

Reação álcali-agregado - Método Acelerado Brasileiro de Prismas de Concreto (ABCPT)

LEANDRO SANCHEZ - MSc - DOUTORANDO

UNIVERSITÉ LAVAL

SELMO KUPERMAN - DIRETOR

DESEK

PAULO HELENE - PROFESSOR TITULAR

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

RESUMO

Muitos são os métodos de ensaio de laboratório que vêm sendo atualmente utilizados na prevenção da reação álcali-agregado (RAA). Dentre estes, destacam-se: a análise petrográfica, preconizada pela NBR-15577-3 ou ASTM C 295; o método acelerado de barras de argamassa (AMBT), preconizado pela NBR 15577-4 ou ASTM C 1260; e o método de prismas de concreto (CPT), preconizado pela NBR 15577-6 ou ASTM C 1293. Entretanto, ainda não existe um ensaio que seja consenso no meio técnico/científico no que diz respeito à sua confiabilidade e eficiência. Este trabalho apresenta a tentativa de desenvolvimento de um novo método de ensaio acelerado denominado ABCPT (método acelerado brasileiro de prismas de concreto), com o intuito de que este possa, de maneira confiável e em apenas trinta dias, analisar e classificar agregados mediante a sua potencial reatividade em laboratório. Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizados

seis agregados (granito de Embu das Artes, seixo de quartzo de Três Lagoas, basalto de Americana, basalto de Birigui, milonito de Recife e calcário de Spratt, Canadá). Os agregados foram testados pelos métodos ABCPT e CPT e, após a confecção dos ensaios, uma análise comparativa entre os métodos foi realizada. Paralelamente aos ensaios de expansão, foi feita a análise petrográfica das amostras. Os resultados indicam que o ABCPT demonstra grande potencial para utilização na análise e classificação de agregados em obras correntes de engenharia, apresentando grande correlação com o método CPT (método mais confiável existente na atualidade). No entanto, para a sua real comprovação, torna-se muito importante a realização do ensaio com um maior número de amostras de diferentes litologias.

Palavras-chave: *Reação álcali-agregado, métodos de ensaio, método de prismas de concreto (CPT), método acelerado brasileiro de prismas de concreto (ABCPT).*

ABSTRACT

There are many test methods that have been carried out in the laboratory to prevent alkali-aggregate reaction (AAR). The main test methods are the petrographic analysis according to NBR 15577-3 or ASTM C 295, the accelerated mortar bar test (AMBT) according to NBR 15577-4 or ASTM C 1260, and the concrete prism test (CPT) according to NBR 15577-6 or ASTM C 1293. However, up to now, there is no consensus if they are reliable and efficient. This work presents the development of a new and accelerated concrete prism test called ABCPT (accelerate Brazilian concrete prism test) as an attempt to create a reliable test that can analyze and classify in only thirty days the potential reactivity of aggregates in the laboratory. For this research, six aggregates (granite from Embu das Artes, quartz cobstone from Tres Lagoas, two basalts from Americana and Birigui, milonite from Recife and Spratt limestone, from Canada) were used. The methods CPT and ABCPT were carried out with all the aggregates and a comparative analysis between both tests was performed. Petrographic analysis was carried out as well. The ABCPT seems to have a great potential to analyze and classify aggregates in the laboratory. Its correlation with CPT results at one year was quite good. However the ABCPT needs further testing with other lithologies to be confirmed as feasible.

Keywords: *Alkali-aggregate reaction, test methods, concrete prism test (CPT), accelerated Brazilian concrete prism test (ABCPT).*

1. PANORAMA DOS MÉTODOS DE ENSAIO NA PREVENÇÃO DA RAA

Sabe-se, atualmente, que a melhor solução técnico/econômica para se combater a reação álcali-agregado (RAA) é a prevenção e, sendo assim, torna-se necessário o desenvolvimento e o aprimoramento de métodos de ensaio de laboratório que consigam detectar a potencial reatividade de agregados de maneira prévia a sua utilização.

Diversos métodos de ensaio foram pesquisados e desenvolvidos através dos anos para testar a potencial reatividade de

agregados e da combinação cimento/agregados em laboratório. No entanto, muitos dos principais métodos utilizados pelo meio técnico/científico têm se mostrado não totalmente confiáveis, apresentando alguns resultados contraditórios entre o laboratório e o campo (SWAMY, 1992).

Dentre os métodos normatizados e atualmente utilizados, podem ser citados a análise petrográfica, o método acelerado de barras de argamassa (AMBT) e o método de prismas de concreto (CPT).

A análise petrográfica fornece importantes informações através de análise visual, microscopia estereoscópica e microscopia ótica. Esta análise pode ser realizada em agregados e concretos e, apesar de ser uma análise bastante necessária em ambos os casos, apenas a sua utilização para a caracterização da potencialidade reativa de um agregado não é suficiente, já que existem diversos fatores que podem influenciar na reação (OBERHOLSTER, 1985).

O método AMBT analisa a potencialidade deletéria de agregados e de combinações cimento/agregado através da análise das porcentagens de expansão de barras de argamassa. Embora altamente rápido e de fácil execução, este método de ensaio vem apresentando resultados denominados falso-negativos (agregados classificados como inócuos pelo ensaio e que demonstram comportamento reativo em campo) e falso-positivos (agregados classificados como reativos pelo ensaio e que demonstram comportamento inócuo em campo). Esses resultados vêm gerando inconfiabilidade na utilização deste método de ensaio.

O método de prismas de concreto (CPT) é o método mais confiável e que representa, de maneira mais fiel, as condições que o agregado irá encontrar em campo. Até agora não foram encontradas distorções de comportamento laboratório/campo para um mesmo agregado. No entanto, seu tempo de duração (1 ano) inviabiliza quase que totalmente sua utilização pelo mercado.

Este panorama de não consenso na utilização de um método de ensaio rápido e eficiente faz com que diversos pesquisadores se concentrem no estudo e desenvolvimento de métodos de ensaio na prevenção da RAA.

2. DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS ACELERADOS DE PRISMAS DE CONCRETO

Muitos pesquisadores tentaram desenvolver ensaios acelerados em concreto, através do aumento de temperatura do ensaio de prismas de concreto convencional (CPT). No entanto, a lixiviação ocorrida nestes ensaios, devido ao ambiente de armazenamento proposto pela norma ASTM C 1293, distorcia a resposta dos mesmos.

Por acreditar que ensaios realizados em concreto representam de maneira mais fiel as condições que um agregado normalmente encontra em campo e, tentando combater o fenômeno da lixiviação, alguns pesquisadores decidiram testar imersões de prismas de concreto (semelhantes aos utilizados no método CPT) em soluções de NaOH, NaCl ou, ainda, em água a 80°C (BERUBÉ, FRENETTE, 2003).

SHAYAN et al. desenvolveram um ensaio acelerado a 80°C onde os corpos-de-prova são confeccionados de maneira similar ao CPT, (tendo um equivalente alcalino superior - 1,35% de Na_2O_e), sendo desmoldados após 24 horas e curados em câmara úmida durante três dias. Após este período, os prismas são imersos em uma solução de NaOH-1N. Os autores adotaram o período de 14 dias para análise das expansões dos prismas e o limite de 0,062% foi escolhido para a classificação da potencial reatividade dos agregados. Segundo os idealizadores do ensaio, a correlação de seus resultados com o método CPT e com o desempenho em campo de concretos confeccionados com um mesmo agregado não foi satisfatória (LEE, LIU & WANG 2004).

BERUBÉ & FRENETTE (2003) estudaram prismas de concreto similares ao CPT imersos, a 80°C, em soluções de NaCl e NaOH (com diversas concentrações); imersos em água; e expostos à umidade relativa (100%). Após análise dos resultados, os autores concluíram que:

- Em 1 mês, prismas de concreto imersos em NaOH já podem ser avaliados e, sendo assim, os agregados já podem ser classificados mediante a sua potencial reatividade;

- A diluição dos íons alcalinos dos prismas de concreto imersos em água faz com que suas expansões sejam menores do que às dos prismas imersos em solução (tanto de NaOH quanto de NaCl) e dos prismas submetidos à 100% de umidade relativa em qualquer idade analisada. Portanto, a imersão em água não é uma forma eficiente de acelerar o ensaio;

- Prismas de concreto imersos em NaCl podem gerar formação de cloroaluminatos (mecanismo expansivo), que, por sua vez, podem superestimar suas expansões, distorcendo a resposta do ensaio.

LEE, LIU & WANG (2004) desenvolveram um método acelerado de prismas de concreto imersos em solução a 80°C (ACPST). Neste ensaio, os corpos-de-prova são dosados de acordo com o método CPT (ASTM C 1293), no entanto, o ambiente de armazenamento e o procedimento operacional são realizados de acordo com o método AMBT (ASTM C 1260).

No desenvolvimento deste ensaio, foram testados 22 agregados que se encontram na China e seus resultados foram comparados com o método CPT. Os pesquisadores concluíram que a correlação entre os métodos CPT e ACPST aos 3 meses é excelente (0,90), muito embora a correlação a 1 mês já seja satisfatória (0,89).

Embora o ensaio tenha sido bastante inovador, segundo os próprios autores, este vem se mostrando um pouco severo quando comparado com o CPT, assim como com o desempenho em campo de concretos confeccionados com um mesmo agregado.

3. MÉTODO ACELERADO BRASILEIRO DE PRISMAS DE CONCRETO (ABCPT)

O método ABCPT, proposto pelos autores deste trabalho, foi desenvolvido devido à necessidade da análise e classificação da potencial reatividade de agregados em laboratório de maneira rápida e eficiente.

Baseando-se nos trabalhos previamente descritos, pôde-se perceber que a imersão de prismas de concreto em soluções extremamente alcalinas em altas temperaturas pode, em determinados casos, gerar re-

sultados não condizentes com a realidade. Por outro lado, imergir corpos-de-prova em água pode acarretar a diluição dos íons alcalinos presentes nos corpos-de-prova de concreto, fazendo com que os mesmos não tenham um comportamento condizente com o seu desempenho em campo.

Tentando minimizar o problema da “agressividade ambiente” e da diluição dos íons alcalinos, o método ABCPT tem como conceito básico a não ocorrência, ou a menor ocorrência possível de difusão entre o meio interno e externo dos corpos-de-prova, e, sendo assim, o ensaio é acelerado basicamente pela temperatura (80°C).

Para que a difusão seja mínima, a concentração alcalina equivalente $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ei}}$ (interna) tem que ser igual ou muito próxima à concentração alcalina $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ee}}$ (externa).

Como os prismas possuem em seu interior 1,25% de $\text{Na}_2\text{O}_{\text{e}}$, a solução deve ter também um total de 1,25% de equivalente alcalino (para que não ocorra difusão).

Portanto em:

100 ml de água → 1,25% de Equivalente Alcalino

(1)

Logo, em um litro, há 12,5 gramas de NaOH.

Sendo a valência da hidroxila igual a 1 (OH^{-1}), o hidróxido de sódio tem a “molaridade” igual a “normalidade”.

40g em 1 litro → 1M = 1N

12,5 g em 1 litro → x

x = 0,3125 N.

(2)

Os corpos-de-prova são moldados de acordo com o método CPT (ASTM C 1293) e permanecem em câmara úmida durante as primeiras 24 horas. Após a desmoldagem, é feita a leitura de referência e eles são imersos em água por mais 24 horas a 80° C. Após este período, os prismas são imersos em solução alcalina de 0,3125 N a 80°C durante 1 mês. Leituras semanais (preferencialmente no mesmo horário) são feitas e as respostas são dadas como porcentagens de expansão.

Como a proposta do ABCPT é acelerar o ensaio apenas pela elevação da temperatura, não alterando o comportamento expansivo dos

agregados (quando comparado com o método CPT), o limite de expansão escolhido pelos autores para caracterizar efeitos deletérios provenientes da RAA foi de 0,04% a 1 mês.

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1 AMOSTRAS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizados os seis seguintes agregados:

GRANITO | EMBU DAS ARTES

O granito de Embu das Artes foi utilizado como agregado padrão, pois através de análise prévia pelo método AMBT (preco-nizado pela ASTM C 1260), foi classificado como inócuo.

BASALTOS | AMERICANA E BIRIGUI

Os basaltos de Americana e Birigui foram escolhidos devido ao fato de, geralmente, acusarem reatividade nos ensaios com barras de argamassa.

SEIXO DE QUARTZO | TRÊS LAGOAS

O seixo de quartzo é tido como um agregado altamente reativo, segundo resultados do laboratório da CESP de Ilha Solteira, tendo sido utilizado em testes prévios à construção da UHE Jupia.

MILONITO | RECIFE

O milonito foi escolhido devido ao danoso desempenho em campo demonstrado em obras (particularmente em blocos de concreto) na cidade do Recife.

CALCÁRIO | SPRATT, CANADÁ

O calcário de Spratt foi escolhido devido ao danoso desempenho em campo demonstrado em obras de infra-estrutura (pontes, túneis, muro, barreiras de concreto, etc) na cidade de Quebec - Canadá, além de ser o agregado padrão, ou seja, de desempenho conhecido, utilizado na calibração de ensaios de laboratório daquele país.

4.2 ENSAIOS REALIZADOS

Foram realizados os ensaios CPT, ABCPT e análise petrográfica com os seis agregados citados anteriormente.

Tabela I – Tabela resumo da análise petrográfica para os agregados pesquisados (NBR 15577-3)

Agregado	Reatividade potencial	Minerais reativos
Granito – Embu das Artes	Potencialmente reativo	Quartzo microcristalino
Basalto – Americana	Potencialmente reativo	Vidro vulcânico
Basalto – Birigui	Potencialmente reativo	Vidro vulcânico
Seixo de quartzo – Três Lagoas	Potencialmente reativo	Quartzo microcristalino
Milonito – Recife	Potencialmente reativo	Quartzo criptocristalino
Calcário – Spratt	Potencialmente reativo	Quartzo micro/criptocristalino

ANÁLISE PETROGRÁFICA

A análise petrográfica foi realizada de acordo com a norma NBR 15577-3.

MÉTODO CPT

O método CPT foi realizado de acordo com a norma NBR 15577-6. A resposta do ensaio em uma idade considerada é dada pela expansão média de três corpos-de-prova de concreto.

MÉTODO ABCPT

Foram confeccionados dois corpos-de-prova de 7,5 x 7,5 x 28,5 cm com os seis agrega-

dos de acordo com a dosagem do método CPT (ASTM C 1293). Após a confecção, os prismas foram armazenados por 24 horas em câmara úmida, sendo então deformados e imersos em solução de NaOH - 0,3125 N a 80°C. Os prismas permaneceram imersos em solução durante 28 dias. Leituras semanais foram realizadas.

5. RESULTADOS

5.1 ANÁLISE PETROGRÁFICA

A Tabela 1 mostra os resultados da análise petrográfica de acordo com a NBR 15577-3.

Figura I – Curvas de expansão dos agregados estudados pelo método CPT

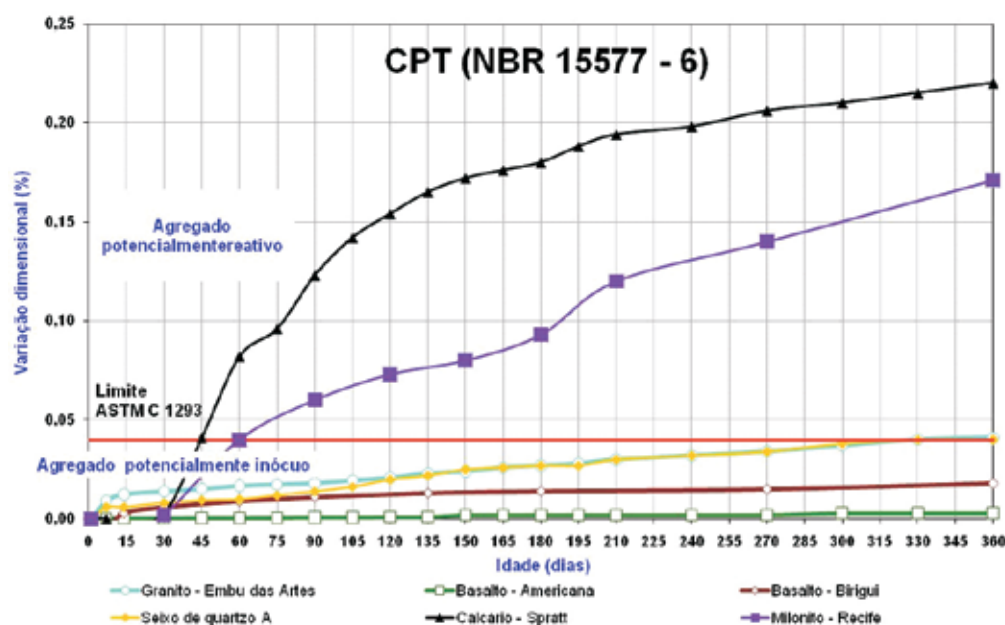


Tabela 2 – Resumo da classificação dos agregados através do ensaio CPT preconizado pela NBR 15577-6

Agregado	Expansão a 1 ano (%)	Reatividade potencial
Granito – Embu das Artes	0,04	Potencialmente reativo
Basalto – Americana	0,01	Potencialmente inócuo
Basalto – Birigui	0,00	Potencialmente inócuo
Seixo de quartzo – Três Lagoas	0,04	Potencialmente reativo
Milonito – Recife	0,17	Potencialmente reativo
Spratt – Quebec City	0,22	Potencialmente reativo

MÉTODO CPT

A Figura 1 apresenta a expansão média ao longo do tempo dos prismas confeccionados com os agregados em estudo através do método CPT.

Uma tabela resumo pode ser feita contendo a reatividade dos agregados em relação ao período de análise (1 ano).

MÉTODO ABCPT

A Figura 2 apresenta a expansão média ao longo do tempo dos prismas confeccionados com os agregados em estudo através do método ABCPT.

É possível visualizar que, aos 21 dias,

já seria possível a análise e classificação dos agregados estudados mediante este método. No entanto, levar o ensaio até os 28 dias (do ponto de vista de segurança) torna-se mais confiável.

6. ANÁLISE COMPARATIVA

Para a realização da análise comparativa entre métodos, foi elaborado um gráfico de quatro quadrantes (onde o eixo das abscissas representa um primeiro método e o eixo das ordenadas representa um segundo método). Implementando os respectivos limites dos métodos

Figura 2 – Expansões através do tempo do método ABCPT

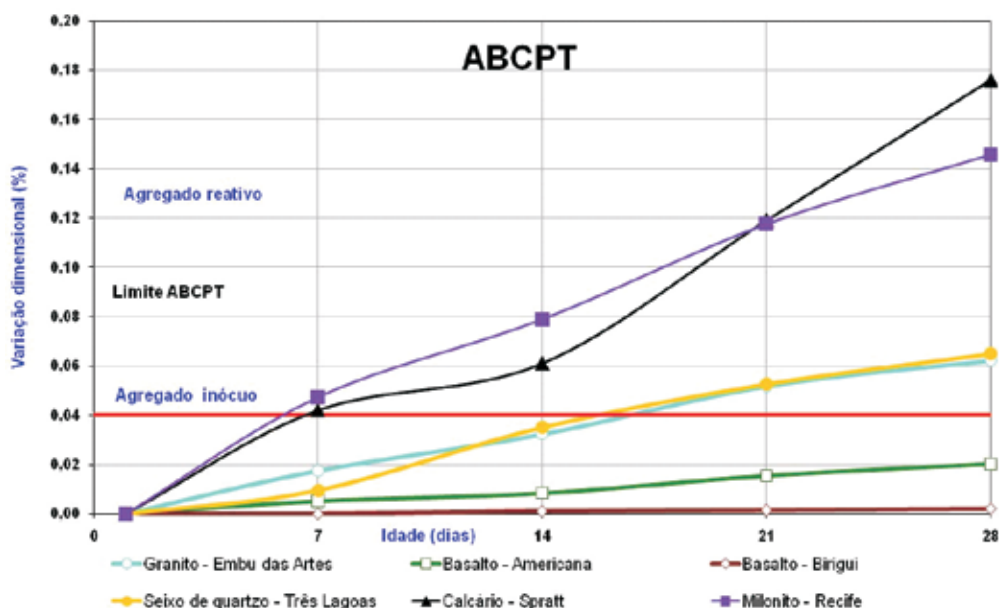


Tabela 3 – Reatividade dos agregados segundo a ABCPT

Agregados	Expansão a 1 mês (%)	Reatividade potencial
Granito – Embu	0,06	Reativo
Basalto – Americana	0,02	Inócuo
Basalto – Birigui	0,02	Inócuo
Seixo – Ilha Solteira	0,06	Reativo
Milonito – Recife	0,150	Reativo
Spratt – Quebec City	0,179	Reativo

(“um” e “dois”) de maneira perpendicular aos seus eixos, divide-se o gráfico em quatro quadrantes. O primeiro e terceiro quadrantes são regiões de discórdia de classificação de agregados mediante dois métodos, ou seja, caso um agregado se encontre nestas regiões significa que os dois ensaios que o testaram não o classificam da mesma maneira. Caso o agregado permaneça no segundo ou no quarto quadrante, existe boa correlação entre dois métodos analisados, ou seja, o agregado foi classificado equivalentemente mediante os dois ensaios. A Figura 3 apresenta uma análise com-

parativa entre os métodos CPT e ABCPT (28 dias).

Pode-se perceber que todos os agregados seriam classificados da mesma maneira, se a classificação fosse feita através do CPT e ABCPT, respectivamente a 1 ano e 1 mês (28 dias), mostrando este último bastante potencial. O coeficiente de correlação (R^2) entre ensaios pode ser considerado bastante razoável (0,89 ou 89%), principalmente em se tratando de ensaios acelerados.

Como o método de ensaio é extremamente recente, sugere-se que este seja testado com mais agregados para sua futura confirmação. A Tabela 4 mostra a classificação geral

Figura 3 – Análise comparativa entre os ensaios CPT (1 ano) e ABCPT (28 dias)

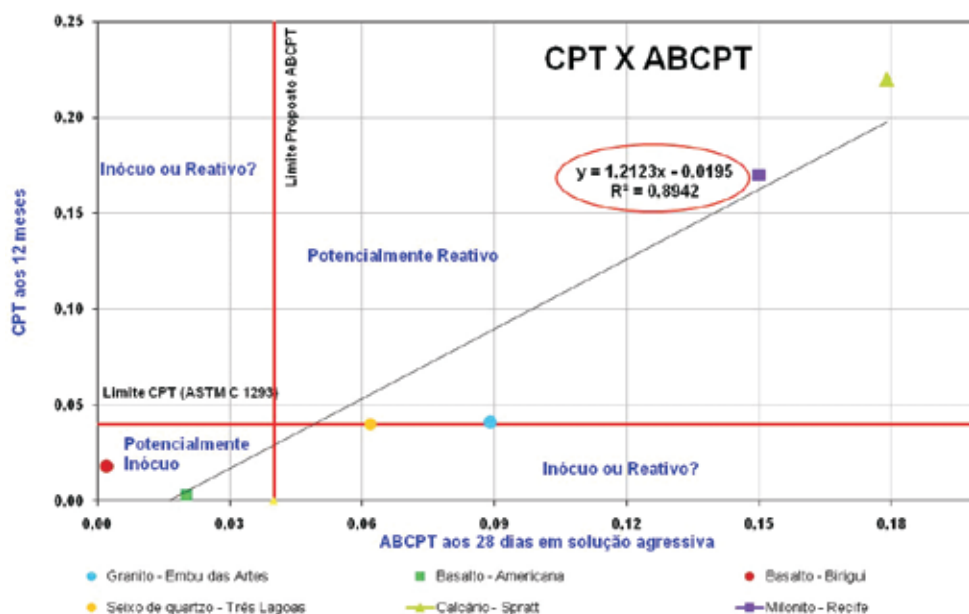


Tabela 4 – Classificação geral dos agregados

Ensaio	Granito Embu das Artes	Basalto Americana	Basalto Birigui	Seixo Ilha Solteira	Milonito Recife	Calcário Spratt
Análise petrográfica NBR 15577-3	Potencialmente reativo	Potencialmente reativo	Potencialmente reativo	Potencialmente reativo	Potencialmente reativo	Potencialmente reativo
CPT NBR 15577-6	Potencialmente Reativo	Potencialmente Inócuo	Potencialmente Inócuo	Potencialmente Reativo	Potencialmente Reativo	Potencialmente Reativo
ABCPT 28 dias	Reativo	Inócuo	Inócuo	Reativo	Reativo	Reativo
Campo	?	?	?	Reativo	Reativo	Reativo

dos agregados mediante todos os ensaios, assim como o seu comportamento em campo.

7. CONCLUSÕES

Após as análises, pode-se concluir que:

- A análise petrográfica não é conclusiva (quantitativa), sendo apenas indicativa (qualitativa). Esta deve ser sempre complementada com outro método de ensaio;
- O método ABCPT mostrou ter bastante potencial para a análise da reatividade

potencial de agregados em laboratório e classificou todos os agregados testados de maneira equivalente ao CPT (método mais confiável existente);

- O coeficiente de correlação entre os métodos ABCPT e CPT (respectivamente a 1 ano e 28 dias) foi de 89% (0,89), o que pode ser considerado muito bom em se tratando de um ensaio acelerado;
- Para a real comprovação da eficiência do método ABCPT, torna-se necessária a realização de uma maior quantidade de ensaios.

Referências Bibliográficas

- [1] SHAYAN, A; XU, A. Effects of cement composition and temperature of curing on AAR and DEF expansion in steam-cured concrete. 12^a ICAAR - International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, p.773-788. Beijing, 2004.
- [2] OBERHOLSTER, R.E.; DAVIES, G. An Accelerated Method for testing The Potential Alkali Reactivity of Siliceous Aggregates. Cement and Concrete Research, vol. 16, pp. 181-189, 1986.
- [3] BERUBÉ, M.A.; FRENETTE, J. Testing Concrete for AAR in NaOH and NaCl solutions at 38°C and 80°C. Cement and Concrete Composites, vol.16, pp. 189-198, 2003.
- [4] SWAMY, R.N; HAMADA, H; TANIKAWA, S; LAIW, J.C. Influence of Protective Surface Coating on the Structural Behavior of ASR-Affected RC Beams under Sustained Loading. 12^a ICARR - International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, p.1235-1243. Beijing, 2004.
- [5] LEE, C.; LIU, C.C.; WANG, C.W. An Accelerated Concrete Prism Soaking Test for Evaluating the Alkali-Reactivity of Aggregates. 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. Beijing, China, 2004.
- [6] SANCHEZ, L.F.M., KUPERMAN, S.C., HELENE, P.R.L. ABCPT (Método acelerado Brasileiro de prismas de concreto). Congresso Brasileiro do Concreto (IBRACON), Salvador, Brasil, Setembro, 2008.
- [7] SANCHEZ, L.F.M., KUPERMAN, S.C., HELENE, P.R.L., KIHARA, Y. Trials to correlate the accelerated mortar bar test, the standard and the accelerated concrete prism tests. 13th Congresso Internacional de Reação Álcali-Agregado em Concreto (ICAAR), Noruega, Junho, 2008. ■