

## O ensaio e o controle na maior economia do cimento

A necessidade da adoção de ensaios, controles e estabelecimento de normas rígidas para o manuseio e uso do cimento, tendo em vista o elenco variado de aplicações do material na indústria da construção, é um assunto que vem sendo colocado cotidianamente na ordem do dia, por técnicos do setor. Mesmo porque o usuário invariavelmente tem-se ressentido de uma regularidade e uniformidade das propriedades dos cimentos disponíveis no mercado nacional.

Paulo Helene, engenheiro pesquisador do IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A. e 1.º secretário do CB-18-Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados da ABNT, considera que a atual crise de energia vem induzindo os técnicos e usuários, bem como a própria indústria da construção, de um modo geral, a constatar a necessidade do aprofundamento de pesquisas visando ao encontro dos meios mais eficientes para a economia do material. Nesse sentido, não se pode mais admitir que, para serviços diferentes, seja ainda aplicado um mesmo único tipo de material. Entende o pesquisador que, a esta altura dos graves problemas econômicos vividos pelo país, não se pode mais aceitar que um mesmo cimento eventualmente empregado na execução, por exemplo, de um reservatório de água de grande porte, seja o mesmo que deva ser aplicado em outras obras diversas, tais como assentamento de piso, alvenaria, estruturas de pequeno porte etc. Em resumo, ele acha que "não se pode permitir que cimentos mais nobres sejam usados em serviços de menor responsabilidade, onde os requisitos de desempenho sejam mais brandos".

O que se deve ter em vista, com relação à variedade de tipos de cimentos segundo a variedade de obras, é que o processo precisa ter um respaldo técnico através da comprovação experimental, desenvolvido por ampla pesquisa em laboratório e em campo, dos diferentes teores de constituintes secundários, que poderão ser adicionados sem prejuízos do desempenho do aglomerante para a finalidade prevista.

Em trabalho técnico publicado a seguir, Paulo Helene discorre sobre o tema refe-



No laboratório do IPT uma operação de ensaio com o lançamento de cimento na betoneira

rido, bem como a respeito dos "Cimentos Portland: algumas características de interesse da patologia dos concretos". O pesquisador chama a atenção para o fato de que atualmente são fabricados e normalizados no Brasil seis tipos de cimento Portland. E mostra por que ainda persistem dificuldades quanto à normalização ou uso restrito de alguns daqueles tipos de cimento. O trabalho técnico, na íntegra, é o que se segue:

Cimento Portland comum — aglomerante hidráulico ativo, obtido pela moagem de clínquer — é constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio hidráulicos. Seu endurecimento se dá por reações de hidratação, sendo os compostos resultantes, em sua maior parte, insolúveis em água potável. Segundo a ABNT (EB-1/77 — Cimento Portland Comum), é permitida ainda a adição de até 10% de escória granulada de alto-forno em relação ao peso total do aglomerante.

Há 156 anos atrás, em 1824, o inglês Joseph Aspdin patenteou o primeiro processo de fabricação de cimento Portland. A partir daí, em ritmo acelerado, desenvolveram-se a produção e emprego mundial de cimento a ponto de ser utilizado atualmente como um dos parâmetros de avaliação do grau de desenvolvimento de um país.

Como se verifica no quadro 1, em 1979 o Brasil, apesar de colocado em 9.º lugar entre os países de maior produção de cimento Portland, apresentava um modesto 44.º lugar na classificação que considera o consumo **per capita** em kg/habitante/ano, evidenciando que ainda há muito por desenvolver na área de produção e emprego de cimento no país. Se por um lado isto espelha nosso subdesenvolvimento, por outro é extremamente animador pois assegura um amplo campo de trabalho para a categoria dos engenheiros civis na medida em que se consi-

**QUADRO 1**  
**Importância da Indústria do Cimento**

Produção Mundial (1979)		Consumo per capita (1979)	
mil t		kg/habitante/ano	
1.º Rússia	123.018	1.º Arábia Saudita	1.295
2.º Japão	87.131	5.º Alemanha Oriental	719
3.º Estados Unidos	70.507	6.º Japão	705
4.º China Popular	47.000	7.º Itália	666
5.º Itália	39.484	14.º Espanha	559
6.º Alemanha Ocidental	34.708	18.º França	518
7.º França	31.233	20.º Polónia	496
8.º Espanha	29.315	23.º Rússia	453
9.º Brasil	24.874	34.º Estados Unidos	337
10.º Polónia	19.180	44.º Brasil	209

dere o país em desenvolvimento e que se deseje incluí-lo entre os desenvolvidos.

Atualmente são fabricados e normalizados no Brasil seis tipos de cimento Portland conforme se pode observar no quadro 2. Na realidade, o cimento Portland de alta resistência a sulfatos — ARS, apesar de normalizado ainda não é largamente produzido comercialmente. Por outro lado, a Cimento Irajá S. A. produz comercialmente cimento Portland branco, que ainda não foi normalizado pela ABNT. Este cimento no Brasil, ao contrário de em outros países, ainda tem um uso restrito e bastante específico na engenharia civil. É interessante notar que em 1976, na França, já havia 16 tipos de cimento normalizados pela Afnor, perfazendo o total de 39 variedades. Na Espanha, em 1975, através do RC-75 já se normalizavam 12 tipos com 33 variedades. Isto dá bem uma idéia do ainda reduzido número de opções do mercado nacional que contava até 1980 com apenas seis tipos e dez variedades.

A indústria de cimento está passando e deverá passar por grandes transformações. A crise energética mundial vem obrigando a substituição dos combustíveis convencionais e a reformulação dos processos de calcinação. A isto acrescenta-se o enorme interesse em empregar cada vez mais adições ativas ou até mesmo inativas de forma a reduzir os custos de produção. A finura tanto do clínquer quanto das adições, o teor de enxofre decorrente do combustível e das matérias-primas, o reaproveitamento das cinzas e o emprego de aditivos são apenas alguns dos parâmetros que certamente terão seu valor alterado e seu campo de atuação ampliado. O aglomerante "Universal", que atualmente é muitas vezes confundido com o CP-320 tende a desaparecer. A otimização dos custos de produção forçará automaticamente o emprego racional dos cimentos hidráulicos. Para cada situação haverá o aglomerante mais adequado e conseqüentemente mais econômico. Isto exigirá do engenheiro civil um maior conhecimento da natureza dos

cimentos nacionais e da sua influência no comportamento dos concretos. Essa influência é particular de cada cimento e decorre das suas características intrínsecas. Portanto, se conhecermos os fundamentos dessa influência, poderemos prever o comportamento dos concretos bem como entender a sua patologia.

O objetivo destas considerações é ressaltar alguns aspectos importantes do controle de características físicas e mecânicas dos cimentos Portland, levantando inclusive alguns aspectos ainda não normalizados, mas que devem ser observados em obra a fim de que seja assegurada a obtenção de concretos resistentes e duráveis. As características físicas e mecânicas dos cimentos Portland são normalmente de fácil e rápida determinação através de ensaios normalizados pela ABNT, podendo ser agrupadas conforme demonstrado no quadro 3.

#### A FINURA

É uma característica intimamente ligada ao valor hidráulico do cimento, pois influi decisivamente na velocidade das reações químicas que se dão durante a pega e endurecimento.

A dissolução de um sólido em um líquido é tanto mais rápida e mais comple-

**QUADRO 2**  
**Tipos Normalizados de Cimentos Nacionais**

Denominação	Sigla	Classes	Idade de ensaio	Norma ABNT
Cimento Portland Comum	CP	250 320 400	28 dias	EB 1/77
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	ARI	310	07 dias	EB 2/74
Cimento Portland de Alto-Forno	AF	250 320	28 dias	EB-208/74
Cimento Portland Pozolânico	POZ	250 320	28 dias	EB-758/74
Cimento Portland de Moderada Resistência a Sulfatos e Moderado Calor de Hidratação	MRS	250	28 dias	EB-903/77
Cimento Portland de Alta Resistência a Sulfatos	ARS	200	28 dias	EB-903/77

**QUADRO 3**  
**Ensaio Normalizados pela ABNT**

Ensaio em	Características físicas e mecânicas	Método de ensaio
Pó	Finura	MB-1/79 — Ensaio de cimento Portland
	Massa específica	MB-346/66 — Método de ensaio para a determinação da massa específica de cimentos
	Superfície específica	MB-348/66 — Determinação da finura de cimento Portland mediante emprego do aparelho de permeabilidade ao ar
	Pega	MB-1/79 — Ensaio de cimento Portland
Pastas	Expansibilidade	MB-1/79 — Ensaio de cimento Portland
	Consistência	MB-1/79 — Ensaio de cimento Portland
Argamassa	Resistência à compressão	MB-1/79 — Ensaio de cimento Portland

## REPORTAGEM DE CAPA

ta quanto mais fino é o sólido. No caso de cimento o processo de hidratação caminha de fora para dentro e ao primeiro contato, a água age sobre o grão a somente  $0,1\mu\text{m}$  de profundidade, abrangendo cerca de  $4\mu\text{m}$  no primeiro mês. Daí a necessidade de se evitar núcleos inertes moendo o cimento. Por outro lado, as resistências mecânicas, a velocidade de desprendimento do calor de hidratação, a retração e os riscos de fissuramento são diretamente proporcionais à finura, ou seja, aumentam com o crescimento desta. É preciso então encontrar uma solução de compromisso entre consequências desejáveis e indesejáveis, estabelecendo-se uma faixa ótima.

A finura do cimento se mede pelo resíduo na peneira n.º 200 da ABNT de malha quadrada  $\neq 0,075$  mm, ou então através da superfície específica no aparelho de permeabilidade ao ar (aparelho de Blaine).

A superfície específica de um cimento, em  $\text{cm}^2/\text{g}$ , pode ser avaliada pela seguinte fórmula:

$$SE = \frac{6}{K \cdot \phi}$$

onde:  $K$  = massa específica do cimento em  $\text{g}/\text{cm}^3$   
 $\phi$  = diâmetro médio da partícula em cm

Segundo as normas brasileiras, a superfície específica mínima varia de  $2.400$   $\text{cm}^2/\text{g}$  para o CP-250 a  $3$  mil  $\text{cm}^2/\text{g}$  para ARI (alta resistência inicial). Em termos de dimensões médias de partícula teríamos uma variação de  $8\mu\text{m}$  a  $6\mu\text{m}$  respectivamente. Do ponto de vista da durabilidade dos concretos, é sempre preferível empregar-se cimentos mais grossos, desde que estes atendam às demais exigências, pois estarão menos sujeitos à retração, desenvolverão menor calor de hidratação e requererão menor quantidade de água para uma mesma consistência. Nos casos gerais uma alta finura ( $> 4.000$   $\text{cm}^2/\text{g}$ ) só interessa a casos especiais como calda para injeção de bainha em cabos de protensão, onde a exsudação é um dos fatores preponderantes recomendando-se, então, o emprego de cimentos mais finos, pois estes terão maior capacidade de retenção física da água de amassamento.

O aumento da finura dos cimentos, ou de qualquer outro material, acarreta um aumento de atividade superficial das partículas com conseqüente diminuição do tempo de pega e endurecimento. Em alguns casos é necessário acrescentar

maior quantidade de sulfato de cálcio (gesso) para corrigir esse problema, com eventual prejuízo na qualidade do cimento, já que o teor de clínquer por quilo de cimento também se reduzirá.

No quadro geral, publicado junto a este trabalho, verifica-se que se por um lado existe uma exigência de norma com relação à mínima superfície tolerável, por outro não está ainda limitado superiormente esse valor. Sabe-se que a crise energética do óleo combustível impulsiona a indústria a utilizar ao máximo o clínquer obtido, moendo-o à custa de energia elétrica mais barata. Isto desperda o meio técnico para a pesquisa de máxima finura tolerável que não acarrete prejuízos ao desempenho do concreto.

### MASSA ESPECÍFICA

A massa específica do clínquer de cimento Portland é superior a  $3$   $\text{g}/\text{cm}^3$ , da ordem de  $3,2$   $\text{g}/\text{cm}^3$ . Com adição de gesso, cuja função é controlar a pega, esse valor abaixa para cerca de  $3,10$   $\text{g}/\text{cm}^3$  ou menos. Quando contém outras adições esse valor descende significativamente e serve como um dos parâmetros de controle de qualidade de um cimento.

Basta lembrar que a massa específica do cimento será resultante da combinação ponderável das eventuais substâncias presentes no cimento: Silicato tricálcico —  $\text{C}_3\text{S}$  — Alita  $\approx 3,13$   $\text{g}/\text{cm}^3$ ; Silicato dicálcico —  $\text{C}_2\text{S}$   $\approx 3,28$   $\text{g}/\text{cm}^3$ ; Aluminato tricálcico —  $\text{C}_3\text{A}$   $\approx 3$   $\text{g}/\text{cm}^3$ ; Ferro aluminato tetra-cálcico —  $\text{C}_4\text{AF}$   $\approx 3,77$   $\text{g}/\text{cm}^3$ ; Cal livre —  $\text{CaO}$   $\approx 1$   $\text{g}/\text{cm}^3$ ; Calcário —  $\text{CaCO}_3$   $\approx 2,50$   $\text{g}/\text{cm}^3$ ; Escória de alto-forno  $\approx 2,65$   $\text{g}/\text{cm}^3$ .

Por outro lado, a determinação da massa específica de um cimento é indispensável para o cálculo da dosagem, do consumo de cimento por volume de concreto e para estudo da estrutura interna do concreto, com vistas ao estudo da patologia. Sua determinação é simples e consta basicamente da introdução de uma massa conhecida de cimento no frasco volumétrico de La Chatelier que contém xileno ou querosene, anotando então o volume deslocado. A massa específica será dada pelo coeficiente obtido da divisão dessa massa conhecida pelo volume deslocado.

### A PEGA

Um cimento misturado com água resultando inicialmente numa massa plástica começa a perder sua plasticidade e possibilidade de manuseio após passado algum tempo do início das reações de hidratação. Para possibilitar o correto amas-

samento, transporte, lançamento e adensamento é necessário que este prazo se dê após um tempo preestabelecido. Conventiou-se estabelecer este tempo em função da maior ou menor penetração de uma agulha padronizada num recipiente que contém a pasta em exame, conforme descrito no MB-1/79 da ABNT.

O tempo de pega é influenciado principalmente por três fatores intrínsecos: a) o conteúdo de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  — sulfato de cálcio (gesso): segundo alguns autores quantidades excessivas de sulfato de cálcio podem inclusive inibir definitivamente a pega. Com pequenas quantidades às reações são muito rápidas, de modo que há um teor ideal com o qual inclusive se obtêm as maiores resistências; b) o conteúdo de aluminato tricálcico —  $\text{C}_3\text{A}$ : sendo o composto de maior afinidade com água e o primeiro a reagir, tanto a pega quanto o primeiro endurecimento são diretamente proporcionais ao seu teor; c) a quantidade de água empregada, ou seja, a relação água/cimento; d) o grau de finura: conforme visto anteriormente. Como fatores extrínsecos podemos citar a pressão e a temperatura como os principais agentes aceleradores da pega e do endurecimento. Daí o cuidado dobrado em concretagem com tempo quente (pega rápida) ou muito frio ( $< 5^\circ\text{C}$ ) quando a pega pode tardar um dia ou mais.

### EXPANSIBILIDADE

Para que uma pasta, argamassa ou concreto sejam estáveis é necessário que os compostos de cimento empregados sejam estáveis volumetricamente após endurecidos. Quando há instabilidade ela é normalmente decorrente da hidratação e conseqüente expansão do  $\text{CaO}$  e do  $\text{MgO}$  e eventualmente da formação de ettringita por ataques de águas agressivas (sulfatos) ao  $\text{C}_3\text{A}$  hidratado. Teores elevados de gesso e agregados reativos também poderão acarretar expansões a longo prazo.

Para a determinação da expansibilidade dos cimentos emprega-se o método das agulhas de Le Chatelier descrito e normalizado pela ABNT no MB-1/79. Consta basicamente de introdução em água fria e água quente de um certo volume de pasta de cimento endurecida, observando-se a sua eventual expansão. Este ensaio é considerado como a melhor avaliação da expansão posterior que possa acarretar na massa, a presença de teores elevados de  $\text{MgO}$  e  $\text{CaO}$  livre. No ensaio a quente são fornecidas as condições ideais para a transformação do  $\text{CaO}$  livre

em cal hidratada —  $\text{Ca(OH)}_2$  ou da periclase ( $\text{MgO}$  cristalizada) em brucita  $\text{Mg(OH)}_2$ , fornecendo elemento de decisão superior à avaliação quantitativa e qualitativa fornecida pela análise química desses compostos. Sabe-se que esses dois óxidos ao hidratar-se experimentam um aumento de volume de cerca de 100% podendo causar sérios problemas em concretos endurecidos.

A expansão decorrente de ataque de águas agressivas com teores elevados de íons sulfato pode ser avaliada por ensaios específicos que não são objeto destas considerações.

### CONSISTÊNCIA

A consistência da argamassa normal de cimento é medida na mesa de consistência descrita no MB-1/79. Consta basicamente da medida do diâmetro final da argamassa, obtido após 30 golpes da mesa. O diâmetro inicial de 125 mm do corpo de prova de formato tronco-cônico, passa para um diâmetro final de cerca de 165 mm. Em recente estudo de 45 amostras de um mesmo cimento, coletadas num período de dez meses, encontramos um valor médio de 166 mm com desvio padrão de 7 mm. Os valores extremos foram 147 mm e 175 mm. Como se nota, não parece viável o julgamento da maior ou menor plasticidade de um cimento tomando-se por base o resultado do índice de consistência. Teoricamente é possível comparar dois cimentos através do índice de consistência, ou seja, os concretos amassados com um cimento que sistematicamente forneça índices de consistência mais elevados requerirá menor quantidade de água para uma mesma trabalhabilidade final que outro onde o índice de consistência seja mais baixo.

Parece lógico que os cimentos mais plásticos, de maior índice de consistência medido na argamassa normal, fornecerão concretos também mais plásticos, mais trabaláveis, que requerão menor quantidade de água para obtenção de um mesmo abatimento do tronco de cone (MB-256). No entanto, o uso deste parâmetro em casos práticos requer ainda uma investigação experimental.

### RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Como é obtida?

A resistência à compressão é a principal propriedade de todos os concretos estruturais.

A resistência de um concreto está intimamente relacionada com a resistência do cimento utilizado para sua mistura, assim como a outros fatores tais como traço, fator água/cimento etc.

Por isso se convencionou um ensaio para determinação da resistência à compressão dos cimentos de forma a poder compará-los e classificá-los ao mesmo tempo que serve de previsão para a resistência do concreto.

O ideal seria portanto medir a resistência dos cimentos em um concreto padrão. No entanto seria muito grande o número de variáveis a padronizar (fator água/cimento, granulometria do agregado miúdo e do grão, natureza mineralógica do agregado miúdo e do grão, processo de mistura, de adensamento, traço etc.), que somada ao fato de exigir um consumo muito alto de material e mão de obra por ensaio, tornariam este ensaio, a nível nacional inviável tanto do ponto de vista técnico como econômico.

Admitindo que é a resistência da argamassa que limitará, no caso de agregados grãos convencionais, a resistência dos concretos, e lembrando por outro lado que a pasta de cimento tem leis de variação da resistência com o tempo diversa da argamassa, foi estabelecido o ensaio em argamassa normal que utiliza a areia normal padronizada pela ABNT EB-1088/79, produzida e fornecida nacionalmente pelo IPT.

A areia normal brasileira é proveniente do rio Tietê padronizando-se, como decorrencia, a sua natureza fisico-química, mineralógica e forma dos grãos. Com relação à granulometria, ela é obtida pela mistura em proporções iguais das seguintes frações:

Material retido entre as peneiras de abertura nominal de malha igual a	Denominação
2,4 mm a 1,2 mm 1,2 mm a 0,6 mm 0,6 mm a 0,3 mm 0,3 mm a 0,16 mm	grossa média grossa média fina fina

Para a obtenção da argamassa normal são moldados segundo MB-1/79, 18 corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm, rompendo-se seis corpos de prova às idades de 3, 7 e 28 dias. A qualificação do cimento em classes 250, 320 e 400 é dada pelo resultado médio dos seis corpos de prova rompidos aos 28 dias de idade, em  $\text{kgf/cm}^2$ . Nesse ensaio o fator água/cimento é fixo e igual a 0,48. Como a resistência à compressão depende fortemente do fator água/cimento parece correto fixá-lo deixando como variável apenas a qualidade do cimento.



**CONSULTORIA  
EM ENGENHARIA**

**ELETRICIDADE  
HIDRÁULICA  
AR CONDICIONADO**

PRODUTIVIDADE, SEGURANÇA E ECONOMIA GARANTIDAS  
DESDE AS FASES PRELIMINARES DO PROJETO POR SERVIÇOS  
DE CONSULTORIA ALTAMENTE ESPECIALIZADOS DA CEC.

**CEC - CONSULTORIA S/C LTDA.**  
FONE: 61-1126 — RAMAL 11  
CAIXA POSTAL 18051  
SÃO PAULO, SP.

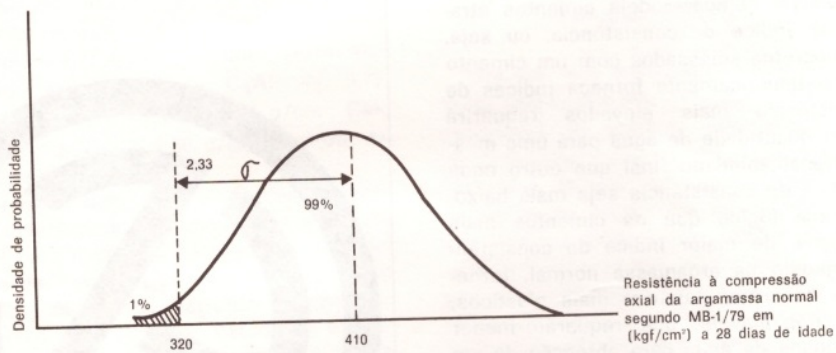
**QUADRO GERAL**  
Resumo das exigências físicas e mecânicas para cimento Portland nacionais

Determinações	EB-1/1977			EB-2/1974	EB-208/1974		EB-758/1974		EB-903/1977 **	
	Comum			AR1	Alto-forno		Pozolânico		MRS	ARS
	250	320	400		250	320	250	320		
1. Finura: — Resíduo na peneira n.º 200 (%)	≤ 15	≤ 15	≤ 10	≤ 6	≤ 10*	≤ 10*	≤ 12*	≤ 12*	≤ 15	≤ 15
— Superfície específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	≥ 2.400	≥ 2.600	≥ 2.600	≥ 3.000	≥ 2.600	≥ 2.800	≥ 2.500	≥ 2.900	≥ 2.600	≥ 2.600
2. Expansibilidade: — Após 7 dias em água fria (mm)	—	—	—	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
— Após 3 h em água quente (mm)	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
3. Tempo de pega: — Início de pega (h)	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1
— Fim de pega (h)	≤ 10*	≤ 10*	≤ 10*	≤ 10*	≤ 10*	≤ 10*	≤ 10*	≤ 10*	≤ 10*	≤ 10*
4. Resistência à compressão: — a 24 h (kgf/cm <sup>2</sup> )	—	—	—	≥ 110	—	—	—	—	—	—
— a 3 dias (kgf/cm <sup>2</sup> )	≥ 80	≥ 100	≥ 140	≥ 220	≥ 80	≥ 100	≥ 70	≥ 100	≥ 70	—
— a 7 dias (kgf/cm <sup>2</sup> )	≥ 150	≥ 200	≥ 240	≥ 310	≥ 150	≥ 200	≥ 150	≥ 180	≥ 130	≥ 100
— a 28 dias (kgf/cm <sup>2</sup> )	≥ 250	≥ 320	≥ 400	—	≥ 250	≥ 320	≥ 250	≥ 320	≥ 250	≥ 200
— a 90 dias (kgf/cm <sup>2</sup> )	—	—	—	—	≥ 320*	≥ 400*	≥ 320*	≥ 400*	—	—
5. Adições: — Teor de escória (%)	≤ 10*	≤ 10*	≤ 10*	—	≥ 25	≥ 25	—	—	—	—
— Teor de pozolana (%)	—	—	—	—	≤ 65	≤ 65	≤ 10	≤ 10	—	—
							≤ 40	≤ 30		

\* Facultativo  
\*\* Atualmente em revisão pela comissão de Estudos CE 18:1, no âmbito do CB-18 da ABNT

Com relação ao concreto amassado com esses cimentos, pode-se dizer, a grosso modo, que sua resistência média a 28 dias estará acima desses valores mínimos, desde que seja amassado com agregados convencionais, dentro das regras de bem construir e com fatores água/cimento ≤ 0,48. Não adianta esperar de um CP-320, com fator água/cimento de 0,75, resistências superiores a 320 kg/cm<sup>2</sup> pois estas só foram alcançadas com fator água/cimento de 0,48. Aliás cabe sempre lembrar que não só quando se deseja altas resistências — situações especiais — mas principalmente quando se necessita obter concretos duráveis — situações usuais — o fator água/cimento não deve superar 0,60. Qual o significado do valor obtido? A resistência à compressão, como toda e qualquer propriedade mensurável, está sujeita a uma variação aleatória. Pode-se admitir que essa variação seja traduzida pela distribuição normal de densidades de probabilidade, a curva de Gauss. Desta forma, quando o texto das especificações brasileiras citadas no quadro geral exige como valor mínimo 250, 320 ou 400, isto equivale a exigir que a probabilidade de ocorrência de valores abaixo destes seja muito pequena, não impossível, porém bastante remota. Em estatística isto

**FIGURA 1**  
Representação da distribuição das resistências à compressão de um lote de cimento Portland CP-320



significa dizer que esse valor está afastado em pelo menos 2,33 desvios padrões do valor médio. Em outras palavras, existe a probabilidade só de 1% de ocorrência de valores abaixo deste, ou seja, 99% dos valores encontrados deverão superar os mínimos que definem as classes 250, 320 ou 400. Como exemplo pode-se visualizar na figura 1 a representação da distribuição das resistências mecânicas de um lote de cimento Portland CP-320.

Como separar e identificar um lote de cimento com as mesmas características?

A ABNT, através do MB-508/73 estabelece o critério de amostragem de cimento fixando uma amostra para representar cada lote de no máximo 100 t (200 sacos de cimento, o que serviria para ser empregado em cerca de 300 m<sup>3</sup> de concreto. Naturalmente este é o limite máximo de lote e aconselha-se a, no caso de controle de qualidade em obras, condicionar o lote de cimento ao lote de concreto identificado para fins de controle, o que, no caso de concretos estruturais, chega-se a uma amostra para representar cada fornecimento de cerca de 30 t (≈ 600 sacos).

no máximo. Isto, sem dúvida, traria expressivas vantagens na eventual necessidade de se efetuar uma regressão de causas de sintomas patológicos. Nesse sentido algumas normas estrangeiras são bem mais exigentes, por exemplo a "BS 4550:1978. Methods of Testing Cement", limita em 21 t o lote máximo a ser amostrado.

Convém aqui também chamar a atenção para o fato de que assim como numa corrente, onde a falha se dá pelo rompimento do elo mais fraco, nas estruturas de concreto também não interessa obter uma boa média mas sim ver atendido um mínimo. Nesse sentido não é recomendável misturar exemplares de cimento retirados de caminhões-carreta (~ 300 sacos) entregues em datas diferentes, pois podem representar produções diferentes.

A amostra nesse caso deve ser composta de, no mínimo, dois exemplares, independentes, e ambos após ensaiados segundo o MB-1/79 devem ser aprovados. Qual a variabilidade das resistências à compressão dos cimentos nacionais?

A todo processo de produção industrial está associada uma certa variabilidade das características dos produtos acabados. No caso do cimento podemos citar as seguintes causas principais de variabilidade: mudança da composição das matérias-primas (jazida de calcário e de argila); procedimento de mistura e homogeneização da "farinha crua"; temperatura e tempo de clinquerização, tempo de

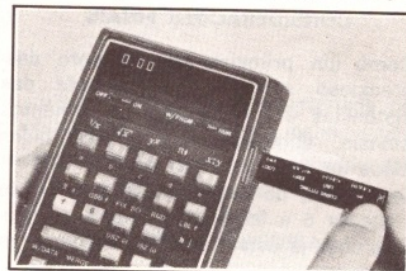
moagem, variação nas características das adições, natureza do combustível etc. Por outro lado, para fins de emprego, principalmente a utilização de diagramas de dosagem de concreto, não é interessante que o cimento tenha uma grande variabilidade. A dispersão dos resultados deve ser a menor possível, desde que compatível com o processo de produção industrial.

Nesse sentido as normas alemãs e francesas já expressam sua preocupação nas correspondentes normas de cimento conforme se observa no quadro 4.

A observação do quadro 4 deixa claro que o mínimo de uma classe de cimento não é, nem pretende representar a resistência média daquele cimento, como um valor absoluto. É um valor que tem uma probabilidade muito pequena de não ser atingido, cerca de 1% indicando que 99% das vezes a resistência a ser encontrada efetivamente no cimento estará acima.

Quanto acima? Eis a nova questão que se propõe. Os europeus, em geral, utilizam o método Rilem-Cembureau para medir a resistência à compressão dos cimentos. Esse método consta basicamente da confecção de um corpo de prova prismático 4 x 4 x 16 cm<sup>3</sup> que é rompido inicialmente à flexão e posteriormente, cada metade, à compressão. O valor assim obtido, a grosso modo, é cerca de 25% superior ao que seria obtido com a mesma argamassa rompida no corpo de prova cilíndrico de  $\varnothing = 5$  cm e altura = 10 cm, normalizado no Brasil.

## PROGRAMAS HP PARA ESTRUTURAS (HP67, HP97 OU HP41C)



O eng. MOACIR LEITE, M.Sc. (EE.UU.), titular do escritório LEITE E MIRANDA e professor da Politécnica da Bahia, elaborou 56 programas HP, testados em até 2 anos de utilização efetiva em projetos de estruturas de edifícios, pontes e indústrias, em concreto armado e protendido. Algumas aplicações: análise, dimensionamento e detalhamento de vigas, pilares, lajes, escadas, sapatas, blocos, reservatórios e pórticos. Cada programa inclui um cartão magnético gravado e normografado, descrição do processo, instruções de operação, exemplos e listagem. Para obter gratuitamente um catálogo completo escrever para PROGRAMAS HP, Loteamento Ampliação Cidade da Luz, Rua C, Lote 14, Quadra 23, Salvador, BA, 40.000, Telefones: (071) 231-4770 e 231-3745.

Portanto, admitindo que a indústria nacional é equivalente à europeia e efetivamente o é, basta lembrar que somos

**QUADRO 4**  
Especificações alemãs e francesas de cimento

Classe	Resistência à compressão em (kgf/cm <sup>2</sup> ) à idade de							
	2 dias		7 dias		28 dias			
	DIN 1.164/78	Afnor NFP 15-301/76	DIN 1.164/78	Afnor NFP 15-301/76	máximo		mínimo	
					DIN 1.164/78	Afnor NFP 15-301/76	DIN 1.164/78	Afnor NFP 15-301/76
250	—	—	≥ 100	—	250	—	450	—
350	N	—	≥ 175	—	350	250 **	550	450 ***
	R	≥ 100	—	—				
450	N	≥ 100	—	—	450	350 **	650	550 ***
	R	≥ 200	≥ 150 *	—				
550	N	≥ 300	—	—	550	450 **	—	650 ***
	R	—	≥ 225 *	—				
THR	—	≥ 300 *	—	—	—	550 **	—	—

Obs.. N = Cimento Portland Normal;  
R = Cimento Portland de Alta Resistência Inicial;  
THR = Très Hautes Resistances;  
\* = Associado à probabilidade de 90%;  
\*\* = Associado à probabilidade de 99%;  
\*\*\* = Associado à probabilidade de 90%;

## REPORTAGEM DE CAPA

o 9.º produtor mundial, à frente de vários europeus — teríamos os seguintes limites, indicados no quadro 5.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como um primeiro levantamento despretensioso sobre a variabilidade das resistências à compressão de cimentos nacionais, apresentamos os resultados obtidos de seis cimentos (quadro 6).

Com base no levantamento verificado no quadro 6 e lembrando que, em engenharia civil, já está consagrado o emprego

de quantil, sugerem-se algumas referências para classificação de cimentos que poderão ser objeto de estudo pelo CB-18 da ABNT. Nesse quadro incluem-se as novas unidades oficiais, onde a resistência à compressão é expressa em Mega-Pascal (1 MPa = 10,19 kgf/cm<sup>2</sup>), conforme decreto presidencial 81.621 de 03-05-78.

Como já foi dito anteriormente, é interessante, sob todos os pontos de vista, dispor-se de cimentos com características homogêneas, principalmente em estudos de dosagem. De acordo com a proposta apresentada no quadro 7, não seriam aceitos cimentos com resultados abaixo dos mínimos especificados. Esta comprovação ficaria condicionada a uma inferência estatística adequada (NB-309 da ABNT, por ex.). Também não se utilizariam lotes de cimentos de uma dada classe desde que apresentassem resultados excessivamente altos. Isto poderia acarretar maior liberação de calor de hidratação que o previsto assim como alterar o com-

QUADRO 5 Analogia dos cimentos nacionais com os europeus				
Classe	Resistência à compressão em kgf/cm <sup>2</sup> a 28 dias de idade			
	Mínima (1%)	Média	Máxima (90%)	Desvio padrão
250	250	350	410	44
320	320	420	480	44
400	400	500	560	44

QUADRO 6 Variabilidade da resistência à compressão MB-1/79, de cimentos nacionais							
cimentos	características mecânicas	número de amostras ensaiadas n	Resistência à compressão obtida na argamassa normal em (kgf/cm <sup>2</sup> )			Desvio padrão em (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coeficiente de variação em %
			mínima	média	máxima		
Cimento A MRS 320 fev 78 a mar 79		69	322	371	434	25	6,7
Cimento B AF 320 maio 78 a abril 80		48	321	405	514	43	10,6
Cimento C CP 320 maio 78 a abril 80		44	305	362	415	29	8,0
Cimento D CP 320 maio 78 a agosto 79		16	307	351	400	30	8,5
Cimento E CP 320 nov 78 a maio 80		35	358	426	492	31	7,2
Cimento F CP 320 maio 78 a dez 79		33	279	369	467	50	13,6
Todos		245	279	381	514	44	11,5

QUADRO 7 Sugestão para normalização de classes de cimentos nacionais						
Classe	Resistência à compressão em MPa a 28 dias de idade MB-1/79					Coeficiente de variação
	Mínima (1%)	Média	Máxima (90%)	Desvio padrão (MPa)		
25	25	35	41	4,2	12%	
32	32	42	48	4,2	10%	
40	40	50	56	4,2	8%	

portamento do concreto fresco, com prejuízo para a execução.

Por outro lado, o fabricante disporia de forma clara da faixa de variação máxima tolerável para seu produto, servindo, inclusive, de aferição da eficiência do seu autocontrole de qualidade da produção. Também os laboratórios de ensaios especializados em dosagem experimental poderiam comprovar e comparar os resultados obtidos no laboratório com a resistência obtida do cimento empregado no estudo. Com isto seria possível correções e adequações permanentes da dosagem, com evidentes benefícios econômicos para a indústria da construção. ●

## CALENDÁRIO

### São Paulo

● I Fehab-Feira Nacional de Habitação, de 27 de abril a 3 de maio, no Pavilhão de Exposições do Parque Anhembi. Paralelamente haverá simpósios e seminários onde serão debatidos diversos temas técnicos de interesse da indústria da construção em geral. O evento tem o patrocínio editorial das revistas **A CONSTRUÇÃO** e a promoção e organização estão a cargo da Guazzelli Associados Feiras e Promoções Ltda. Informações: rua Manoel da Nóbrega, 800, telefone: 285-0711, São Paulo, SP.

● 1.º Congresso Mundial de Avaliações — de 3 a 9 de outubro, no Anhembi, realizado pela Fiabci-Federação Internacional das Profissões Imobiliárias e pelo Ibape-Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. O evento visa promover o intercâmbio de conhecimentos, informações e experiências entre os profissionais especializados no campo de avaliações que atuam em diferentes países. Informações: rua Tupi, 841, telefones: 67-9600 e 67-5968, São Paulo, SP.

● 1.º Simpósio Nacional de Tecnologia de Manutenção (Terotecnologia) — de 6 a 8 de abril, no Instituto de Engenharia, promovido pelo Ibramhis-Institutos Brasileiros Reunidos de Manutenção Hidráulica Industrial e Solda S/C Ltda., contando com o apoio do Instituto Roberto Simonsen e do IPT. O simpósio se destina a dirigentes industriais de todos os níveis, responsáveis por projetos industriais; especificação, compra, instalação e uso do equipamento; planejadores, programadores, inspetores e executores de manutenção; economistas ligados a custos industriais, engenharia econômica e venda do equipamento descartado. Informações e inscrições: Ibramhis, rua Barão de Tatuí, 394, 1.º andar, telefones: 66-4322 e 67-5467, São Paulo, SP.

### Paraná

● 25.º Congresso de Cerâmica — de 5 a 10 abril, no edifício da Federação das Indústrias do Estado do Paraná e Sesi-Serviço Social da Indústria, em Curitiba, promovido pela ABC-Associação Brasileira de Cerâmica. No evento serão debatidos temas ligados ao desenvolvimento da indústria cerâmica, novas técnicas, problemas e reivindicações, além de debates sobre o problema energético, normalização, possibilidades técnicas e de investimento no Paraná, exportações etc. Informações: ABC-Associação Brasileira de Cerâmica, rua Pedro de Toledo, 282, telefones: 70-1375 e 549-3922, São Paulo, SP.

### Santa Catarina

● III Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia — de 4 a 8 de maio de 1981, no hotel Plaza Itapema, em Itapema (SC). Realizado pela ABGE-Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, promovido pela Anhembi Produções, Relações e Comunicações S. C. Ltda. O conclave visa promover um amplo debate e um intercâmbio de experiências adquiridas pelos associados da ABGE e demais interessados no assunto, além de assegurar um caráter nacional para o evento, estimulando o desenvolvimento e a divulgação da Geologia de Engenharia nas diversas regiões do país. Informações: com a ABGE-MG, rua dos Timbiras, 1.514, sala 307, telefone: 224-4097, Belo Horizonte, MG, ou com a secretaria do congresso, rua Tupi, 841, telefones: 826-2472 e 67-9600, São Paulo, SP.