

ESTUDO SOBRE A RETRAÇÃO AUTÓGENA EM CONCRETOS DE ALTO DESEMPENHO (CAD's)

Francisco Gabriel Santos Silva¹, Alexon Braga Dantas²

¹Universidade de Brasília/Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, UnB, Colina, Bloco K, apto. 304. CEP 70910-900. Brasília-DF, e-mail: fgabriel@unb.br.

² Universidade de Brasília/Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, UnB, Colina, Bloco K, apto. 304. CEP 70910-900. Brasília-DF, e-mail: alexon@unb.br.

Resumo- A retração autógena é um fenômeno que ocorre nos concretos de alto desempenho devido a estes possuírem uma relação água/aglomerante muito baixa, o que diminui a reserva de água para as reações de hidratação do cimento. Considerando que o concreto de alto desempenho tem a função de não apenas desenvolver elevadas resistências mecânicas, mas oferecer também aspectos de durabilidade, o fenômeno de retração é bastante danoso, pois provoca microfissuras internas no concreto trilhando um caminho preferencial de fragilidade quando este for submetido a uma carga muito elevada. Entretanto muitos estudos têm sido feitos no intuito de melhor entender este fenômeno de retração, bem como mensurá-la através de equipamentos cada vez mais eficazes. Este trabalho traz um estudo sobre o fenômeno de retração autógena, com uma abordagem de trabalhos científicos que em muito vêm contribuído para o melhor entendimento deste fenômeno, para poder evitá-lo e controlá-lo, para que cada vez mais possam ser produzidos CAD's com um controle tecnológico mais eficiente.

Palavras-chave: Concreto de alto desempenho, retração autógena, compostos hidratados.

Área do Conhecimento: III-ENGENHARIAS

Introdução

A tecnologia do concreto nunca esteve tão avançada em estudos quanto hoje, à medida que evoluímos em conhecimento científico nos debatemos com novos conflitos, pois se por um lado avança-se tecnologicamente, por outro se gera novos problemas, com o concreto não é muito diferente, sempre que se desenvolve um novo método utilizando recursos dos mais diversos para melhorar as suas características de durabilidade e mecânica obtendo redução de custos e não agredindo a natureza, resultando entraves com novas limitações que aparecem à sua aplicação que devem ser superadas e assim à medida que se eliminam estas limitações, outras aparecem, a ciência vai se desenvolvendo e o conhecimento científico vai se aprofundando cada vez mais na eterna busca do equilíbrio.

Em se falando de CAD's que possuem relações água/aglomerante cada vez mais baixas, atingindo critérios de resistência e durabilidade mais elevados acontecem efeitos colaterais tais como a retração autógena que é um fenômeno que ocorre nos concretos como consequência exclusivamente das reações químicas de hidratação do cimento ao longo do tempo.

Por se tratar de uma retração que ocorre na estrutura interna do concreto, muita dificuldade se encontra para poder mensurar este fenômeno, já que nas camadas mais externas os efeitos de

retração se sobrepõem em retração por secagem, retração química, retração por carbonatação e retração térmica.

Busca-se neste trabalho entender melhor o fenômeno da retração autógena, trazendo uma abordagem científica de alguns trabalhos técnicos que em muito contribuíram para o desenvolvimento de estudos mais aprofundados, na questão da elaboração de equipamentos que melhor pudessem medir estes efeitos de retração.

Materiais e Métodos

A metodologia aplicada para este trabalho foi uma ampla revisão bibliográfica nacional e internacional sobre o tema, buscando estabelecer conexões com o modo de produção brasileiro do CAD, bem como os avanços conseguidos na tecnologia dos concretos para o entendimento deste fenômeno.

A retração no concreto

À medida que o concreto endurece em contato com o meio ambiente sofre contrações que, para efeito de estudo, podem ser subdivididas em três causas distintas [1]:

Retração química ou autógena: Decorrente da contração de volume que experimenta a água combinada quimicamente com o cimento.

Retração hidráulica ou por secagem: Função do equilíbrio das pressões capilares internas com a tensão de vapor saturante do meio ambiente.

Retração térmica: Que ocorre com a variação de temperatura do concreto.

Retração por carbonatação: Decorrente da ação do CO_2 sobre os compostos hidratados do cimento.

Na prática é muito difícil individualizar cada um dos tipos de retração devido a cada causa dos fenômenos mencionados, havendo pouco ou nenhum interesse neste ponto, pois acontecem simultaneamente, mas com duração diferente ao longo do tempo.

A busca do entendimento da origem e as principais causas de cada uma dessas retrações elementares, é fundamental entender as reações de hidratação e as suas conseqüências físicas, termodinâmicas e mecânicas. Então, do ponto de vista prático, seria possível tomar medidas apropriadas para estar seguro de que os efeitos danosos da retração possam ser minimizados. Na realidade, sabe-se muito bem que o concreto usual não retrai de forma alguma se for curado dentro da água.

Apesar de ser considerada evitável, a retração autógena é um fenômeno difícil de ser controlado, muitos autores afirmam que o simples fato de se fazer um procedimento de cura, o concreto estaria livre da retração autógena, o que não é consenso no meio científico, dividindo a opinião de muitos pesquisadores do assunto.

A partir do momento em que a cura com água for interrompida, o valor da relação água/aglomerante e a quantidade e tipo dos agregados determinará uma grande parte da retração final concreto [2].

Reações de hidratação e as suas conseqüências

[2] afirma que a expressão “reação de hidratação do cimento Portland” não é muito científica. Pois segundo o autor ela transmite apenas um fato: alguns momentos após o cimento ser colocado em contato com a água, inicia-se as reações de hidratação do cimento, formando produtos hidratados e endurecendo a pasta durante este processo. Essa reação de hidratação é exotérmica e provoca uma contração do volume sólido, e concomitantemente o ganho de resistência da pasta de cimento hidratada sempre está associado coma liberação de calor e com esta contração de volume sólido.

[2] ilustra este fenômeno com o chamado “Triângulo das bermudas” onde as reações de hidratação desenvolvem resistência, calor e contrações volumétricas simultaneamente.

Para explicar esquematicamente as propriedades do concreto que mais interessam, o cimento Portland pode ser considerado, simplificadaamente, como composto

essencialmente formado por cinco fases diferentes: C_2S , C_3S , C_3A , C_4AF e sulfato de cálcio (que é adicionado para controlar a pega).

Quando se observa a hidratação das fases puras, a hidratação dos silicatos resulta na formação, por um lado, de um silicato de cálcio hidratado, que é escrito na forma abreviada como C-S-H responsável essencialmente pelas resistências mecânicas do concreto e, por outro lado na portlandita, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ responsável pela manutenção do pH alcalino. De acordo com as proporções respectivas de cada uma dessas fases, a quantidade de água usada, a área específica do cimento, a temperatura inicial do concreto e a temperatura ambiente, serão desenvolvidos no concreto mais ou menos calor e mais ou menos resistência. Por conseguinte, um meio simples de observar a evolução da resistência do concreto é observar a evolução da temperatura do concreto conforme Figura 1 abaixo:

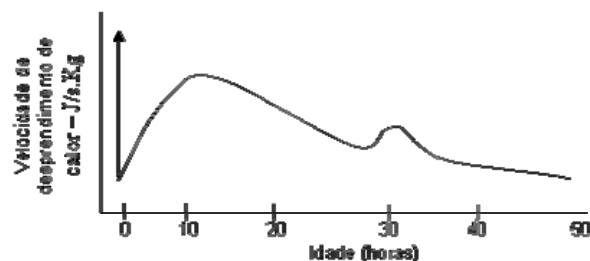


Fig.1. Evolução da liberação de calor com o tempo no concreto [3].

A hidratação do cimento Portland também é acompanhada pela redução do volume de sólido, uma vez que a hidratação dos silicatos dicálcico e tricálcico, que constituem a parte essencial do cimento Portland, e a formação da etringita são acompanhadas pela *redução do volume sólido*. De fato, se para hidratar um volume A de cimento, é necessário usar um volume B de água, para formar um volume C de hidrato, vê-se que $C < A + B$.

Ainda que muitos pesquisadores ainda não concordem sobre os valores respectivos de A, B e C é usualmente aceito que a redução no volume sólido provocada pela hidratação é da ordem de 10% como descoberto há cerca de 100 anos atrás por *Le Chatelier* (1904). Estas contrações volumétricas têm muitas conseqüências importantes nas reações de hidratação do cimento.

Alterações volumétricas do concreto (volume aparente)

Como na maioria dos materiais o volume aparente do concreto muda em decorrência da temperatura, aumenta quando é aquecido e contrai quando é resfriado. Porém outras variações volumétricas lhe

são peculiares: seu volume sólido diminui quando o cimento se hidrata e o seu volume aparente diminui quando é curado ao ar.

Cada uma dessas variações volumétricas pode causar diferentes formas de retração que somadas algebricamente determinam a retração total do concreto.

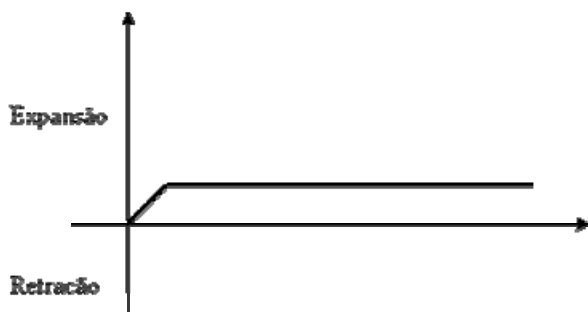


Fig.2. Comportamento volumétrico do concreto curado sob água [2].

Contração química (volume absoluto)

Quando o cimento Portland se hidrata, o volume absoluto dos hidratos formados no interior do concreto é menor do que a soma dos volumes reais do cimento e água combinados (conforme já visto no item 4). Essa contração e volume sólidos desenvolveram-se ao longo da reação de hidratação, e nem sempre a contração do volume sólido é acompanhada pela contração do volume aparente. O volume de sólido do concreto usual curado dentro da água realmente diminui, mas o seu volume aparente aumenta (vide Figura 2).

Esta aparente contradição é explicada pela expansão do concreto fresco, em função do crescimento dos cristais de etringita e de portlandita que são formados quando o concreto começa a endurecer ou pela expansão dos cristais de C-S-H devido à absorção de água, como ocorre em materiais argilosos. E tão logo a resistência à tração do concreto começa a se desenvolver, e torne-se maior do que a pressão criada pelo crescimento dos cristais, o volume aparente do concreto pára de aumentar.

Retração autógena

A retração autógena é um fenômeno que ocorre quando durante a hidratação do cimento é gerada uma porosidade muito fina nos poros de gel conforme Figura 4 e Figura 5 abaixo, e estas drenam água dos capilares de poros maiores para dar continuidade ao processo de hidratação, quando não há água suficiente dentro dos capilares maiores ocorre a formação de meniscos capilares nos poros de gel, provocando tensões capilares muito altas e resultando numa retração autógena ou auto-secagem. Essa retração é devida exclusivamente às reações químicas de hidratação do cimento ao longo do tempo, sem

trocas de umidade com o ambiente ou qualquer outra influência externa de temperatura ou carga.

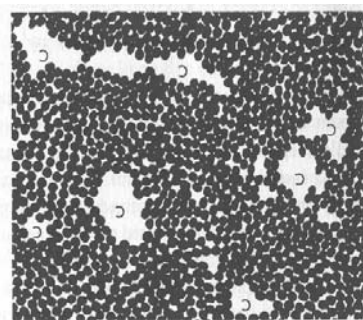


Fig.4. Poros de Gel (branco) e gel (preto) [3].

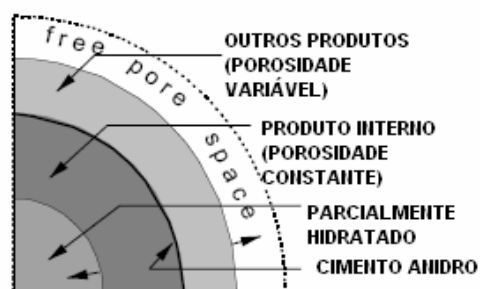


Fig.5. Micro-estrutura de hidratação do cimento um poro [4].

Num concreto comum este fenômeno não é tal significativo devido a sua alta reserva de água (relações água/aglomerante), mas nos concretos de alto desempenho que possuem pequenas reservas de água é muito significativo como veremos mais adiante (checar Figura 6 abaixo).

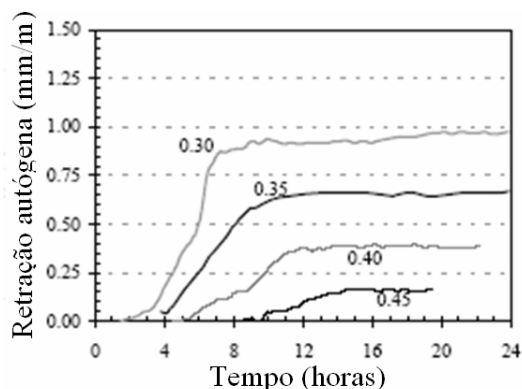


Fig.6. Evolução da retração autógena com diferentes relações A/AgI [4].

É importante salientar que muito se confunde que a contração volumétrica dos sólidos durante a hidratação do cimento deve-se à auto-secagem. Isto é verdadeiro apenas quando o corpo de prova do concreto está isolado de qualquer influência externa, por selagem, num envoltório bem fechado. Somente neste caso a contração do volume sólido desenvolve retração.

Alguns autores afirmam que a retração autógena pode ser igual à zero, se o concreto for curado com água, mas isso não é bem verdade, ela ocorre na estrutura interna do concreto, onde a água da cura não penetra nem pode evitar que seja emigrada a água interna para o meio externo.

Das variações volumétricas do cimento hidratado à retração do concreto

A auto-secagem e a secagem desenvolvem-se dentro da pasta de cimento hidratado, que é somente um dos componentes do concreto, os outros são os agregados, que usualmente têm um volume constante. A variação do volume aparente do concreto endurecido está assim relacionada com as variações volumétricas da pasta de cimento hidratado e as variações volumétricas térmicas desenvolvidas no interior da pasta de cimento hidratado e dos agregados.

Naturalmente, cada variação elementar de volume contribui para a retração global ou total do concreto endurecido e, por conseguinte, é algumas vezes útil dividir a retração total em retração autógena, retração hidráulica, ou por secagem, e retração térmica.

As retrações autógena e hidráulica estão relacionadas com as correspondentes variações volumétricas da pasta de cimento hidratado, mas essas retrações se desenvolvem livremente, devido à rigidez relativa do arcabouço de agregado graúdo que se opõe à redução do volume aparente do concreto [2]. Por conseguinte, a retração de um concreto endurecido é sempre menor do que aquela da pasta hidratada com a mesma relação água/aglomerante (conforme Figura 8):

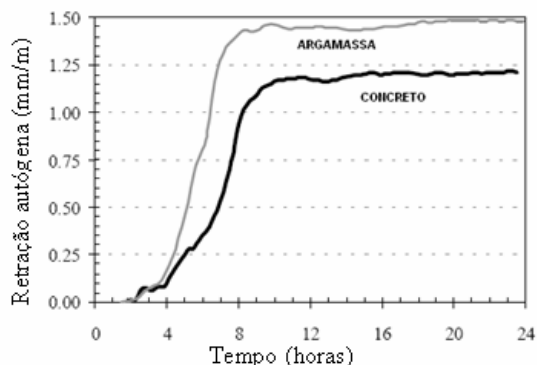


Fig.8. Retração autógena argamassa x concreto [5].

Sabe-se bem que uma maneira fácil de reduzir a retração total do concreto é aumentar o seu teor de agregado graúdo, contudo deve-se enfatizar que por um lado a retração total do concreto é reduzida pela incorporação de mais agregado graúdo na mistura para igual volume de pasta, por outro lado existirão mais microfissuras no interior da pasta, uma vez que ela terá maior dificuldade para se retrain, e a retração da pasta nada tem a

ver com a quantidade de agregado graúdo no interior do concreto.

Conclusões

Com o desenvolvimento de concretos cada vez mais resistentes e com o crescente uso do concreto de alto desempenho nas obras de construção civil, é necessário melhor entender o fenômeno de retração autógena, bem como procurar medidas que possam reduzi-la de forma a não prejudicar a qualidade do concreto.

Referências

- [1] ISAIA, Geraldo Cechella. **Defomações no concreto em estruturas correntes**. IBRACON, 2º ciclo de palestras sobre tecnologia do concreto estrutural, 7-8 de Junho de 1984. Rio Grande do Sul. 1984.
- [2] AÏCTIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. 1.ed. São Paulo, PINI. 2000.
- [3] NEVILLE, Adan Matthew. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo, PINI/ABCP. 1997.
- [4] ISHIDA, Tetsuya; CHAUBE, Rajesh P.; KISHO, Toshihan; MAEKAWA, Koichi. **Mycro-physical approach to coupled autogenous and drying shrinkage of concrete**. JSCE N° 578/V-37. November. 1997.
- [5] HOLD, Érika. **Very early age autogenous shrinkage: Governed by chemical shrinkage or self-desiccation?** Finland. 2002.