

SET

09

09

04



CONCRETO COM AGREGADOS GRAÚDOS RECICLADOS DE CONCRETO – AVALIAÇÃO DA RETRAÇÃO POR SECAGEM

B988c

BUTTLER, Alexandre Marques (1); MACHADO, Eloy Ferraz Jr (2)

(1) *Doutorando do Departamento de Engenharia de Estruturas
Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
email: buttler@sc.usp.br*

(2) *Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Estruturas
Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
email: efemacjr@sc.usp.br*

R. Dona Alexandrina, 2471 ap. 4 Bairro: Tijuco Preto
São Carlos – SP
Cep: 13566-290
Fone: 16-91433357 Fax: 16-2739481

Palavras Chaves: resíduos de concreto, agregados reciclados, retração por secagem

Resumo

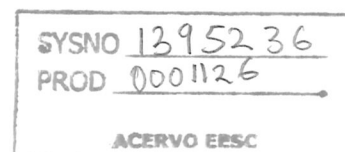
A conscientização pela sociedade brasileira da importância da reciclagem para o desenvolvimento sustentável será um dos grandes desafios que os pesquisadores, institutos de pesquisas e órgãos públicos terão que enfrentar nos próximos anos. Neste sentido, cabe aos pesquisadores contribuir para o conhecimento dos diversos resíduos existentes verificando a real possibilidade de reaproveitamento destes materiais e, quando não possível, fornecer subsídios para sua correta disposição.

Na construção civil, a geração de resíduos alcança níveis alarmantes correspondendo, segundo algumas estatísticas, a mais da metade do volume de resíduos gerados nas cidades brasileiras. Dentre os vários resíduos da construção civil, podemos citar os resíduos de concreto apresentando um dos maiores potenciais de reutilização devido a sua maior homogeneidade e menor grau de contaminação por outros tipos de resíduos, entretanto ainda são poucos os trabalhos desenvolvidos no Brasil que avaliaram as propriedades destes materiais.

Com o objetivo de contribuir para a valorização e conhecimento das propriedades dos resíduos de concreto, elaborou-se uma breve revisão bibliográfica tratando das propriedades de deformabilidade do material reciclado, com ênfase para a retração por secagem. Na parte experimental do trabalho, foram produzidos concretos com agregados reciclados provenientes de resíduos de concreto com diferentes idades de reciclagem e também resíduos de concreto que não foram submetidos ao processo de adensamento.

A retração por secagem foi avaliada para diversos traços que empregaram agregados graúdos reciclados comparando com os valores obtidos para o concreto de referência. De maneira geral, a retração por secagem para os concretos reciclados foi maior quando comparada com o concreto com agregados naturais devido a maior porosidade do agregado reciclado e sua menor capacidade em restringir deformações da matriz de cimento. Os valores experimentais de retração por secagem foram comparados com os prescritos no manual do ACI 209R-92 e com as formulações da RILEM (1994). O grau de hidratação dos resíduos de concreto (idade de reciclagem) teve influencia na retração por secagem, sendo que os maiores valores de retração foram obtidos para os concretos que incorporaram os resíduos de concreto não-adensados.

1395236
041004



1 Introdução

A retração por secagem em estruturas de concreto armado é um fenômeno inevitável sempre que tais elementos são expostos à umidade abaixo da condição de saturação. A retração em compósitos à base de cimento é ligada diretamente à ocorrência de fenômenos patológicos nas construções, sendo uma das principais causas da fissuração e, a ocorrência desta última, está ligada diretamente à durabilidade do concreto.

“A retração é provavelmente uma das propriedades menos desejáveis do concreto. Quando restringida, a retração pode resultar em fissurações, fato este que pode prejudicar a aparência do concreto e o torna mais vulnerável ao ataque por agentes externos, prejudicando a sua durabilidade. Mas, mesmo a retração não restringida é prejudicial: elementos de concreto não adjacentes se contraem afastando-se uns dos outros, abrindo, assim, fissuras externas. A retração também é responsável pela perda parcial de protensão dos cabos de concreto protendido” (NEVILLE, 1997).

No caso de concretos com agregados reciclados, a retração por secagem é um aspecto importante a ser analisado, pois está ligada diretamente com a durabilidade do concreto e o seu desempenho ao longo do tempo. O agregado reciclado possui uma camada de argamassa aderida a sua superfície e isso influencia numa maior demanda de água pelos agregados, fato este que ocasiona uma maior retração por secagem. Inúmeros pesquisadores relatam que concretos produzidos com agregados graúdos reciclados e areia natural apresentam uma retração cerca de 40 a 70% superior à retração do concreto com agregados naturais.

Dentro deste propósito, este artigo apresenta os resultados de um trabalho desenvolvido com o intuito de avaliar a retração por secagem para concretos que empregaram a fração graúda reciclada. Os resíduos foram provenientes de rejeitos de concreto que se diferenciavam em função da idade adotada para reciclagem.

2 Objetivo

O presente trabalho foi elaborado com o propósito de avaliar a retração por secagem de prismas produzidos com agregados graúdos reciclados comparando-a com a retração de concretos com agregados naturais e valores teóricos encontrados na literatura (manual 209R-92 do ACI) e RILEM (1994). Num segundo momento, foi analisada a influência do período decorrido entre a moldagem e a reciclagem do concreto (1, 7 e 28 dias) na retração por secagem dos prismas.

Antes da discussão e análise destes resultados, são apresentados alguns conceitos considerados fundamentais para a compreensão da retração por secagem conjuntamente com a revisão de trabalhos que avaliaram esta propriedade para concretos com agregados reciclados.

3 Retração por Secagem

3.1 Fundamentação teórica

A retração por secagem pode ocorrer no estado plástico ou no estado endurecido. A retração no estado endurecido ocorre na pasta de cimento saturada que não permanece dimensionalmente estável quando exposta a umidades ambientais que estão abaixo da sua saturação (FURNAS, 1997). A retração na pasta endurecida pode ocorrer com maior ou menor intensidade dependendo de onde se dá a saída de água.

Inicialmente ocorre a perda de água livre retida nas grandes cavidades. Essa água livre não está presa à estrutura dos produtos hidratados por ligações físico-químicas fortes e, portanto a sua perda não é acompanhada de retração significativa. Assim, uma pasta saturada exposta a uma umidade relativa inferior a 100% perderá uma quantidade considerável de água evaporável antes de sofrer retração intensa (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Quando a maior parte da água livre for perdida, qualquer perda adicional de água passará a resultar em retração considerável. Esse fenômeno é atribuído principalmente à perda de água adsorvida e da água retida em pequenos capilares. A água adsorvida, quando confinada em espaços estreitos entre duas superfícies sólidas, causa pressão de desligamento; a remoção dessa água adsorvida reduz a pressão de desligamento e causa a retração do sistema (MEHTA & MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997).

A água interlamelar, presente na forma de um filme monomolecular de água entre as camadas da estrutura do C-S-H (silicato de cálcio hidratado), pode também ser removida sob condições severas de secagem. A água presente em pequenos capilares (5 a 50 nm) exerce pressão hidrostática e sua remoção tende a induzir uma tensão de compressão sobre as paredes sólidas do poro capilar, causando também contração do sistema (MEHTA & MONTEIRO, 1994; BASTOS & CINCOTTO, 2000). A água quimicamente combinada, que é parte integrante da estrutura de vários produtos hidratados do cimento, somente é perdida a temperaturas acima de 100°C, por exemplo, em situações de incêndio (MEHTA & MONTEIRO, 1994; BASTOS & CINCOTTO, 2000).

3.2 Retração - Concretos com agregados reciclados de concreto

Os agregados reciclados oriundos de resíduos de concreto possuem algumas diferenças entre suas propriedades e a dos agregados naturais, sendo que estas são relacionadas basicamente a quantidade de argamassa do concreto original aderida à superfície dos reciclados. A camada de argamassa aderida é responsável pela elevada absorção do agregado reciclado em comparação com a do agregado natural; para uma determinada consistência, é necessário elevar a relação água/cimento em virtude da maior absorção e porosidade do agregado reciclado.

Para uma dada trabalhabilidade, o aumento da relação água/cimento para concretos reciclados acaba sendo fundamental no desenvolvimento da retração por secagem. NEVILLE (1997) relata que a retração é tanto maior quanto maior for a relação água/cimento, pois esta determina a quantidade de água evaporável na pasta de cimento e a velocidade à qual a água pode se deslocar para a superfície do concreto. Segundo FURNAS (1997), a cada acréscimo de 1% na água de amassamento de um concreto aumentará a retração em torno de 2%. A explicação parece ser que para cada 1% de acréscimo de água, o volume de gel a se formar no concreto é aumentado de quase 1%, ao mesmo tempo, que a tendência à retração do gel é aumentada cerca de 1% pela água extra.

Segundo NEVILLE (1997), os agregados leves, de um modo geral, apresentam maiores deformações por retração, principalmente devido ao fato de o agregado, com menor módulo de deformação, oferecer menor contenção à retração da pasta de cimento.

HANSEN (1985) cita que devido a grande quantidade de argamassa aderida à superfície do agregado reciclado, a retração por secagem do concreto com agregados reciclados apresentou-se sempre maior do que a retração do concreto com agregados naturais. Esse aumento situou-se entre 40 e 80%, sendo que os maiores valores foram obtidos quando se utilizou a fração miúda e a graúda reciclada.

BOEGH & HANSEN (1985) avaliaram o módulo de deformação e a retração por secagem de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto. Foi observado

um aumento de 40 a 60% da retração por secagem para o concreto reciclado em comparação com o concreto de agregados naturais.

A retração por secagem dos concretos com agregados graúdos reciclados é cerca de 55% maior do que a retração do concreto com agregados naturais. Para concretos com agregados graúdos e miúdos reciclados, a retração por secagem é cerca de duas vezes o valor da retração para o concreto natural (RAVINDRARAJAH et al., 1987).

As especificações da RILEM (1994), classificam os agregados graúdos reciclados em diferentes categorias e indicam o campo de aplicação dos concretos contendo esses agregados em termos de classe de exposição e classes de resistência de acordo com o EUROCODE 2. Sua principal recomendação refere-se à adoção de coeficientes de projeto a serem utilizados no cálculo de elementos estruturais que sejam produzidos com concretos com agregados graúdos reciclados, conforme sua origem, e as restrições à sua utilização.

Segundo as recomendações da RILEM (1994), a classificação dos resíduos de concreto é feita em dois tipos de categorias:

Tipo II – agregados graúdos provenientes totalmente de resíduos de concreto;

Tipo III – agregados provenientes de uma mistura de agregados naturais e reciclados, onde as seguintes considerações devem ser respeitadas:

- Porcentagem mínima de agregados naturais é 80%;
- Porcentagem máxima de agregados provenientes de resíduos de alvenaria é 10%;

Na ausência de valores experimentais mais precisos para elementos de concreto reciclado, as recomendações fornecem coeficientes de correção, que são multiplicados pelos valores encontrados para os concretos naturais com as mesmas características do reciclado. Por exemplo, para obter a retração de um concreto reciclado tipo II, calcula-se utilizando as formulações do ACI 209R-92 o valor da retração para o concreto natural e depois é só multiplicá-lo pelo coeficiente apresentado na RILEM (1994), nesse caso 1,5, Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes de projeto para o concreto reciclado. (RILEM, 1994)

| Propriedade | Agregado TIPO II | Agregado TIPO III |
|--------------------------------------------------|------------------|-------------------|
| Resistência à Tração (f_{ctm}) | 1 | 1 |
| Módulo de deformação (E_{cm}) | 0,8 | 1 |
| Coefficiente de Fluência ($\phi(\infty, t_0)$) | 1 | 1 |
| Retração (ε_{cs0}) | 1,5 | 1 |

TERANISHI et al. (1998) estabeleceram várias dosagens para concretos com agregados graúdos reciclados. Os resultados evidenciaram que a retração por secagem de concretos com agregados graúdos reciclados foi cerca de 30% maior para concretos com relação água/cimento igual a 0,6; 25% superior para uma relação água/cimento igual a 0,5 e cerca de 17% maior para concretos com uma relação água/cimento igual a 0,4 se comparado com a retração por secagem de concretos com agregados naturais com características similares.

SAGOE-CRENTSIL et al. (2001) estudaram a retração por secagem de concretos com agregados graúdos reciclados. Para concretos reciclados com cimento de escória de alto forno, a deformação por retração foi cerca de 35% maior se comparado com o concreto de referência. Por outro lado, para concretos reciclados confeccionados com cimento Portland, a retração por secagem é apenas 15% maior se comparada com o concreto de referência. De uma maneira geral, os autores concluíram que os concretos reciclados apresentaram maiores valores de retração, devido às partículas de agregado terem menor capacidade de restringirem deformações quando comparado aos agregados naturais.

4 Características dos materiais

Os materiais empregados neste trabalho para a produção dos concretos visando à avaliação da retração por secagem foram:

- a) cimento Portland;
- b) agregado miúdo natural;
- c) agregado graúdo reciclado;
- d) agregado graúdo natural.

O aglomerante utilizado na pesquisa foi o cimento CII-E-32. O agregado miúdo utilizado foi a areia natural quartzosa obtida do Rio Mogi-Guaçu, adquirida na região de São Carlos – SP. Pela classificação granulométrica, realizada conforme a NBR-7211, foi classificada como sendo Areia Média - zona 3. O agregado graúdo natural empregado foi a pedra britada de origem basáltica, da região de Araraquara – SP.

Os agregados graúdos reciclados foram provenientes de resíduos de concreto natural de referência, que após serem triturados em um britador de mandíbulas, forneceram o material necessário para as dosagens.

Os agregados graúdos reciclados foram designados pelas seguintes terminologias:

- GR1 – agregado graúdo reciclado proveniente de um resíduo de concreto, o qual foi britado com a idade de um dia.
- GR7 – agregado graúdo reciclado proveniente de um resíduo de concreto, o qual foi britado com a idade de sete dias.
- GR28 – agregado graúdo reciclado proveniente de um resíduo de concreto, o qual foi britado com a idade de vinte e oito dias.
- GRNA28 – agregado graúdo reciclado proveniente de um resíduo de concreto não-adensado, o qual foi britado depois de vinte e oito dias decorridos da moldagem.

5 Metodologia Experimental

5.1 Agregados reciclados

Os agregados reciclados (GR1, GR7, GR28 e GRNA28) foram provenientes de um concreto confeccionado com agregados naturais e que apresentava as características mecânicas indicadas na tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do concreto original – referência

| f_{c1} (MPa) | f_{c7} (MPa) | f_{c28} (MPa) | Módulo de deformação secante (GPa) |
|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------------|
| 14,6 | 45,3 | 52,1 | 36,07 |

Após a britagem, os agregados reciclados passaram pela peneira 4,8 mm visando separar a fração graúda da miúda; deve-se salientar que a fração miúda obtida após o processo de peneiramento não foi utilizada em nenhuma das dosagens. As propriedades físicas dos agregados graúdos reciclados encontram-se na tabela 3.

Tabela 3 – Ensaio de caracterização dos agregados graúdos reciclados

| Propriedade | Resultado | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|-------|--------|
| | GR1 | GR7 | GR28 | GRNA28 |
| Dimensão máxima característica | 19,0 | 19,0 | 19,0 | 19,0 |
| Módulo de finura | 6,45 | 6,40 | 6,43 | 6,48 |
| Massa unitária – estado solto (kg/dm ³) | 1,287 | 1,287 | 1,293 | 1,258 |
| Massa unitária – estado compactado seco (kg/dm ³) | 1,437 | 1,426 | 1,424 | 1,411 |
| Abrasão Los Angeles (%) | 41,68 | 30,48 | 28,76 | 31,08 |
| Massa específica na condição seca - γ_s (kg/dm ³) | 2,455 | 2,398 | 2,426 | 2,393 |
| Massa específica na condição saturada superfície seca - γ_{ss} (kg/dm ³) | 2,589 | 2,552 | 2,575 | 2,542 |
| Índice de vazios (%) | 13,46 | 15,38 | 14,93 | 14,94 |
| Absorção de água (%) | | | | |
| 10 min. | 4,74 | 5,67 | 5,51 | 5,59 |
| 30 min. | 4,84 | 5,81 | 5,68 | 5,66 |
| 24 horas | 5,48 | 6,41 | 6,16 | 6,25 |

5.2 Traço empregado

O traço utilizado para todas as dosagens (concreto natural e concreto reciclado) foi semelhante, variando apenas a natureza do agregado graúdo e a idade do agregado reciclado. Foi escolhido como parâmetro de controle o abatimento de tronco de cone, portanto cada traço teve uma relação água/cimento em função do mesmo resultado de abatimento.

O traço utilizado, em massa, para o concreto com agregados naturais possuía a seguinte composição:

$$1 : 1,4 : 2,4 - a/c = 0,41$$

O agregado miúdo reciclado não foi utilizado nas dosagens devido sua elevada absorção e variabilidade. Além disso, inúmeros artigos científicos e recomendações técnicas sugerem a não utilização desse agregado.

Foram definidas cinco dosagens, sendo que quatro delas utilizavam agregados graúdos reciclados. As dosagens com agregados graúdos reciclados diferiam entre si pela idade de reciclagem, como por exemplo, na dosagem 3, o agregado graúdo reciclado (GR7) foi obtido de um concreto que foi reciclado após decorridos sete dias da sua moldagem; na dosagem 5, o agregado graúdo reciclado (GRNA28) foi obtido de um concreto não-adensado que foi reciclado 28 dias após a sua moldagem. As dosagens utilizadas são encontradas na tabela 4.

Tabela 4 – Dosagens utilizadas na pesquisa

| Dosagem | Composição | Relação água/cimento (a/c) |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------|
| 1 - Concreto natural – referência | Agregado miúdo – areia natural | 0,41 |
| | Agregado graúdo – brita 1 | |
| 2 - Concreto reciclado (CR1) | Agregado miúdo – areia natural | 0,45 |
| | Agregado graúdo – agregado reciclado (GR1) | |
| 3 - Concreto reciclado (CR7) | Agregado miúdo – areia natural | 0,48 |
| | Agregado graúdo – agregado reciclado (GR7) | |
| 4 - Concreto reciclado (CR28) | Agregado miúdo – areia natural | 0,45 |
| | Agregado graúdo – agregado reciclado (GR28) | |
| 5 - Concreto reciclado (CRNA28) | Agregado miúdo – areia natural | 0,48 |
| | Agregado graúdo – agregado reciclado (GRNA28) | |

5.3 Retração por secagem

O procedimento experimental para avaliação do desenvolvimento da retração por secagem foi realizado segundo as recomendações da ASTM C157/93, utilizando corpos-de-prova prismáticos (75x75x285) mm³ – três exemplares para cada condição de ensaio, totalizando 15 corpos-de-prova. Antes de proceder ao ensaio, foram moldados cerca de 10 corpos-de-prova como parte integrante do projeto piloto; as principais aspirações desta etapa foram solucionar os problemas relativos à colocação dos inserts nas extremidades dos prismas, adquirir familiaridade nas leituras, manuseamento do aparelho comparador de comprimentos e ter conhecimento da metodologia a ser adotada durante os ensaios.

Após a moldagem, os prismas permaneciam cerca de 24 horas nas fôrmas para depois serem dispostos por sete dias na câmara úmida. Na figura 1, encontram-se alguns exemplares dispostos na câmara úmida.

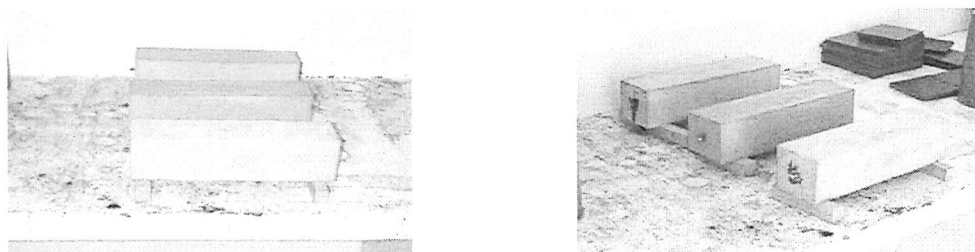


Figura 1 – Prismas dispostos na câmara úmida

Na figura 1, nota-se que os prismas foram dispostos sobre pequenos calços de madeira visando permitir a retração por secagem em todas as faces do elemento. Adotando-se este procedimento, evitou-se a retração diferencial que poderia prejudicar a avaliação dos resultados. As fôrmas utilizadas para a moldagem dos prismas podem ser encontradas na figura 2.

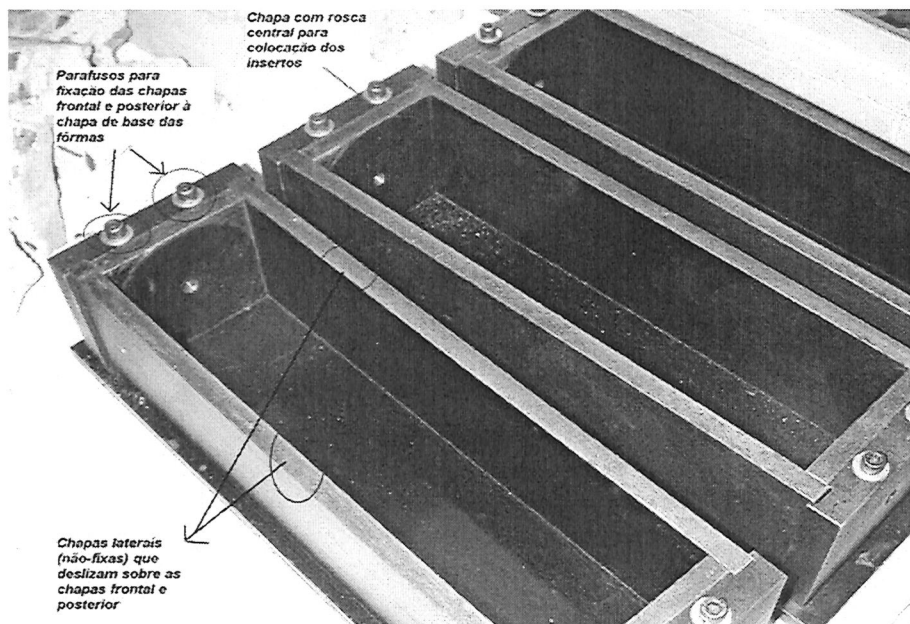
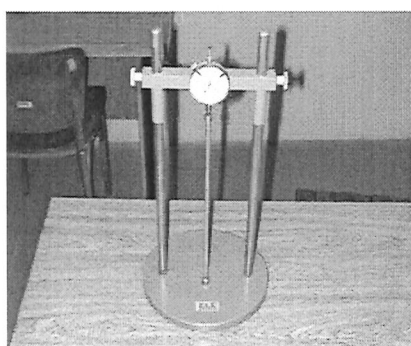
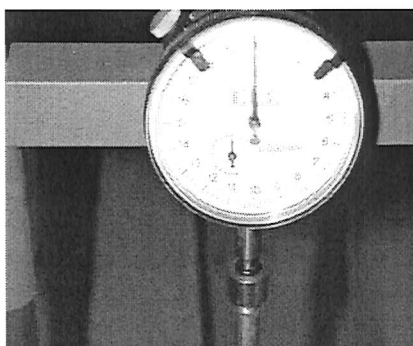


Figura 2 – Fôrmas utilizadas para a moldagem dos prismas

No período, entre a desforma e à permanência na câmara úmida foram realizadas três leituras para avaliar o desenvolvimento da retração ou expansão inicial. Depois de decorridos sete dias na câmara úmida, os prismas foram colocados na câmara climatizada aonde eram realizadas leituras semanais durante o primeiro mês. As leituras foram executadas com o auxílio de um aparelho comparador de comprimentos, figura 3.



a) aparelho comparador



b) detalhe relógio

Figura 3 – Aparelho comparador de comprimentos

Como se observa na figura 3, o aparelho era constituído de duas barras de aço invar (material com baixíssimo coeficiente de dilatação térmica) que sustentavam o relógio comparador de comprimentos (precisão de milésimos de milímetros – 0,002 mm). A barra de referência que foi utilizada como padrão apresentava um comprimento total de $(300 \pm 1,5)$ mm sendo empregada antes de cada leitura, portanto as leituras de cada prisma referiam-se ao valor de referência da barra padrão.

Para obter a leitura que seria utilizada nos cálculos de retração por secagem, subtraía-se a leitura efetuada pelo aparelho do comprimento dos dois insertos (2 x 19,5 mm). Na figura 4, encontra-se um prisma de referência disposto no aparelho comparador de comprimentos para que fosse realizada a leitura de retração.

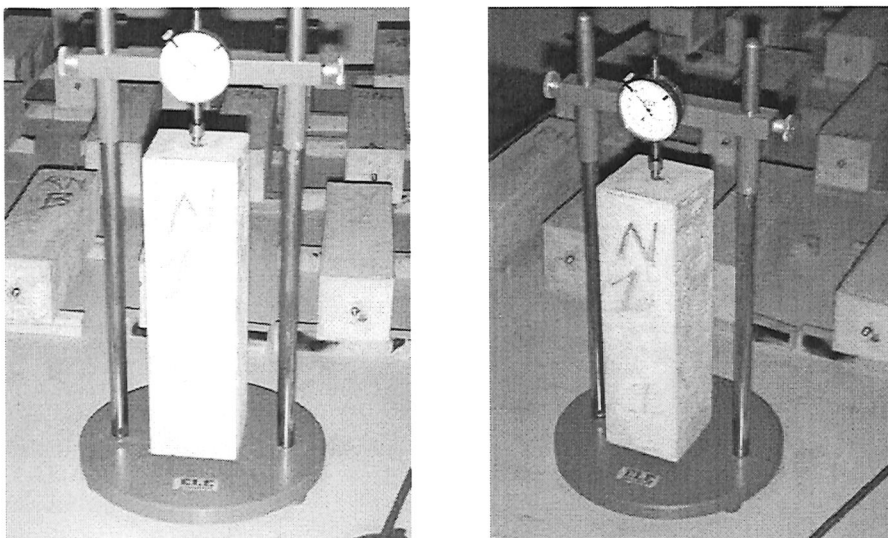


Figura 4 – Prisma disposto no aparelho comparador de comprimentos

Os prismas foram dispostos na câmara climatizada do Departamento de Estruturas que apresentava registro e controle da temperatura e umidade relativa do ar, figura 5.

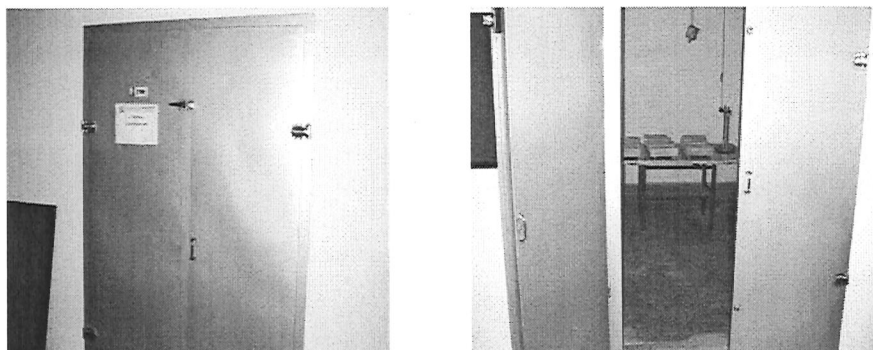


Figura 5 – Câmara climatizada do Departamento de Estruturas

Na figura 6, apresenta-se um layout da câmara climatizada representado todos os equipamentos instalados no seu interior.

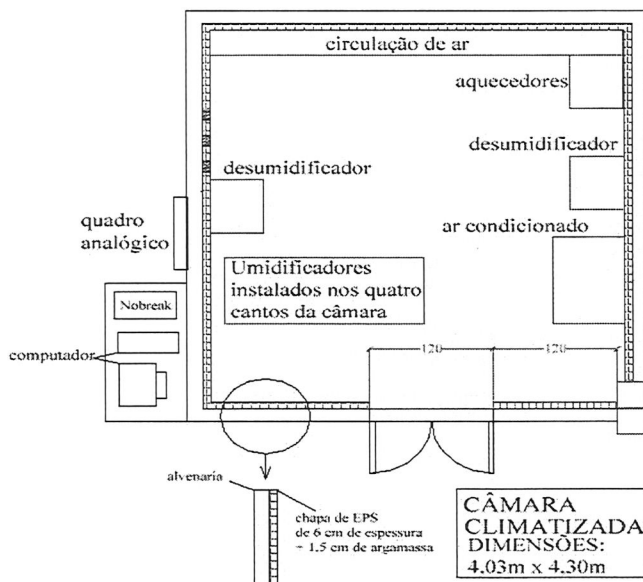
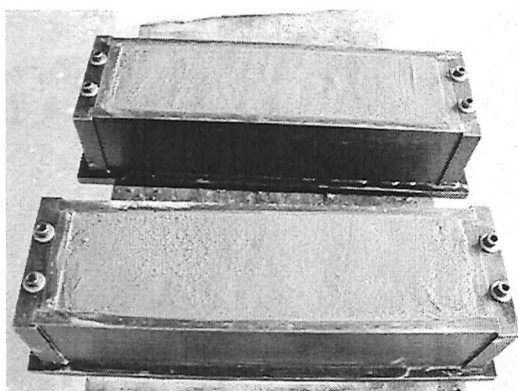


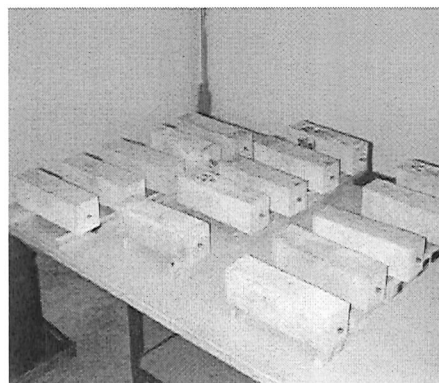
Figura 6 – Layout da câmara climatizada (TAKEUTI & HANAI (2002))

A ASTM C157-93 recomenda que os prismas devam ser dispostos em uma câmara que apresente temperatura situada entre $(23 \pm 1,7^\circ\text{C})$ e umidade entre $(50 \pm 4\%)$. Em virtude de um problema que ocorreu no aparelho de refrigeração no início do segundo mês de ensaio, a temperatura elevou-se e ficou em torno de $31 \pm 2^\circ\text{C}$ mantendo-se nesse patamar até o final do ensaio; por outro lado, a umidade sempre se manteve estabilizada nos patamares de $54 \pm 2\%$.

Na figura 7, podem ser observados os prismas logo após a moldagem e na câmara climatizada.



a) Prismas logo após a moldagem



b) Prismas dispostos na câmara climatizada

Figura 7 – Prismas após a moldagem e na câmara climatizada

As leituras que expressavam a expansão ou retração por secagem (ε) dos prismas foram calculadas como sendo a diferença entre os comprimentos dos prismas à idade considerada e o comprimento dos mesmos quando da remoção dos moldes, expressa em mm ($\times 10^{-6}$ m).

$$\varepsilon = \left(\frac{A - B}{G} \right) \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

A= leitura efetuada numa idade qualquer em mm

B=leitura efetuada após a desforma em mm

G= Comprimento nominal de medida, variável para cada prisma

$\varepsilon < 0$ – significa que houve retração

$\varepsilon > 0$ – significa que houve expansão

6 Análise dos resultados

Na tabela 5, são apresentados os resultados de retração por secagem para cada um dos concretos avaliados neste trabalho.

Tabela 5 – Valores de retração por secagem obtidos experimentalmente

| Concreto Referência | | Concreto reciclado (CR1) | | Concreto reciclado (CR7) | | Concreto reciclado (CR28) | | Concreto reciclado (CRNA28) | |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Idade (dias) | ε ($\times 10^{-6}$) | Idade (dias) | ε ($\times 10^{-6}$) | Idade (dias) | ε ($\times 10^{-6}$) | Idade (dias) | ε ($\times 10^{-6}$) | Idade (dias) | ε ($\times 10^{-6}$) |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 5 | 6,4 | 4 | -2,81 | 5 | -13,3 | 8 | -8,4 | 8 | -21,1 |
| 8 | 3,1 | 8 | 1,78 | 8 | -8,2 | 11 | -148,9 | 26 | -420,2 |
| 12 | -43,3 | 11 | -110,6 | 11 | -145,1 | 14 | -178,4 | 32 | -485,5 |
| 19 | -166,4 | 14 | -210,3 | 14 | -220,1 | 22 | -324,0 | 39 | -557,8 |
| 26 | -202,0 | 17 | -284,4 | 18 | -323,1 | 40 | -412,2 | 46 | -612,1 |
| 33 | -277,3 | 21 | -375,4 | 21 | -348,6 | 46 | -452,5 | 60 | -681,7 |
| 40 | -295,6 | 24 | -392,0 | 29 | -459,3 | 53 | -503,2 | 89 | -775,7 |
| 62 | -362,1 | 32 | -463,1 | 47 | -541,4 | 60 | -529,4 | 111 | -797,1 |
| 78 | -387,6 | 50 | -523,8 | 53 | -583,5 | 74 | -582,7 | 200 | -873,1 |
| 173 | -449,3 | 56 | -555,1 | 60 | -631,5 | 119 | -650,0 | 263 | -886,6 |
| 236 | -461,0 | 63 | -612,7 | 67 | -667,9 | 214 | -707,1 | | |
| | | 70 | -635,9 | 81 | -718,4 | 277 | -710,7 | | |
| | | 84 | -680,0 | 126 | -795,2 | | | | |
| | | 129 | -757,2 | 221 | -849,8 | | | | |
| | | 224 | -822,2 | 284 | -850,6 | | | | |
| | | 287 | -825,3 | | | | | | |

Na figura 8, pode ser observado o desenvolvimento da retração por secagem para cada uma das dosagens estudadas.

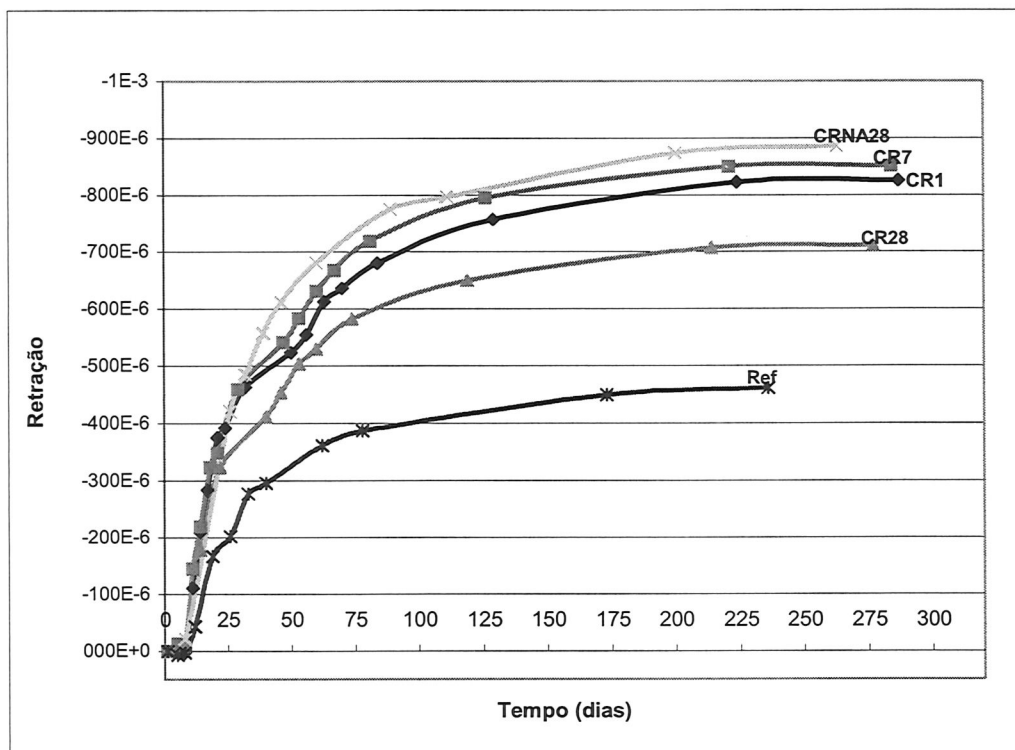


Figura 8 – Desenvolvimento da retração por secagem para os concretos estudados

Através da análise da tabela 5 e da figura 8, nota-se claramente que para todas as dosagens que empregaram agregados reciclados foram obtidos valores de retração superiores aos encontrados para o concreto de referência. A seguir, são apresentadas algumas justificativas que podem ser enumeradas para este comportamento:

- O menor módulo de deformação do agregado reciclado em relação ao agregado natural. Este fato se deve à grande quantidade de argamassa aderida ao reciclado que acaba, por conseguinte, oferecendo uma menor contenção à retração da pasta de cimento. Segundo MEHTA & MONTEIRO (1994), a substituição de um agregado com alto módulo de deformação por um agregado de baixo módulo de deformação pode ocasionar um aumento de cerca de 2,5 vezes na retração por secagem.
- A menor dimensão máxima característica do agregado reciclado em relação ao agregado natural devido às características do britador utilizado e a abertura de sua mandíbula. Segundo FURNAS (1997), a substituição de um agregado com faixa granulométrica situada entre 9,5-19 mm por um agregado com granulometria entre 4,8-9,5 mm provocou um aumento de cerca de 35% na retração por secagem.
- A maior relação água/cimento utilizada nas dosagens com reciclados para uma determinada consistência. Segundo NEVILLE (1997), a retração é tanto maior quanto maior for a relação água/cimento, pois esta determina a quantidade de água evaporável na pasta de cimento e a velocidade na qual a água pode se deslocar para a superfície do concreto. MEHTA & MONTEIRO (1994) relatam que um aumento na relação água/cimento irá reduzir o volume de agregado ocasionando, conseqüentemente, um aumento da retração por secagem.

Um fato interessante que se pode notar analisando-se o gráfico da figura 8, diz respeito ao fato, que após a 12ª semana (84 dias), a retração obtida praticamente representa cerca de 85% do valor da retração na 34ª semana (235 dias). Dessa forma, pode-se dizer que grande parcela da retração ocorreu nas primeiras semanas, basicamente devido às condições do ensaio, isto é, temperatura elevada (32°C) e umidade relativamente baixa (50%). MEHTA & MONTEIRO (1994) citam ensaios de retração realizados por Troxell, para várias dosagens de concreto, tipos de agregado, condições ambientais e de carregamento, nos quais os valores de retração na 12ª semana representaram cerca de 50 a 60% da retração final após 20 anos.

Para ilustrar o comportamento dos resultados obtidos para a propriedade de retração por secagem, elaborou-se um gráfico relacionando os valores obtidos para os diferentes concretos estudados (figura 9). No eixo das abscissas estão indicadas as idades analisadas, enquanto nas ordenadas, procurou-se expressar cada valor obtido com relação à retração do concreto de referência.

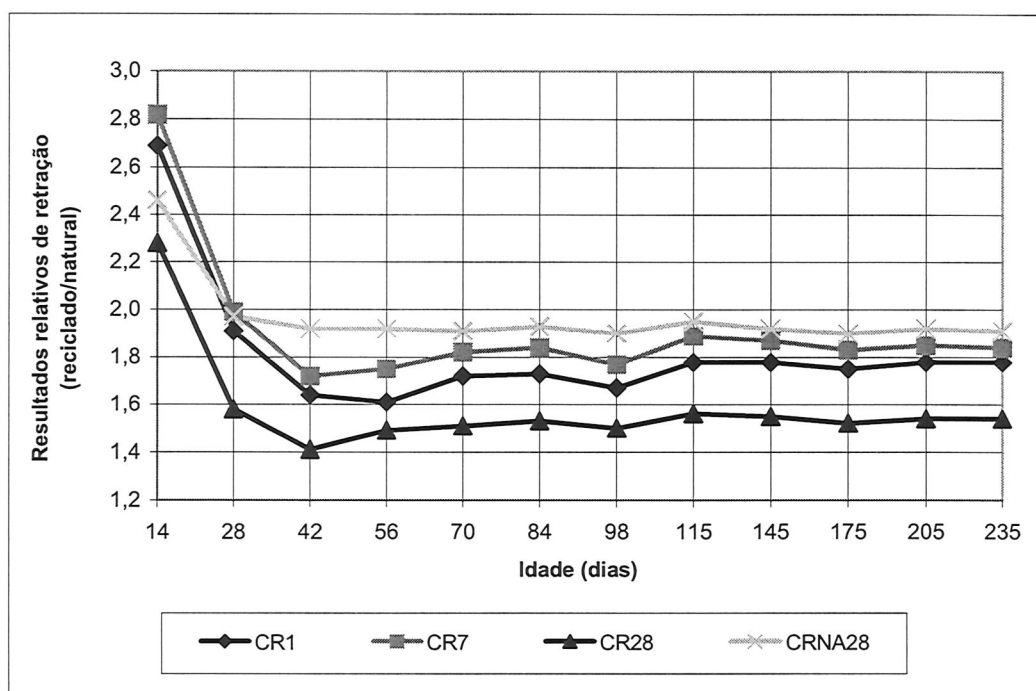


Figura 9 – Resultados relativos para a propriedade de retração por secagem

Analisando-se o gráfico da figura 9, observa-se que os resultados mais satisfatórios foram obtidos para o concreto reciclado CR28 seguido pelo concreto CR1; a retração para esses concretos após 235 dias situou-se entre 50% a 75% superior à apresentada para o concreto de referência. Para o concreto reciclado CR7, a retração por secagem foi cerca de 80% superior, sendo que os maiores resultados de retração foram obtidos para o concreto CRNA28, com valores até 90% superiores em relação ao concreto de referência. Os menores valores de retração por secagem para os concretos CR1 e CR28 quando comparados com os demais concretos reciclados deve-se principalmente à menor relação água/cimento empregada nessas dosagens, menor absorção e índice de vazios dos seus respectivos agregados reciclados. Por outro lado, o concreto reciclado CRNA28 obteve os maiores valores de retração devido à qualidade do agregado reciclado (originário de um

resíduo de concreto não-adensado) e a maior relação água/cimento empregada nessa dosagem.

A maior resistência do agregado GR28 e seu maior módulo de deformação podem ser enumerados como alguns dos motivos para os menores valores de retração do concreto CR28 (cerca de 20%) em relação ao concreto CR1.

Comparando os resultados obtidos experimentalmente, os valores teóricos aplicando as prescrições do ACI 209R-92 e as formulações da RILEM (1994) foram observadas algumas diferenças, figura 10.

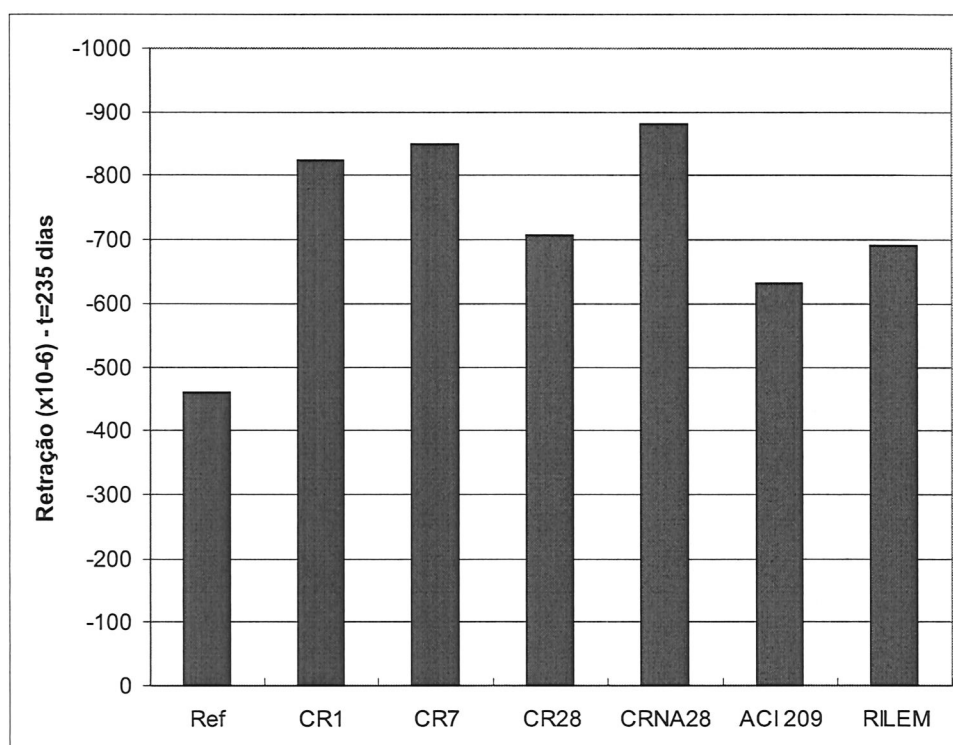


Figura 10 – Valores experimentais de retração x Resultados teóricos do ACI x RILEM

Como se constata pela análise do gráfico da figura 10, as formulações do ACI 209R-92 não forneceram valores coerentes para a retração dos concretos que empregaram agregados reciclados, uma vez que as temperaturas durante o ensaio de retração foram distintas daquelas mencionadas no manual. O ACI 209R-92 prescreve que os exemplares devam ser acondicionados em um ambiente com temperatura situada entre $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Entretanto, apesar do manual constatar que a temperatura é o segundo maior efeito que afeta a retração, o ACI 209R-92 não oferece nenhuma formulação tratando de temperaturas distintas da mencionada no manual. Portanto, em virtude dos prismas terem sido dispostos em um ambiente com temperatura próxima a 32°C , espera-se que os valores teóricos de retração obtidos através das formulações do ACI sejam naturalmente menores que os valores encontrados experimentalmente.

Com relação à retração por secagem dos concretos reciclados, o valor teórico obtido pela formulação da RILEM (1994) está em concordância, principalmente, com os valores experimentais de retração obtidos para o concreto reciclado CR28 e, em ordem de grandeza, com os obtidos para os concretos reciclados CR1 e CR7. Deve-se levar em consideração que as diferenças apresentadas são ocasionadas pela maior relação água/cimento e menor módulo de finura dos agregados reciclados que conduziram a valores de retração relativamente superiores aos prescritos pelas recomendações da

RILEM (1994). Segundo estas prescrições, aplica-se o coeficiente de projeto (1,5) para a obtenção da retração dos concretos reciclados desde que as características desses concretos sejam semelhantes àsquelas do concreto com agregados naturais.

7 Considerações Finais

Com relação aos resultados de retração por secagem obtidos neste trabalho para os concretos com agregados reciclados são apresentadas as seguintes conclusões:

- A retração por secagem para os concretos reciclados foi superior à retração encontrada para o concreto com agregados naturais devido às propriedades físicas dos materiais reciclados, especialmente, a maior absorção de água, porosidade e menor dimensão máxima característica do agregado. Os concretos CR28 e CR1 apresentaram os resultados mais satisfatórios de retração quando comparados com os demais concretos reciclados.
- Os resultados de retração encontrados foram equivalentes aos obtidos por outros pesquisadores.
- Com relação à retração por secagem dos concretos reciclados, o valor teórico obtido pela formulação da RILEM (1994) está em concordância, principalmente, com os valores de retração obtidos para o concreto reciclado CR28 e, em ordem de grandeza, com os obtidos para os concretos reciclados CR1 e CR7. Deve-se levar em consideração que os concretos com agregados reciclados analisados apresentaram algumas diferenças fundamentais em relação ao concreto com agregados naturais, tais como, a maior relação água/cimento e o menor módulo de finura dos agregados que conduziram a valores de retração ligeiramente superiores aos prescritos pelas recomendações da RILEM (1994).
- As prescrições do ACI 209R-92 não fornecem expressões para o cálculo da retração em ambientes cuja temperatura seja distinta daquela mencionada no manual ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$). Dessa forma, para temperaturas acima desse valor espera-se que os valores teóricos de retração sejam naturalmente menores que os experimentais.
- A retração por secagem é uma propriedade intimamente ligada à durabilidade das estruturas e seu desempenho ao longo do tempo. A retração em peças estruturais pode conduzir ao surgimento de fissuras, quando as tensões de tração no material causadas pela deformação por retração forem superiores a resistência à tração do concreto. Para os concretos com agregados reciclados, esta premissa tem que ser avaliada detalhadamente, uma vez que apesar dos maiores valores de retração, tais concretos apresentam menores módulos de deformação (20 a 30% inferior em relação ao concreto com agregados naturais). Desta maneira, para uma determinada deformação causada pela retração, as tensões resultantes serão inferiores para os elementos reciclados devido seu menor módulo de deformação.

8 Referências

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures**. Designation ACI 209-R92, 1992.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete**. Designation C 157-93, 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete.** Designation C 490-96, 1996

BASTOS, P. K. X.; CINCOTTO, M. A. **Retração de Compósitos à Base de Cimento.** São Paulo – PCC/USP, 2000.

BOEGH, E.; HANSEN, T.. **Elasticity and Drying Shrinkage of Recycled-Aggregate Concrete.** Journal of American Concrete Institute Proceedings, v.82, n.5, p.648-652, September-October, 1985

BUTTLER, A. M. **Concreto com Agregados Graúdos Reciclados de Concreto – Influência da Idade de Reciclagem nas Propriedades dos Agregados e Concretos Reciclados.** São Carlos, 199p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA 307 de 05 de julho de 2002,** 2002. Disponível em <http://www.conama.org.br>. Acessado em 15.12.2002.

FURNAS. **Concretos (massa, estrutural, projetado e compactado com rolo) – Ensaaios e Propriedades.** Editora Pini, São Paulo, 1997.

HANSEN, T. **Strenght of Recycled Concrete made from Chushed Concrete Coarse Aggregate.** Concrete International – Design and Construction, v.5, n.1, p.79-83, January, 1985.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo, Pini, 1994.

NEVILLE, A.M.. **Propriedades do Concreto.** 2a edição. São Paulo, Pini, 1997.

OZTURAN, T.; CEÇEN, C.. **Effect of Coarse Aggregate Type on Mechanical Properties of Concretos with Different Strenghts.** Cement and Concrete Research, vol. 27, no. 2, pp. 165-170, 1996.

RAVINDRARAJAH, R. S.; LOO, Y. H.; TAM, T.C.. **Recycled Concrete as Fine and Coarse Aggregates in Concrete.** Magazine of Concrete Research, v.39, n.141, p.214-220, December, 1987.

RILEM RECOMMENDATION. **Specifications for Concrete with Recycled Aggregates. Materials and Structures,** vol.27, 557-559, 1994.

SAGOE-CRENTSIL, K. K.; BROWN, T.; TAYLOR, A. H.. **Perfomance of Concrete made with Comerercially Produced Coarse Recycled Concrete Aggregate.** Cement and Concrete Research, v.31, n.5, p.707-712, 2001.

TOPÇU, I. B. **Pyysical and Mechanical Properties of Concretos Produced with Waste Concrete.** Cement and Concrete Research, v.27, n.12, p.1817-1823, 1997.