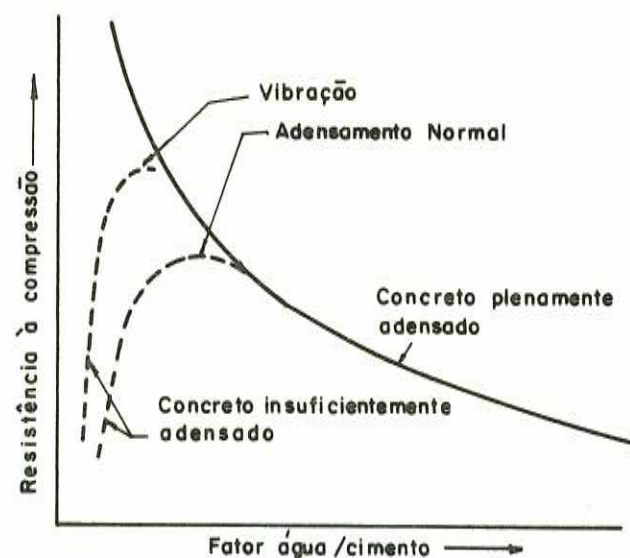


FIGURA 4 - Resistência em função do fator água/cimento do concreto

## 2.2 Teor de cimento

Paradoxalmente, quanto maior for o teor de cimento na mistura, isto é, quanto maior for o consumo de cimento por metro cúbico de concreto, menores serão as resistências mecânicas do produto<sup>(3)</sup>. A queda de resistência é devida, principalmente, às maiores retrações causadas pelo alto teor de cimento, provocando microfissuras que reduzem a capacidade portante final do concreto.

## 2.3 Agregados

Os agregados necessitam ter resistência compatível com a do concreto, isto é, ser de, no mínimo, 2 a 3 vezes mais resistentes e não devem ter reações químicas com o cimento que sejam prejudiciais ao comportamento estrutural do material. Quando a resistência do concreto é elevada, da ordem de 40MPa ou mais, a influência do agregado começa a ser notada; nestes casos, agregados com textura superficial rugosa (agregado britado) conferem maior resistência à compressão ao concreto do que os lisos (seixo rolado). No caso de pavimentos de concreto, onde a principal propriedade requerida é a resistência à tração na

flexão, a utilização de agregados texturados é sempre mais favorável. Também para resistências elevadas, quanto menor for a dimensão média do agregado, melhores serão as resistências obtidas; por causa, principalmente, de dois fatores: a aderência pasta-agregado é favorecida pela maior área específica dos agregados e as retrações da pasta são mais absorvidas, diminuindo a incidência de microfissuração.

## 3. FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

Denomina-se estado fresco do concreto ao curto espaço de tempo, após a mistura, no qual o concreto pode ser transportado, lançado e adensado sem prejuízo de suas propriedades no estado endurecido.

A principal característica do concreto fresco é a trabalhabilidade, nome simples dado a uma série de propriedades difíceis de serem medidas ou avaliadas como um todo. Uma boa definição de trabalhabilidade é fornecida por Sobral<sup>(4)</sup>: "Quando uma mistura apresenta características (consistência e tamanho máximo do agregado) adequadas ao tipo da obra a que se destina (dimensões das peças, afastamento e distribuição das barras das armaduras) e aos métodos de lançamento, adensamento e acabamento que vão ser adotados, diz-se ser ela trabalhável".

Não existe ensaio capaz de medir a trabalhabilidade do concreto e, em lugar dela, determinam-se uma ou mais de suas propriedades. Destas, a mais utilizada ou explorada na prática é a consistência ou a plasticidade do concreto fresco.

A consistência — um dos componentes da trabalhabilidade —, pode ser definida como sendo a maior ou menor facilidade com que uma certa massa de concreto fresco deforma-se sob ação de força externa ou interna (por exemplo: o peso próprio). Esta deformação induzida permite classificar a consistência de maneira descritiva como seca, semiplástica, plástica e fluida.

Dos métodos existentes para determinação da consistência do concreto, o mais difundido no Brasil é o ensaio do abatimento do tronco de cone<sup>(5)</sup> (SLUMP), que está esquematizado na figura 5.

O método de ensaio citado é aplicável apenas para concretos plásticos. Quando a consistência for seca é necessário lançar mão

de outros métodos mais enérgicos, como, por exemplo, o VÊBÊ<sup>(6)</sup> (figura 6).

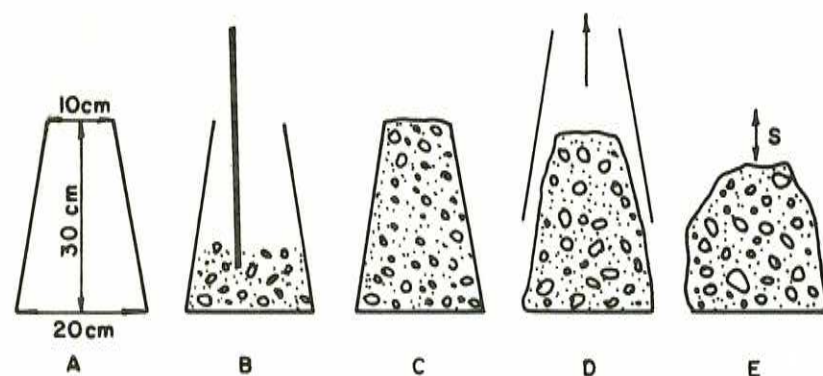


FIGURA 5 - Ensaio de abatimento

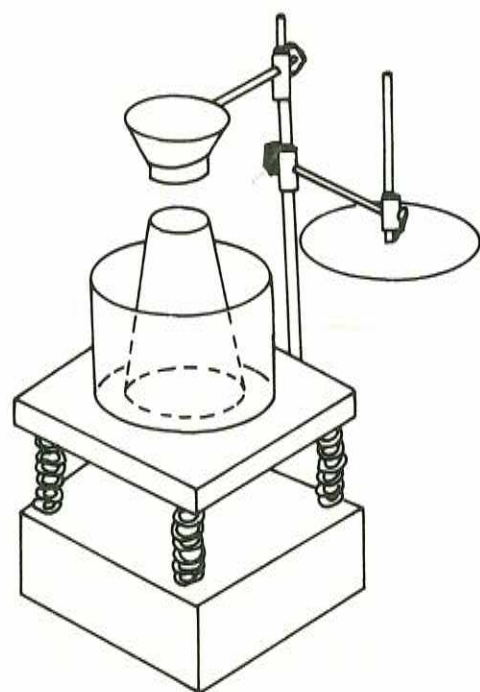


FIGURA 6 - Ensaio Vêbê - Esquema e aparelho

O concreto deverá possuir consistência adequada às condições e meios disponíveis na obra.

Na tabela 1<sup>(7)</sup> tem-se classificação aproximada dos concretos, de acordo com a consistência e aplicação.

TABELA 1

TRABALHABILIDADE	MEIOS DE COMPACTAÇÃO A EMPREGAR	MÉTODO DE MEDIÇÃO DA TRABALHABILIDADE	
		GRAUS VÊBÊ	ABAIXAMENTO DO CONE DE ABRAMS, cm
Terra úmida	Vibração potente e compressão (pré-fabricação)	> 30	-
Seca	Vibração potente (pré-fabricação)	30 a 10	-
Semiplástica	Vibração normal	10 a 2	0 a 4
Plástica	Socamento	-	4 a 15
Fluida	Espalhamento pelo próprio peso	-	> 15

A não adequação da plasticidade do concreto aos métodos de transporte, lançamento e adensamento de uma obra em particular, pode levar à segregação da mistura, isto é, separação dos seus constituintes, ou a obtenção da peça de concreto moldada com vazios excessivos.

A plasticidade de um concreto é consequência, principalmente, das características qualitativas e quantitativas dos diversos componentes da mistura, que serão analisados isoladamente a seguir.

### 3.1 Influência dos agregados na plasticidade do concreto

Dos componentes do concreto, o agregado tem marcante influência sobre a sua plasticidade, influenciando diretamente a quantidade de água requerida para determinada consistência.

Para efeitos de dosagem, os agregados são divididos em duas classes: os agregados graúdos, cujas partículas são predominantemente maiores que 4,8mm, e os agregados miúdos, comumente designados simplesmente por areia, nos quais a quase totalidade das partículas são menores do que 4,8mm. Seus efeitos sobre a plasticidade são distintos, e, por este motivo, serão analisados separadamente.

a) *Agregados graúdos*

Os agregados graúdos são normalmente subdivididos em classes de acordo com suas dimensões máximas. Define-se como dimensão máxima característica de um agregado a abertura da peneira — pertencente à série de peneiras definida pela norma EB-4<sup>(8)</sup> — na qual ficam retidas 5% — ou porcentagem imediatamente inferior — de suas partículas.

Os agregados graúdos utilizados com maior freqüência no Brasil, excetuando-se os empregados na construção de barragens, possuem dimensões máximas características de 9,5, 25 e 32mm, designadas respectivamente por britas 0, 1 e 2.

As principais considerações que podem ser feitas com relação aos agregados graúdos são:

- . Partículas arredondadas ou subarredondadas e de textura superficial lisa — como o seixo rolado — favorecem a plasticidade do concreto, exigindo menos água de amassamento. Em contrapartida, a ligação matriz-agregado — no estado endurecido — é prejudicada.
- . Agregados provenientes de britagem, que possuam forma cúbica e com textura superficial rugosa, apresentam maior área específica e requerem, portanto, maior quantidade de água de molhagem. As arestas vivas destes grãos provocam também maior atrito entre eles, aumentando, conseqüentemente, o consumo de água, areia e cimento.
- . Agregados cujas partículas são lamelares ou alongadas necessitam de maior quantidade de areia para uma dada plasticidade, aumentando, conseqüentemente, o consumo de água e cimento da mistura.
- . Agregados com maior dimensão máxima requerem menor teor de areia para uma dada plasticidade e, portanto, apresentam menor consumo de água. A tabela 2 fornece indicação, por parte do *Bureau of Reclamation (EUA)*, da porcentagem ideal de areia, em relação ao agregado total, em função da dimensão máxima do agregado. A razão disto pode ser explicada pela diminuição da área específica do agregado graúdo, que requer, portanto, menos argamassa para cobrir seus grãos e manter a sua capacidade lubrificante entre as partículas do agregado graúdo.

TABELA 2

DIMENSÃO MÁXIMA (mm)	9,5	12,5	19	25	38
Porcentagem de areia em relação ao volume absoluto do agregado total	60	50	42	37	34

b) *Agregados miúdos (areia)*

Os agregados miúdos têm influência preponderante sobre a plasticidade do concreto, por causa da característica de possuir elevada área específica. Qualquer alteração do teor na mistura irá provocar mudanças significativas no consumo de água e, conseqüentemente, no de cimento. Como o cimento é o material mais caro, alterações no consumo de areia incidem diretamente sobre o custo do concreto.

A maneira mais adequada para caracterização das areias é mediante a determinação da área específica; entretanto, este procedimento de ensaio é demorado e caro e, ao invés dele, lança-se mão de outro índice de finura, bastante difundido, que é o módulo de finura de Abrams (MF). Areias, com o mesmo MF e formato de partículas, necessitam, em princípio, de igual quantidade de água para obter a mesma plasticidade no concreto.

O módulo de finura, que pode ser utilizado, tanto para os agregados graúdos como para os miúdos, é calculado somando-se as porcentagens retidas acumuladas na série normal de peneiras — obtidas através da análise granulométrica do agregado — e dividindo o resultado por 100. Por exemplo, vamos considerar a análise granulométrica da tabela 3.

O módulo de finura é proporcional à área situada acima da curva granulométrica do material passante (figura 7). Assim, quanto mais fino for o material, menor será o seu módulo de finura. Uma interpretação que podemos dar ao seu valor numérico é que a dimensão média das partículas vai situar-se próxima à abertura daquela peneira da série normal, contada a partir da mais fina, que corresponde, aproximadamente, ao valor do módulo considerado como ordinal. Como exemplo, o MF calculado na tabela 3,

igual a 2,59 que é aproximadamente igual a 3, significa que a dimensão média do agregado está próxima da abertura da 3ª peneira utilizada, contada a partir da mais fina (0,15mm), que é a 0,6mm.

TABELA 3

PENEIRA ABNT (mm)	PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA
4,8	0
2,4	6
1,2	20
0,6	52
0,3	84
0,15	97
< 0,15	100 (*)
$\Sigma$	259
MF	2,59

(\*) Não entra no cálculo da  $\Sigma$ .

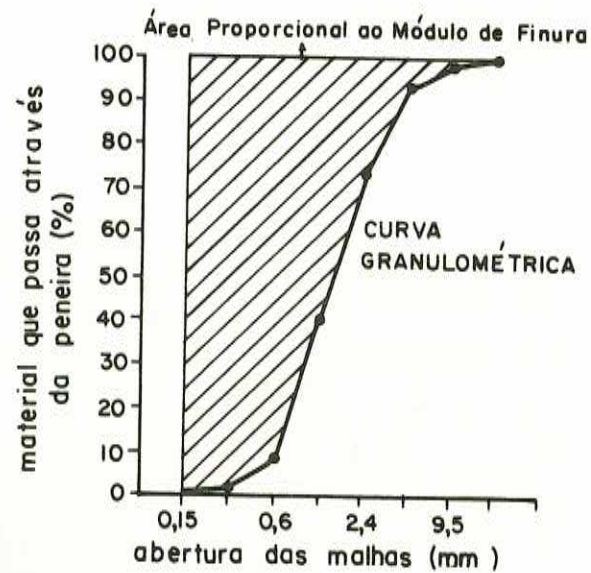


FIGURA 7

A desvantagem da utilização do módulo de finura é não levar em consideração a curva granulométrica nem a área específica do agregado. É possível, portanto, que agregados com mesmo módulo de finura apresentem curvas granulométricas com conformações bastante diferenciadas entre si (figura 8).

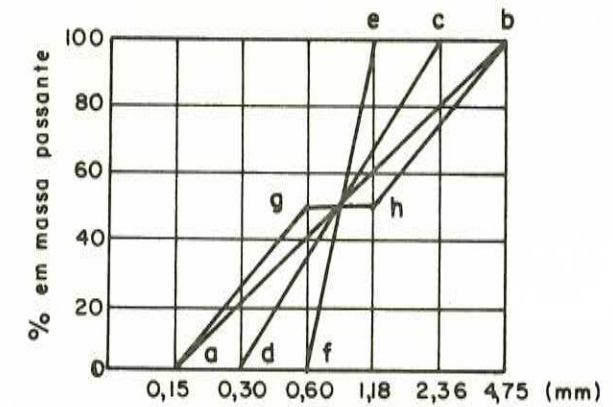


FIGURA 8 - Areias com mesmo M.F.

Passemos a analisar sumariamente alguns dos fatores, relativos às areias, que afetam a plasticidade do concreto.

- . A forma e a textura superficial das partículas têm grande influência sobre a plasticidade, sendo que esta será prejudicada quando forem mais angulosas, rugosas ou alongadas.
- . Areias mais finas requerem maiores quantidades de água de moagem devido às suas maiores áreas específicas. Em contrapartida, pelo fato de serem mais finas, o teor de areia requerida pelo concreto de igual plasticidade será menor, compensando desta maneira o efeito negativo da finura elevada.
- . Areias muito grossas, quando utilizadas em concretos cuja dimensão máxima do agregado seja pequena (9,5mm), resultam em misturas muito ásperas e pouco coesivas, devido ao fenômeno de interferência entre as partículas.
- . A granulometria do agregado miúdo tem menos efeito sobre a plasticidade do que a do grão.



### 3.2 Efeitos do cimento sobre a plasticidade do concreto

O cimento é o componente mais fino do concreto e, apesar de sua elevada área específica, o aumento do consumo não equivale a um aumento proporcional da quantidade de água para manter constante a plasticidade. Isto ocorre porque as partículas ultrafinas do cimento funcionam como verdadeiros *rolamentos*, reduzindo o atrito entre os grãos maiores dos agregados permitindo maior fluidez da massa de concreto fresco. O mesmo efeito se obtém quando o cimento é substituído por inertes menores que  $0,15\text{mm}^{(3)}$ .

As principais influências do cimento (ou inertes ultrafinos) no concreto fresco são:

- . plasticidade aumentada quando a relação água/cimento cresce;
- . aumento do consumo de cimento (mantendo-se o fator água/cimento constante) favorece a plasticidade, aumenta a coesão da mistura fresca e reduz a segregação;
- . exsudação diminuída quando o consumo de cimento aumenta;
- . consistência deficiente do concreto fresco, devida a agregado miúdo com forma ou textura de partículas defeituosas, pode ser sanado com o aumento do consumo de cimento;
- . cimentos com determinadas adições minerais (principalmente cinza volante) favorecem a plasticidade do concreto, pelo fato das adições serem bastante finas e de forma arredondada.

### 4. PRINCÍPIOS DA DOSAGEM DO CONCRETO

De modo geral, o concreto vem sendo utilizado pelo homem há mais de dois mil anos, sendo que os romanos já executavam notáveis obras de engenharia com material semelhante, usando como ligante o produto formado pela mistura de pozolana natural (cinzas vulcânicas) e cal. É de supor-se que o homem venha preocupando-se com o aspecto de dosagem também desde aquela época. Com a evolução da tecnologia, a dosagem dos concretos saiu da etapa empírica, caracterizada pelas receitas, para a etapa racional, na qual a composição é obtida em decorrência da aplicação de regras e preceitos definidos.

A dosagem empírica baseia-se apenas no aspecto prático de utilização do concreto, sem se preocupar em adequar as propriedades dos componentes às exigências ou requisitos do concreto fresco ou endurecido, nem em levar em conta o fator econômico. Deste modo, se determinada obra feita com um certo traço — proporção dos constituintes — de concreto apresenta boas condições de utilização, e não havendo nenhuma outra restrição quanto, por exemplo, de ordem estética, os construtores extrapolam que o mesmo concreto seria satisfatório para outras obras do mesmo tipo da primeira. Desta forma, as *receitas* de concretos ganham adeptos em função do melhor ou pior sucesso em obras similares com materiais semelhantes e, ainda hoje, é comum ouvir louvores sobre determinados traços ou mesmo consultas sobre qual o traço ideal para determinada obra, sem se fazer qualquer menção sobre os materiais ou condições da obra, havendo, também, pouca preocupação com o aspecto de custo do concreto.

Já na dosagem racional dos concretos, a determinação dos teores do cimento, agregados e água é feita baseada em fundamentos científicos, levando em consideração as características específicas de cada um dos constituintes, como o tipo de cimento, natureza, forma geométrica e textura superficial dos agregados, características dos moldes e armaduras das peças de concreto. Utilizam-se também, como parâmetros de dosagem, as condições de transporte, lançamento, adensamento do concreto fresco, níveis de resistência ou durabilidade exigidas ao concreto endurecido.

Entretanto, como é praticamente impossível levar analiticamente em conta os inúmeros parâmetros de dosagem, sempre há necessidade de comprovar experimentalmente se a mistura obtida atende a maior parte dos requisitos e condições da prática.

Agora que já foram estabelecidas as diferenças entre a dosagem racional e a empírica, cabe muito bem a seguinte questão: se os concretos dosados empiricamente apresentam condições satisfatórias de utilização, para que dispender-se dinheiro e tempo com inúmeros ensaios para a execução da dosagem racional?

A resposta pode ser dada em termos de garantia de qualidade e custo do concreto. Vamos supor, por exemplo, que necessitamos de um concreto com resistência à compressão, aos 28 dias, de 15MPa. Empiricamente, um concreto de traço 1:2:3

em massa — 1kg cimento:2kg areia:3kg brita — e consumo de  $350\text{kg/m}^3$  (água/cimento = 0,56) seria satisfatório e teria um custo aproximado, considerando apenas os materiais, de 15,3 mil cruzeiros. Se for feito um estudo específico de dosagem para o mesmo concreto, obter-se-á o traço 1:1,97:4,53, com consumo de cimento de  $280\text{kg/m}^3$ , ao custo de 13,8 mil cruzeiros, resultando numa economia de aproximadamente 1,5 mil cruzeiros. Entretanto, a dosagem racional tem um certo custo inicial, em torno de 70 mil cruzeiros, relativo aos primeiros ensaios e experimentação; portanto, a execução do estudo de dosagem se justifica economicamente quando o volume de concreto necessário para a obra for superior a  $47\text{m}^3$ , como mostra a figura 9.

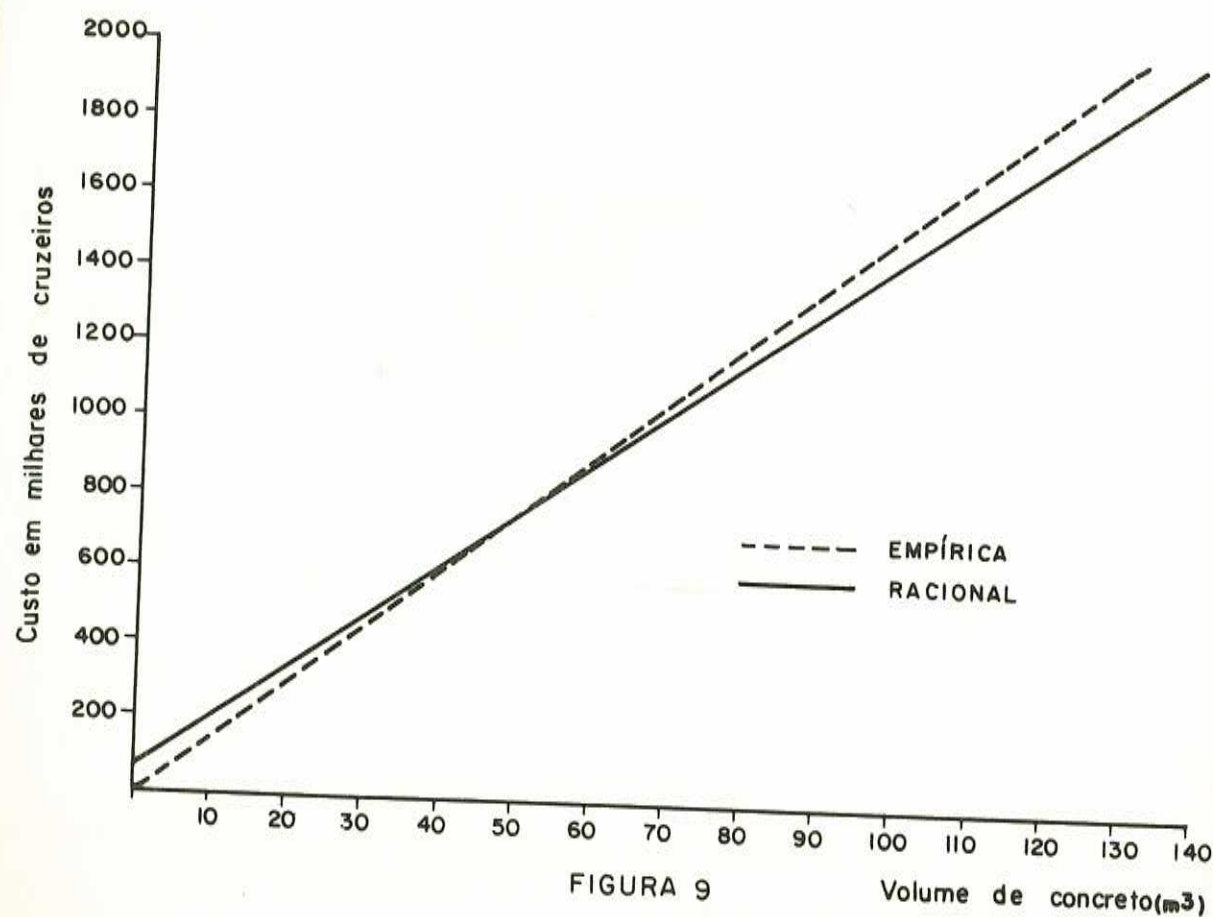


FIGURA 9

Volume de concreto(m<sup>3</sup>)

Apenas para efeito de comparação, para a pavimentação de trecho de 100m de uma estrada com 8m de largura são necessários aproximadamente  $160\text{m}^3$  de concreto. Deste modo, é sempre importante fazer-se uma rápida análise econômica, antes de optar por um ou outro método de dosagem, mas nunca esquecendo que a racional é sempre economicamente mais favorável do que a empírica.

## 5. DOSAGEM RACIONAL

Para poder realizar a dosagem racional de determinado concreto é necessário percorrer uma série de etapas sucessivas, desde o levantamento dos agregados disponíveis até a composição definitiva do concreto. A seqüência destas etapas pode ser compreendida facilmente com o auxílio do diagrama da figura 10.

Na etapa 1 deve-se verificar os agregados disponíveis na região ou próximos à obra, fazendo a caracterização completa, determinando, principalmente, granulometria, absorção, densidade e, quando houver necessidade, reatividade potencial álcali-agregado. Na etapa 2 deve-se analisar cuidadosamente as especificações do concreto e as condições da obra, como o espaçamento das armaduras e dimensões das peças a serem concretadas, condições de transporte, lançamento e adensamento do concreto.

Na etapa 3 deve-se chegar a uma composição estimada (etapa 4) das proporções dos materiais componentes, utilizando os parâmetros determinados nas etapas 1 e 2, através de método de dosagem racional. Quanto ao método de dosagem, cabem aqui algumas considerações: existe atualmente grande número de métodos de dosagem racional, e, a título de exemplo, citamos Arredondo<sup>(9)</sup> que catalogou, em seu trabalho *Dosificación de Hormigones*, cerca de 20 métodos utilizados principalmente na Europa. Se levarmos em consideração outros existentes na Ásia, África, América, etc., este número deverá subir consideravelmente. No Brasil temos os métodos da ABCP, IPT, INT e UFRGS, bastante conhecidos. Este grande número de métodos de dosagem não deve ser considerado contraditório, pois normalmente muitos deles aplicam-se apenas a determinadas condições especiais, como, por exemplo, pré-moldados, concreto massa, etc., enquanto outros são de caráter regional, isto é, são específicos aos materiais encontrados mais abundantemente numa determinada região.

Finalmente, na etapa 5 é feita a verificação experimental do concreto e são feitas as modificações porventura necessárias para as condições das etapas 1 e 2 serem atendidas de fato.

## ESQUEMA DA DOSAGEM RACIONAL

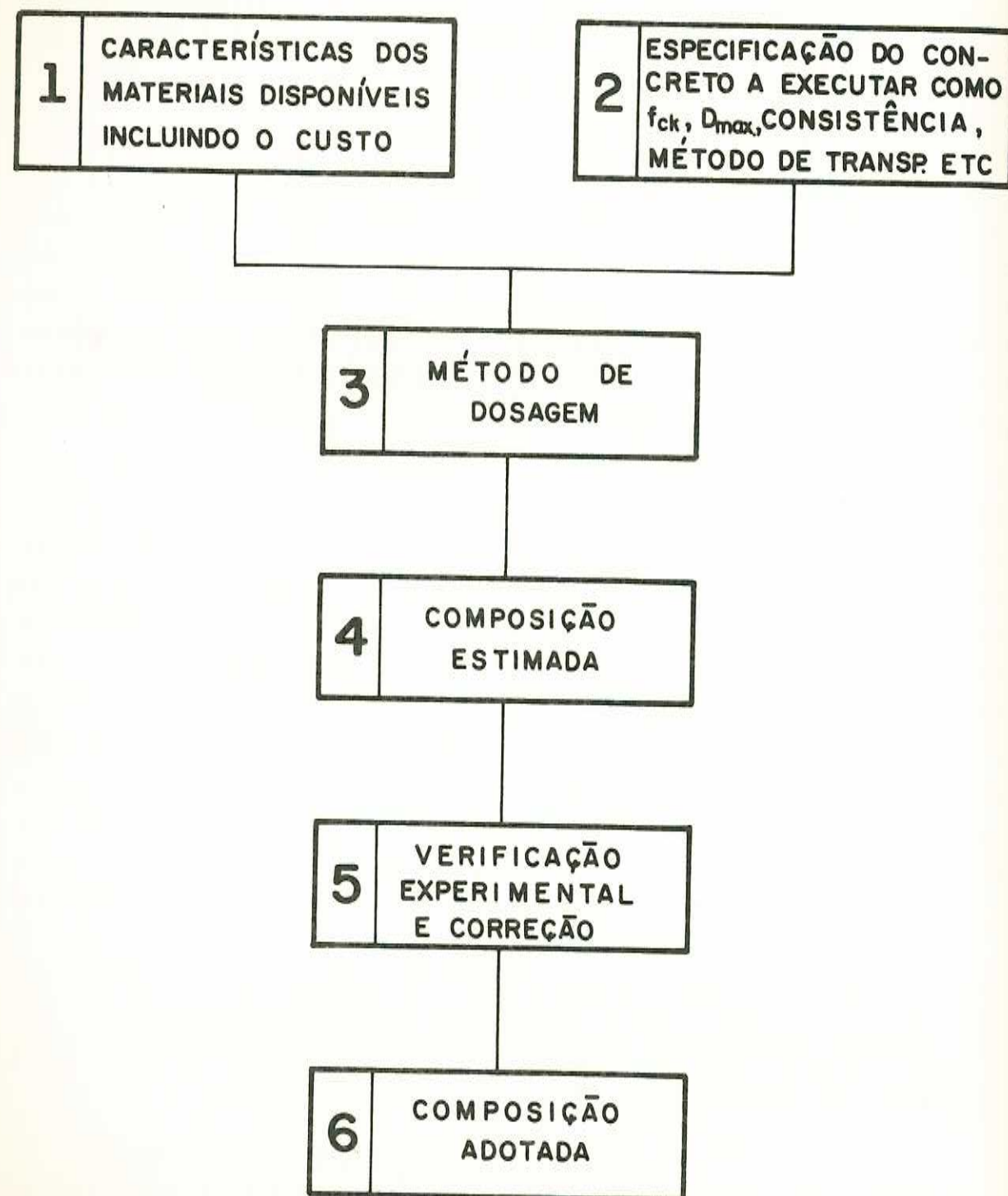


FIGURA 10

## 6. MÉTODO PRÁTICO DE DOSAGEM RACIONAL DO CONCRETO

A ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, no intuito de desenvolver um método de dosagem de concreto simples e eficiente, vem trabalhando, já há algum tempo, com dosagens experimentais. Desta pesquisa, em que foram confeccionados aproximadamente 150 traços de concreto, chegou-se à conclusão de que o método de dosagem racional proposto pelo *American Concrete Institute* <sup>(10)</sup> atendia perfeitamente aos requisitos de simplicidade e eficiência, havendo, entretanto, necessidade de se fazer alguns ajustes para as condições brasileiras.

Na verdade, foi elaborado um novo método de dosagem bem mais aperfeiçoado do que seu antecessor — do qual conservou apenas as bases de cálculo —, e mais adaptado às condições brasileiras. O procedimento de dosagem é bastante simples, sendo composto por três etapas, conforme está esquematizado na figura 11.

Na etapa 1 é feita a caracterização dos materiais disponíveis, determinando-se principalmente: a resistência normal à compressão aos 28 dias da marca do cimento a ser utilizado, a dimensão máxima característica, massa unitária e absorção dos agregados graúdos; o módulo de finura e absorção do agregado miúdo e massa específica real dos três materiais.

Na etapa 2 são fixadas as características que o concreto deve possuir tanto no estado fresco — plasticidade — como no endurecido — resistência química e mecânica.

A etapa 3 consiste no método de dosagem propriamente dito, e pode ser subdividida em 5 partes. São determinados, levando em consideração as informações obtidas nas etapas 1 e 2, os consumos de cimento (C), água (C<sub>w</sub>), areia (C<sub>a</sub>) e brita (C<sub>b</sub>). Este método de dosagem é aplicável à maior parte dos concretos estruturais moldados *in loco* e que utilizem agregados normais.

1<sup>a</sup> - Fixação do fator água/cimento

A fixação do fator água/cimento deve levar em conta o grau de exposição ou proteção da superfície do concreto e a intensidade ou agressividade do meio ao qual vai ficar exposto — a durabilidade da obra — e a resistência mecânica do concreto. No primeiro caso, estão incluídas as condições ambientais e climáticas a que o concreto vai ser submetido, devendo o fator água/cimento ser, via de regra, mais baixo quanto piores elas forem.

Para a fixação do fator água/cimento em função da resistência mecânica à compressão desejada ao concreto, aos 28 dias de idade, é necessário conhecer, ou ao menos ter idéia da resistência normal à compressão do cimento aos 28 dias de idade. Com estes dados pode-se determinar o fator água/cimento com o auxílio da figura 12. Caso também haja imposição de um fator água/cimento máximo requerido pelas condições de durabilidade, deve-se optar pelo menor dos dois valores, pois desta maneira as duas condições vão ser simultaneamente obedecidas.

2ª - Água estimada por metro cúbico de concreto

A quantidade de água requerida para um concreto, com determinada consistência, é função principalmente das características dos agregados e do consumo de cimento. Portanto, a sua determinação exata deve ser feita experimentalmente. Os valores constantes na tabela 4, fornecidos em função da dimensão máxima e consistência do concreto, devem ser considerados como sendo uma primeira aproximação e referem-se a concretos com agregado graúdo britado e areia natural.

Quando são utilizados agregados arredondados, como, por exemplo, o seixo rolado, a quantidade estimada de água pode ser reduzida de 5 a 15%, dependendo do grau de arredondamento e da textura superficial das partículas.

TABELA 4 - Consumo aproximado de água

ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (mm)	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (mm)			
	9,5	19,0	25,0	32,0
40 a 60	215	185	180	175
60 a 80	220	190	185	180
80 a 100	225	195	190	185

MÉTODO DE DOSAGEM ABCP/ACI

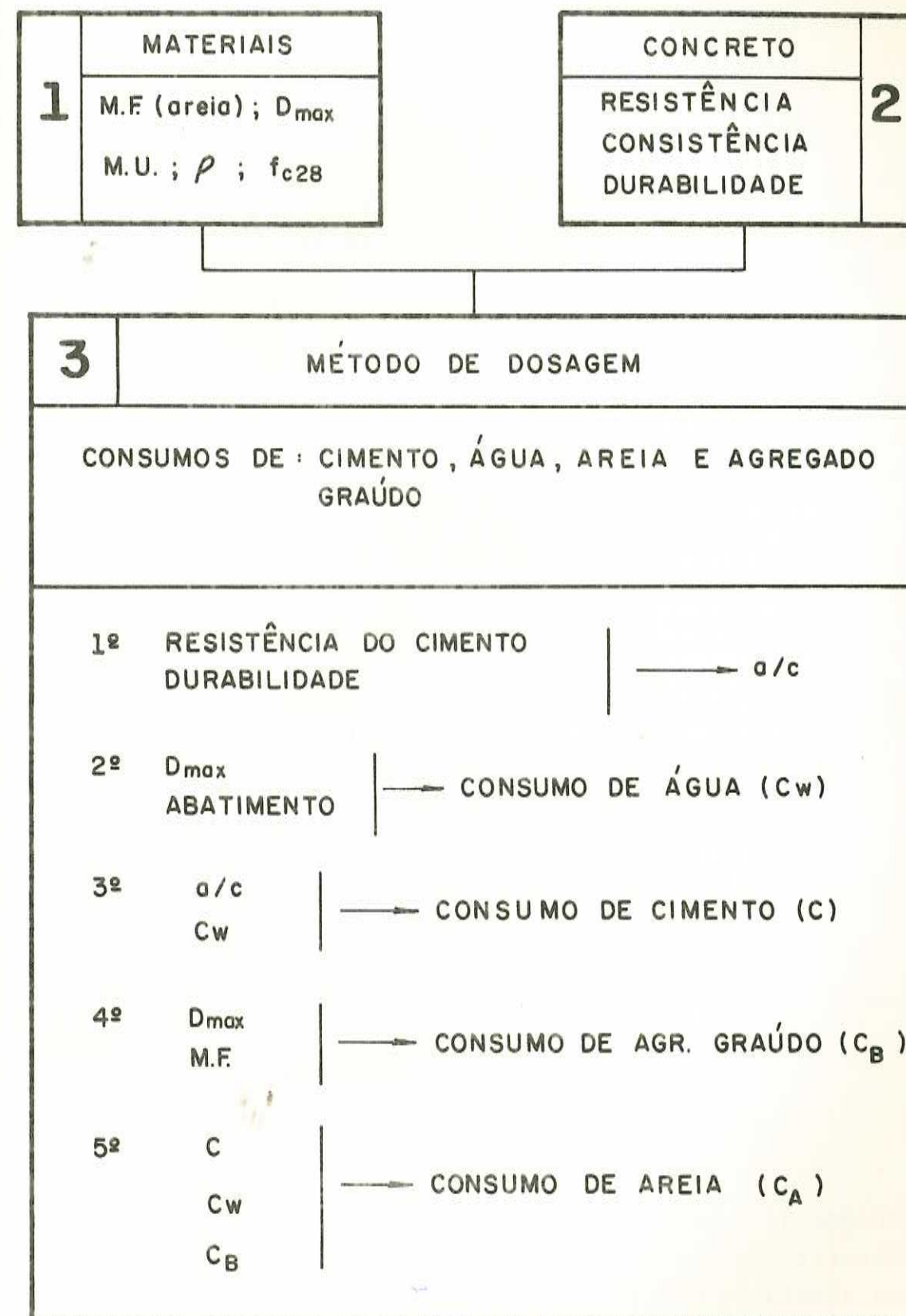


FIGURA II

3ª - Consumo de cimento

O consumo de cimento (C) por metro cúbico de concreto é obtido dividindo o consumo de água (Cw) pelo fator água/cimento:

$$C = \frac{Cw}{(a/c)}$$

4ª - Consumo de agregado graúdo

O consumo de agregado graúdo (Cb) por metro cúbico de concreto é função da dimensão máxima característica e do módulo de finura da areia. A tabela 5 fornece o volume aparente de agregado graúdo compactado por metro cúbico de concreto em função dos dois parâmetros; o consumo Cb é calculado multiplicando-se o valor encontrado na tabela pela massa unitária do agregado em estado compactado a seco.

TABELA 5 - Volume do agregado graúdo compactado por m³ de concreto

MF \ D <sub>max</sub> (mm)	9,5	19,0	25,0	32,0
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660

5ª - Consumo de agregado miúdo

O consumo de agregado miúdo — areia (Ca) — por metro cúbico de concreto fresco é obtido pela diferença entre a soma dos volumes absolutos dos demais constituintes já calculados em relação a 1m³ de concreto:

FIXAÇÃO DO FATOR a/c

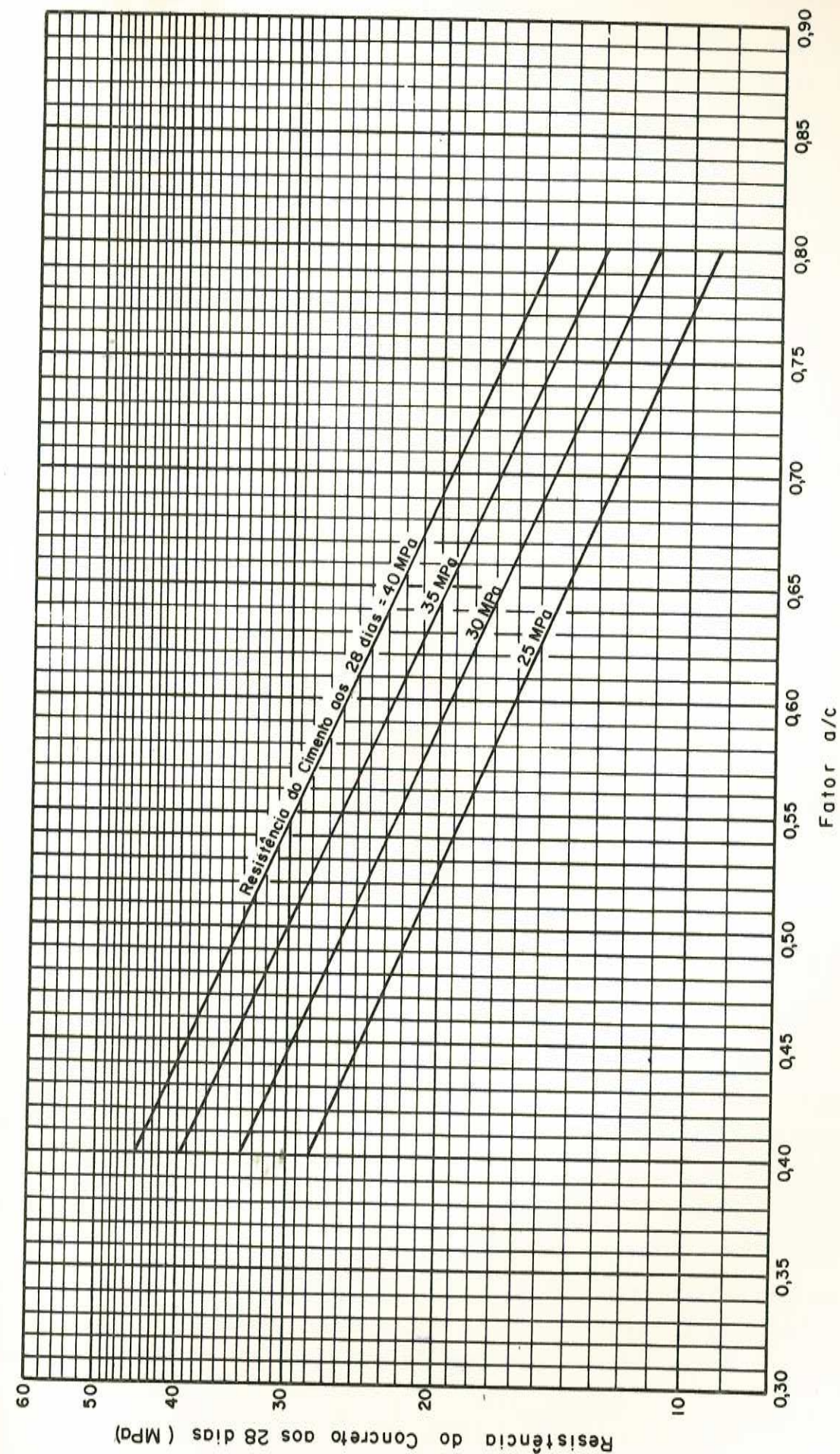


FIGURA 12

$$V_a = 1 - \left( \frac{C}{\rho_c} + \frac{C_b}{\rho_b} + C_w \right)$$

Onde:  $V_a$  é o volume absoluto de areia;  $C$ ,  $C_b$  e  $C_w$  são, respectivamente, os consumos de cimento, agregado graúdo e água por metro cúbico de concreto;  $\rho_c$  e  $\rho_b$  as massas específicas do cimento e da brita, respectivamente. Portanto, o consumo de areia ( $C_a$ ) é:

$$C_a = \rho_a \times V_a$$

Onde  $\rho_a$  é a massa específica de areia.

#### Exemplo de cálculo da dosagem

Vamos supor que se necessite de concreto para ser utilizado na construção de uma estrutura revestida, com resistência aos 28 dias de 20MPa, e que no estado fresco tenha consistência, medida pelo ensaio de abatimento, de  $50 \pm 10$ mm. A massa específica do cimento é  $3,10 \text{Mg/m}^3$  e sua resistência aos 28 dias é 35MPa. As características dos agregados são:

$$\begin{array}{l} \text{areia} \left\{ \begin{array}{l} \text{MF} = 2,6 \\ \rho_a = 2,65 \text{Mg/m}^3 \end{array} \right. \\ \\ \text{brita} \left\{ \begin{array}{l} D_{\text{max}} = 25 \text{mm} \\ \text{M.U.} = 1,45 \text{Mg/m}^3 \\ \rho_b = 2,7 \text{Mg/m}^3 \end{array} \right. \end{array}$$

Devemos inicialmente fixar o fator água/cimento. Como a estrutura em questão não estará sujeita a ataques químicos, ele será ditado apenas pelas resistências do cimento e concreto aos 28 dias de idade. Entrando-se com os dois valores da figura 12 obtemos o valor  $\frac{a}{c} = 0,64$ .

Para estimar o consumo de água ( $C_w$ ), basta procurar, na tabela 4, o valor que corresponde a  $A_b = 50 \pm 10$ mm e  $D_{\text{max}} = 25$ mm, obtendo-se  $C_w \approx 180/\text{m}^3$ . O consumo de cimento ( $C$ ) agora é imediato:

$$C = \frac{C_w}{a/c} = \frac{180}{0,64} \approx 280 \text{kg/m}^3$$

o consumo de brita ( $C_b$ ) é obtido entrando na tabela 5 com os valores do módulo de finura da areia ( $\text{MF} = 2,6$ ) e a dimensão máxima característica ( $D_{\text{max}} = 25$ mm), resultando o volume aparente compactado de agregado graúdo seco ( $V_{ap}$ ) por metro cúbico de concreto:  $V_{ap} = 0,715 \text{m}^3/\text{m}^3$ . O  $C_b$  é obtido multiplicando o  $V_{ap}$  pela massa unitária do agregado graúdo compactado ( $\mu$ ):

$$C_b = 1450 \text{kg/m}^3 \times 0,76 \text{m}^3/\text{m}^3 \approx 1040 \text{kg/m}^3$$

Uma vez calculados os consumos de cimento, areia, brita e água, o consumo de areia é obtido multiplicando-se o valor do seu volume absoluto (obtido como diferença entre  $1 \text{m}^3$  e a soma dos volumes absolutos de todos os demais componentes) pela massa específica da areia:

$$\begin{aligned} V_a &= 1 - (C/P_c + C_b/P_b + C_w) = \\ &= 1 - \left( \frac{280}{3000} + \frac{1040}{2700} + \frac{180}{1000} \right) = 0,34 \text{m}^3 \end{aligned}$$

$$C_a = P_a \times V_a = 2650 \times 0,34 \approx 900 \text{kg/m}^3$$

Para maior facilidade, o traço obtido é expresso em relação à massa de cimento, bastando para isso dividir os consumos de areia e agregado graúdo pelo consumo de cimento e apresentando também o fator água/cimento e o consumo de cimento ( $c$ ):

$$1: \frac{C_a}{C} : \frac{C_b}{C}$$

$$1: 3,21 : 3,71$$

$$a/c = 0,64$$

$$c = 280 \text{kg/m}^3$$

Logicamente, como acontece em todos os casos de dosagem racional, há necessidade de se fazer comprovação experimental no laboratório ou na obra para verificar se as proporções dos constituintes fornecem um concreto de acordo com as propriedades fixadas na Etapa 2. Caso contrário, deve-se proceder aos ajustes necessários.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - FULTON, F. S. Concrete technology; a South African handbook. Johannesburg, Portland Cement Institute, 1969.
- 2 - FRANJETIC, Zorislav. Endurecimiento rápido del hormigón; hormigón pesado, hormigón ligero; materiales de construcción silicatados. Madrid, Instituto Eduardo Torroja, 1971.
- 3 - NEVILLE, Adam M. Propriedades do concreto. Trad. de Salvador Eugênio Giammusso. São Paulo, Pini, 1982.
- 4 - SOBRAL, Hernani Sávio. Propriedades do concreto fresco. São Paulo, ABCP, 1977. (ET-15).
- 5 - ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Concreto; determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone; NBR-7223. Rio de Janeiro, 1982.
- 6 - BRITISH Standards Institution (BSI). Methods of testing concrete; BS-1881. London, 1971. part 2.
- 7 - COUTINHO, A. de Sousa. Fabrico e propriedades do betão. Lisboa, LNEC, 1974. 2v.
- 8 - ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Agregados para concreto; Projeto 18:02.01-001. Rio de Janeiro, 1981.
- 9 - ARREDONDO VERDU, F. Dosificación de hormigones. Madrid, Instituto Técnico de la Construcción, 1965.
- 10 - AMERICAN Concrete Institute (ACI). Recommended practice for selecting proportions for normal and heavyweight concrete; ACI 211.1. In: \_\_\_\_\_. Manual of concrete practice. Detroit, 1981. v.1, p.211.1-20.