



Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2008  
Outubro / 2009  
ISBN  
© 2009 - IBRACON



## INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CIMENTO PORTLAND

INFLUENCE FROM TEMPERATURE ON EVALUATION OF COMPRESSION STRENGTH OF CEMENT PORTLAND

Angelo Just da Costa e Silva (1); Fred Rodrigues Barbosa (2); João Manoel F. Mota (3); José Orlando Vieira Filho (4)

- (1) Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, UNICAP - email: [angelo@unicap.br](mailto:angelo@unicap.br)  
(2) Mestrando, Departamento de Engenharia Civil, UFPE - email: [fredrbarbosa@ig.com.br](mailto:fredrbarbosa@ig.com.br)  
(3) Doutorando do Departamento de Engenharia Civil, UFPE - email: [joao@vieiramota.com.br](mailto:joao@vieiramota.com.br)  
(4) Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, UNICAP - email: [zeorlando@unicap.br](mailto:zeorlando@unicap.br)

Rua Serra da Canastra, nº 391 – Cordeiro – Recife – CEP: 50.640-310  
Fone: 81.3366-6444 – Fax: 81.3366.6401

### Resumo

Os procedimentos de cura do concreto têm sido cada vez mais discutidos pela sua forte influência, tanto na resistência final, quanto na durabilidade e na proteção aos agentes agressivos. Uma maneira de se acelerar o ganho de resistência é através da exposição a temperaturas elevadas, que tem como grande objetivo tornar mais rápida a hidratação do cimento, chegando aos níveis mínimos de resistência mecânica desejados em curtos períodos de tempo, com especial importância nos casos de peças pré-moldadas. O presente estudo foi realizado em laboratório para avaliação comparativa do ganho de resistência com a exposição das amostras a elevadas temperaturas (60°C) e em condições normais (30°C), durante diferentes períodos de tempo (12 horas, 3 dias e 21 dias). Conforme esperado, observou-se a obtenção de maiores níveis de resistência para as amostras sujeitas a alta temperatura, com maiores diferenças observadas nas primeiras idades (90% nas primeiras doze horas).

*Palavras-Chave: temperatura, hidratação, cura.*

### Abstract

The studies of the cure of concrete are increasing because of the influence on compression resistance, durability and protection of aggressive agents. The thermal cure is used to accelerate the gain of resistance, very important on pre-fabricated concrete. This article was realized in laboratory environment to compare the mechanic behavior of samples submitted on high temperatures (60°C) and on normal conditions during different time periods (12 hours, 3 days, and 21 days). It was observed major levels of resistance on the samples subject the upswing temperature, with major differences observer on the first ages (90% on the first 12 hours).

*Keywords: temperature, hydration, cure*



## 1 Introdução

Durante a produção de peças de concreto em geral, a capacidade mecânica é a propriedade mais discutida e estudada no seu estado endurecido, em especial a resistência à compressão.

A evolução do crescimento dessa resistência tem se tornado objeto de vários estudos com o desenvolvimento da tecnologia do concreto, principalmente para as peças pré-moldadas, sejam as fabricadas em usina ou em canteiro de obras.

A produção de elementos pré-moldados, em geral, é efetuada em larga escala, para se garantir aproveitamento mais eficiente, de modo que a redução de prazos é de grande relevância. Com isso, quanto maior o ganho de resistência nas primeiras idades, mais rápidas as peças podem ser retiradas das fôrmas, liberando-as para a fabricação de novas peças e possibilitando, com isso, uma maior produtividade e melhor aproveitamento de recursos.

Para se conseguir esse objetivo, pode-se alterar as características do cimento, aumentando o grau de finura ou ajustando os teores dos seus componentes, e também, quando possível, pode-se submeter o concreto, de forma controlada, a temperaturas mais elevadas, acelerando as reações de hidratação do cimento.

Assim, o objetivo desse estudo é avaliar o comportamento do ganho de resistência de pastas de cimento quando submetidas a diferentes níveis de temperatura, simulando cura térmica.

## 2 Revista teórica

### Hidratação do cimento

O processo de hidratação consiste na ocorrência de reações simultâneas dos compostos anidros com a água, pois o cimento Portland é composto de uma mistura heterogênea de vários compostos. Entretanto, as velocidades de reação de cada um desses compostos são distintas.

Logo após o contato inicial do cimento com a água, a pasta formada começa o seu enrijecimento. Porém, apenas após o início da pega dá-se o começo do seu endurecimento, cuja velocidade depende de uma série de fatores, tais como a finura do cimento, os componentes do clínquer, os tipos e teores de adições, e também a temperatura, objeto de estudo da presente pesquisa.

O clínquer do cimento é fabricado a partir da combinação de calcário moído e argila, submetidos a elevadas temperaturas, em torno de 1.500°C, caracterizando, assim, uma



reação endotérmica. Após o contato do cimento com a água, essa energia é liberada em forma de calor, facilmente detectado após o início da pega, principalmente em peças de concreto de grande volume.

Caso o ambiente em que está ocorrendo a hidratação esteja numa temperatura elevada (de forma controlada para não consumir a água combinada na mistura), há uma tendência de aceleração das reações, em função da sua reação exotérmica.

O calor de hidratação é o calor gerado quando água e o cimento portland reagem. O calor de hidratação é influenciado pela proporção de  $C_3S$  e  $C_3A$  no cimento, mas também é influenciado pela relação água/cimento, finura e pela temperatura da cura. Em grandes estruturas de concreto, como barragens, o calor de hidratação é produzido significativamente mais rápido do que ele pode ser dissipado, o que pode criar temperaturas elevadas no centro dessas grandes estruturas. Tais temperaturas podem causar o aparecimento de fissuras de origem térmica, que podem ser evitadas se usados cimentos com taxas lentas de evolução de calor, os chamados cimentos Portland de baixo calor de hidratação.

### Influência da temperatura

Como já anteriormente comentado, a temperatura é um dos fatores de influência no ganho de resistência do concreto.

No caso de peças de grande volume, por exemplo, é comum a utilização de água em estado sólido (gelo) como componente da mistura a fim de reduzir a temperatura de lançamento e, por consequência, a sua temperatura máxima. Com isso, os efeitos da contração do concreto quando o mesmo atinge a sua temperatura final (em geral, a ambiente) são minimizados, reduzindo os riscos de ocorrência de fissuras devidas à restrição da base.

Por outro lado, há situações em que se procura aumentar a temperatura no entorno da peça de concreto para acelerar o endurecimento e as reações de endurecimento do cimento, com grande aplicação em estruturas pré-fabricadas. Para isso, é comum se colocar lonas plásticas envolvendo as peças recém concretadas, deixando-as em ambiente úmido e aquecido, aproveitando o próprio calor de hidratação do cimento para propiciar aceleração das reações, sem comprometimento das demais propriedades do concreto.

Durante o estágio inicial das reações de hidratação, a temperatura afeta não só a taxa de hidratação, ou seja, o desenvolvimento das reações de hidratação, mas também as características e posicionamento dos produtos consequentes destas reações. Com a grande velocidade inicial de hidratação não há tempo suficiente para a difusão dos produtos para posições mais distantes das partículas de cimento e para uma precipitação

uniforme nos espaços intersticiais, como ocorre a temperaturas mais baixas (VERBECK; HELMUTH, 1968).

Para se evitar danos às peças, deve-se seguir um ciclo de cura (Figura 1) (CAMARINI, 1995) observando-se os seguintes períodos:

$T_1$  → Temperatura ambiente (°C).

$T_2$  → Temperatura máxima atingida no ciclo (°C).

$t_0$  → Período de espera (h:min). Período de tempo decorrido entre a mistura do aglomerante com a água e o início do aquecimento. Deve coincidir com o tempo de início de pega do concreto.

$t_1$  → Período de elevação da temperatura (h:min). Aumento controlado da temperatura de cura.

$t_2$  → Período de manutenção da temperatura (h:min). Regime isotérmico até que se atinja a resistência desejada (definido de acordo com as necessidades de desforma e utilização).

$t_3$  → Período de esfriamento (h:min). Diminuição controlada da temperatura das peças até a temperatura ambiente.

$G_1$  → Gradiente de aquecimento.

$G_2$  → Gradiente de resfriamento.

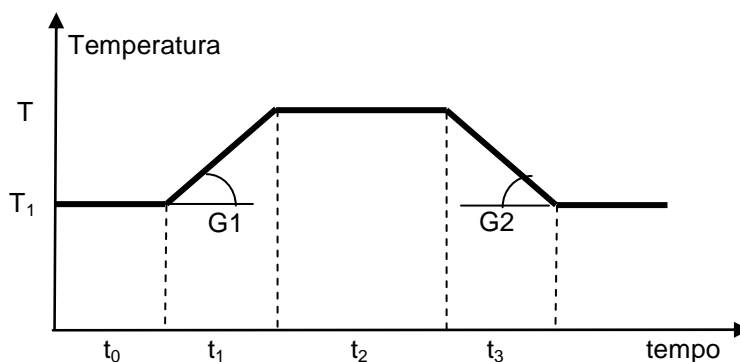


Figura 1 – Ciclo de Cura Térmica (CAMARINI, 1995)

### 3 Planejamento experimental

#### Caracterização dos Materiais

##### Cimento Portland

Nessa pesquisa foi utilizado o cimento CP IV 32 RS, cujas características fornecidas pelo fabricante constam da Tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas e químicas do cimento utilizado.

Determinação		CP IV 32 RS	
Caracterização Física	Água para consistência normal (%)	*NI	
	Área específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4400	
	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	*NI	
	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	*NI	
	Finura	Resíduo na peneira #200 (%)	1,7
		Resíduo na peneira #325 (%)	*NI
	Tempo de Pega	Início (min)	160
		Fim (min)	225
Resistência à Compressão	3 dias (MPa)	20,1	
	7 dias (MPa)	26,4	
	28 dias (MPa)	40,5	
Caracterização Química (%)	Perda ao fogo	3,13	
	Resíduo insolúvel	24,83	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,58	
	SiO <sub>2</sub>	30,05	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,57	
	CaO	46,34	
	MgO	2,86	
	SO <sub>3</sub>	2,68	
	CaO livre	1,17	
	Equivalente alcalino em Na <sub>2</sub> O	1,40	

\*NI = Não Informado

## Água

Coletada junta à companhia de saneamento estadual (Compesa – Companhia Pernambucana de Saneamento).

## Arranjo Experimental

Para avaliação da influência da cura no ganho de resistência mecânica foram preparados 14 corpos-de-prova cilíndricos (5cm x 5cm) de pastas de cimento com relação água/cimento igual a 0,50. Metade das amostras foi colocada em estufa a 60°C, e os demais deixados à temperatura ambiente. Após as idades de 12 horas, 3 dias e 14 dias foram realizados ensaios de resistência à compressão para avaliação comparativa da sua evolução.

Os ensaios foram efetuados em prensa hidráulica com capacidade nominal de 24t. A moldagem dos corpos-de-prova, a exposição às condições de cura citadas e os ensaios de resistência foram realizados em um mesmo laboratório, evitando eventuais variáveis durante o transporte destes corpos-de-prova.

## Variáveis de estudo

Conforme discutido no objetivo proposto, o presente estudo apresenta como variável experimental a condição de exposição das amostras, além das idades de ruptura das amostras, como se segue:

- Condições de exposição:
  - Temperatura ambiente
  - Temperatura de 60°C
- Idades de ensaio:
  - 12 horas: 6 corpos-de-prova
  - 3 dias: 4 corpos-de-prova
  - 21 dias: 4 corpos-de-prova

#### 4 Resultados e discussões

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos na resistência à compressão simples do concreto.

Tabela 2 – Resultados obtidos na resistência à compressão

Idade	Resistência (MPa)			
	Estufa		Ambiente	
<b>12 horas</b>	14,8	19,0	9,6	10,0
	19,6		10,2	
	22,7		10,3	
<b>3 dias</b>	20,6	22,1	15,1	16,5
	23,7		17,9	
<b>21 dias</b>	32,0	32,0	27,0	27,6
	32,0		28,2	

Os corpos-de-prova submetidos à temperatura de 60°C apresentaram, após 12 horas, praticamente o dobro da resistência à compressão alcançada pelos corpos-de-prova submetidos à temperatura ambiente, sendo, portanto, um ganho de resistência muito significativo nessa idade.

Dessa forma, conforme Figura 2, os resultados obtidos demonstraram que a resistência à compressão na temperatura de 60 °C é maior do que as obtidas na cura em temperatura ambiente em todas as idades avaliadas. Entretanto, com o passar das idades as diferenças foram gradativamente sendo reduzidas. A tendência é que, aos 28 dias de idade, as resistências estejam próximas ou até apresentem inversão de valores, conforme encontrado em literatura.

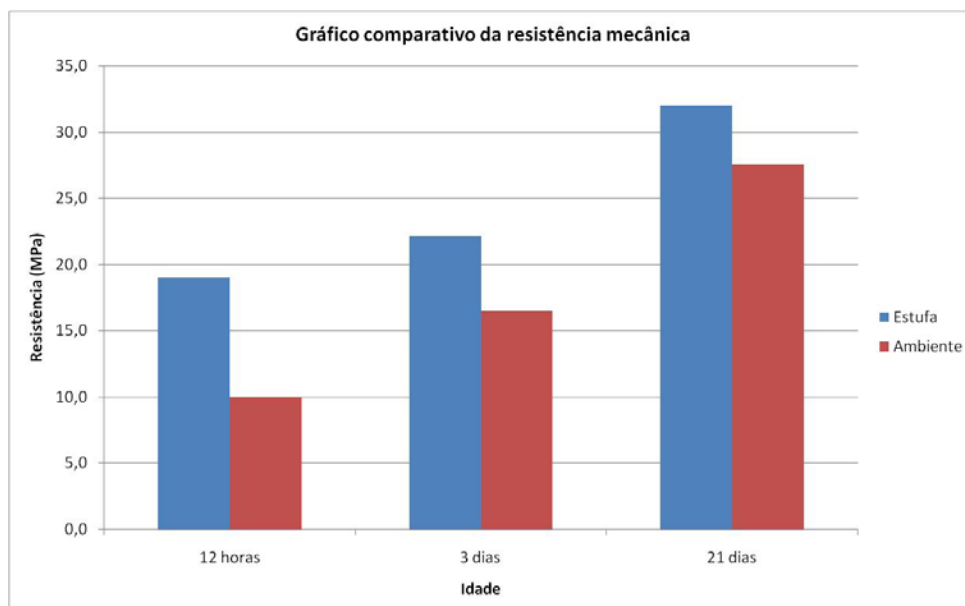


Figura 2 – Comparativo entre as resistências à compressão obtidas nos dois tipos de cura.

Na Figura 3, observa-se, em valores percentuais e absoluto, o ganho de resistência ao longo do tempo, dos corpos de prova curados a 60°C (na estufa). Observa-se ainda um aumento de 68% da resistência desde 12 horas até os 21 dias de idade.

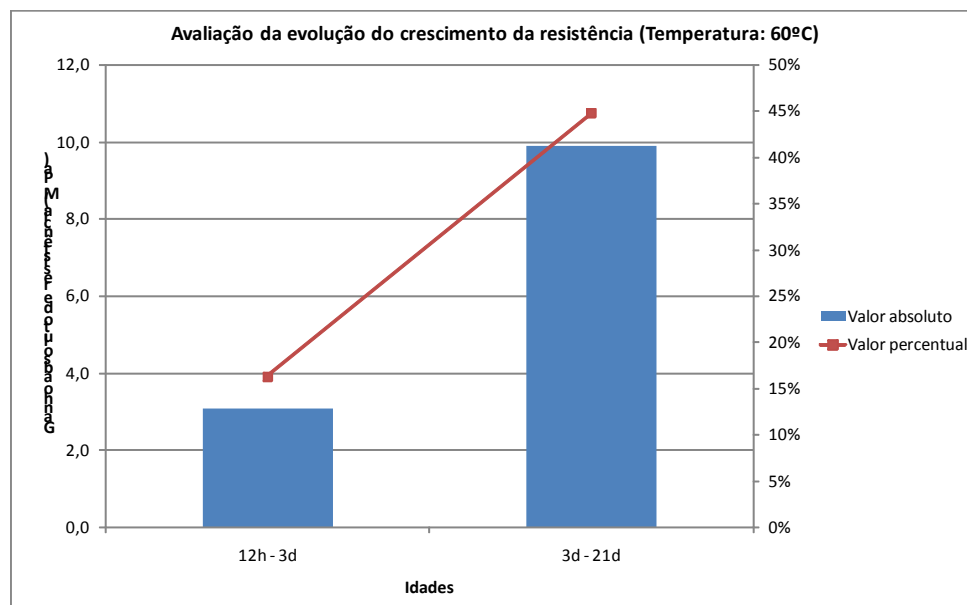


Figura 3 – Avaliação do ganho de resistência na estufa

Seguindo a mesma analogia comparativa da Figura 3, observa-se na Figura 4 que o ganho de resistência dos corpos-de-prova curados ao ar apresenta valores percentuais mais altos, explicados pela baixa resistência mecânica encontrada nas idades iniciais.

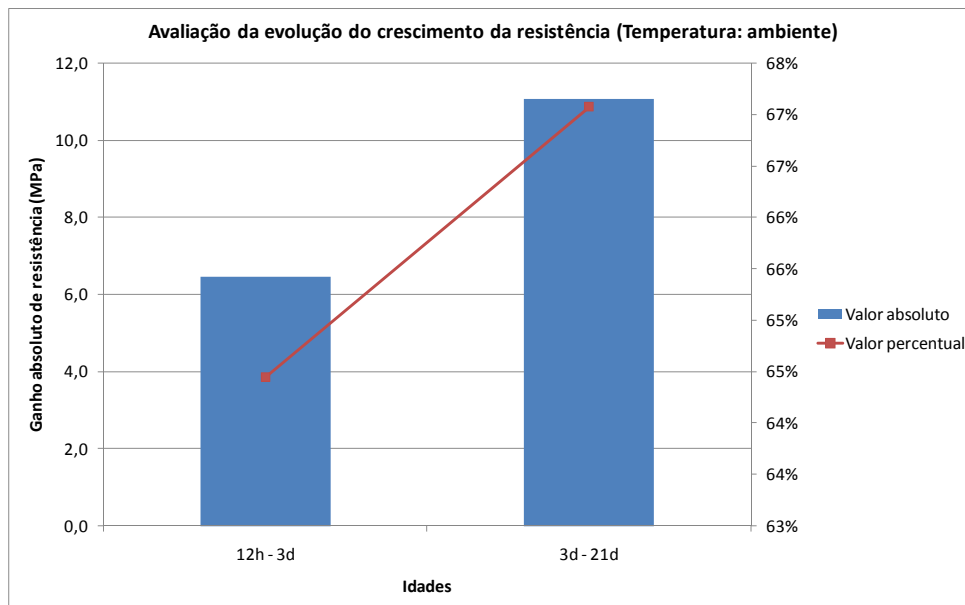


Figura 4 – Avaliação do ganho de resistência à temperatura ambiente

A Figura 5 representa a eficiência da cura em temperatura elevada sobre a cura ao ar, onde nas primeiras 12 horas obteve-se uma diferença na resistência de 90%. Com o passar do tempo, a eficiência tende a reduzir, podendo-se até chegar a uma inversão dos valores para idades mais avançadas. Esta eficiência é calculada, para cada idade, da seguinte maneira:

$$E = \left( \frac{R_{Est} - R_{amb}}{R_{amb}} \right) \times 100$$

Onde,

E = Eficiência, em porcentagem

REst = Resistência característica à compressão obtida na estufa

RAmb = Resistência característica à compressão obtida na cura à temperatura ambiente

Como descrito anteriormente, a tendência é que essa eficiência diminua e tenda a zero, ou que a eficiência da cura ao ar torne superior à cura térmica.

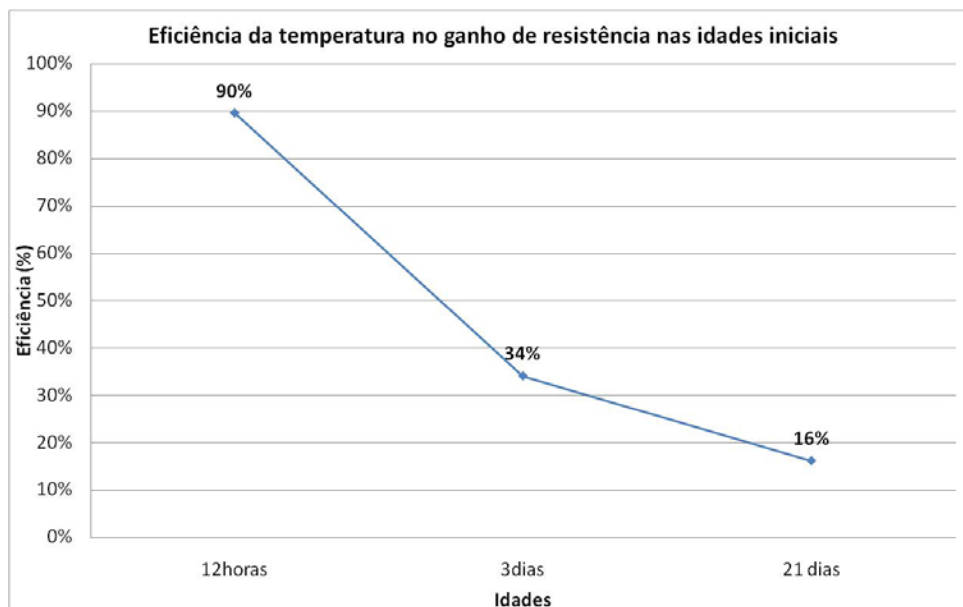


Figura 5 – Eficiência da cura a temperatura de 60°C em relação à cura ao ar.

## 5 Conclusões

A exposição das peças de concreto a uma temperatura de 60°C melhorou a resistência à compressão nas idades iniciais, obtendo maiores resistências à compressão quando comparados com os corpos-de-prova submetidos à cura em temperatura ambiente (principalmente nas primeiras 12 horas).

Durante o estudo apresentado, as amostras não foram submetidas, de forma simultânea, à umidade e calor, o que, no entanto, é o mais indicado em casos práticos para se evitar a perda da água necessária para a hidratação.

É importante observar que, na avaliação do estudo, a velocidade de crescimento do ganho de resistência inicial mostrou-se mais lento para as idades mais avançadas, chegando a valores de resistência similares aos 21 dias.

A adoção do procedimento de cura em temperatura elevada, nas primeiras idades, com confinamento das peças em lonas plásticas é simples, barata e de fácil operação, e como discutido neste estudo, apresenta resultados eficientes, sendo, assim, indicada quando se deseja tais características.

Por fim, é importante esclarecer que os resultados discutidos neste estudo devem ser restritos às condições pesquisadas, sendo necessários novos experimentos com outras variáveis e um maior número de amostras para comprovação generalizada das evidências apresentadas.



Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto

CBC2008

Outubro / 2009

ISBN

@ 2009 - IBRACON



Contudo, os valores obtidos apontam para uma tendência ampla de comportamento, também comprovada em outros estudos encontrados em literatura.

## 6 Agradecimentos

Os autores agradecem à Tecomat Ltda (Tecnologia da Construção e Materiais Ltda.) pelo fornecimento de materiais, apoio e infra-estrutura para realização dos ensaios efetuados nessa pesquisa, e também aos engenheiros civis Alde de Castro Salgado Neto e Cecília Meliá Leite, na época concluintes do curso de Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco, responsáveis pelo desenvolvimento dos experimentos.

## 7 Referências

CAMARINI, G. **Desempenho de misturas de cimento Portland e escória de alto-forno submetidas à cura térmica**. Escola Politécnica de Universidade de São Paulo – EPUSP. Tese de doutorado, São Paulo, 1995.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ed. PINI, 1994.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

VERBECK, G. J.; HELMUTH, R. H. **Structure and physical properties of cement paste**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 5., 1968, Tokyo. Proceedings... Tokyo, 1968.