



# Arena Pernambuco:

## Comparação do Desempenho de Betão Autocompactável e Betão Convencional em Climas Quentes

- *Carlos Calado, Professor Adjunto da UPE, Pernambuco, Brasil; Doutorando do Programa Doutoral em Engenharia Civil da Universidade do Minho, Portugal, carlos.calado@upe.br*
- Tibério Andrade, Professor, Mestre, Departamento de Engenharia Civil da UFPE, Pernambuco, Brasil, tiberio@tecomat.com.br*
- Dayana Santos, Engenheira Civil, Mestre, Construtora Norberto Odebrecht, dayana@odebrecht.com*
- João de Carvalho, Mestrando do Departamento de Engenharia Civil da UPE, Pernambuco, Brasil, eng.jrubeiro@gmail.com*
- Aires Camões, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, aires@civil.uminho.pt*

### Resumo

O emprego do betão autocompactável (BAC) como alternativa ao uso do betão convencional (BC) dependerá, em grande parte, de dois fatores: qualidade e custo compatível. A qualidade abrange aspetos relacionados com a trabalhabilidade, resistência mecânica e durabilidade, e a sua aplicação deve ser devidamente comprovada por intermédio de uma avaliação comparativa de custos que demonstre a viabilidade do seu emprego em larga escala, nomeadamente em grandes empreendimentos. O presente trabalho, tem por objetivo apresentar alguns resultados comparativos de durabilidade e resistência mecânica realizados em amostras de BC e BAC, utilizados na obra da Arena Pernambuco, com o intuito de estudar e identificar possíveis diferenças no comportamento desses betões, a partir dos resultados obtidos. Elegeram-se duas das composições mais aplicadas na obra, que uti-

lizaram a mesma relação água/cimento, uma para BAC e outra para BC, tendo sido caracterizadas por intermédio da realização dos seguintes ensaios: resistência à compressão, módulo de elasticidade, absorção de água por capilaridade, difusão de iões cloreto e absorção de água por imersão. Durante os meses de maio a julho de 2012 foram realizadas as moldagens dos provetes e a extração de carotes, provenientes de blocos construídos especificamente para o estudo. Os resultados obtidos não permitiram diferenciar o BAC do BC relativamente ao seu desempenho de durabilidade. O BAC apresentou resultados de resistência à compressão um pouco superiores aos do BC equivalente, em média 10.6% aos 7 dias e 4.2% aos 28 dias de idade.

*Palavras-Chave: Betão autocompactável, durabilidade, betão convencional, resistência à compressão.*

## 1. Introdução

O presente artigo tem como objetivo avaliar as vantagens e limitações do emprego da tecnologia do betão autocompactável (BAC) comparativamente ao betão convencional (BC), na situação real de uma aplicação em obra em clima quente, nas condições típicas da região nordeste do Brasil. Assim, foi possível adquirir e validar conhecimentos através da experiência resultante da construção da Arena Pernambuco, onde foi utilizado um volume aproximado de 58.000 m<sup>3</sup> de betão, sendo 40% de BAC e 60% de BC, caracterizando-se como um estudo de caso que possibilita uma avaliação real através de pesquisa aplicada em obra.

Neste contexto, comparou-se o desempenho do BAC e do BC em amostras obtidas e armazenadas em condições ideais de laboratório, com carotes extraídas do betão aplicado na obra e submetido às mesmas condições de exposição ambiental real da Arena Pernambuco, submetendo-as aos ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade, difusão de íons cloreto, absorção de água por capilaridade e absorção de água por imersão. Dessa forma, a pesquisa apresenta resultados que pretendem servir como exemplo prático para o meio académico e como prática positiva, técnica e económica, para as empresas de construção.

## 2. Arena Pernambuco

Para avaliação da aplicação real do BAC foi selecionada a obra da Arena Pernambuco (PE), construída para receber jogos da Copa das Confederações 2013 e da Copa do Mundo 2014, da FIFA. Com perfil multiuso – adaptável para diversos eventos – a Arena também foi projetada para sediar grandes espetáculos, convenções e outras competições desportivas.

A Arena PE está localizada no município de São Lourenço da Mata - PE, na Região Metropolitana do Recife, tendo sido projetada para uma capacidade máxima de 46.105 pessoas, abrangendo uma área construída de, aproximadamente, 128.000 m<sup>2</sup>.

A estrutura da Arena é constituída por elementos de betão armado em todos os níveis, inclusive nas áreas de arquibancada. O volume de betão definido em projeto foi de aproximadamente 58.000 m<sup>3</sup>, distribuído por 6 níveis. As fundações foram constituídas

recorrendo a sapatas apoiadas diretamente sobre o solo e estacas tipo raiz, moldadas *in situ*.

Para o estudo apresentado, foi considerada a produção de betão realizada nos meses de maio, junho e julho de 2012, meses de grande concentração de betonagens. Nesse período, foi betonada uma quantidade de, aproximadamente, 26% do total previsto no projeto. Este período foi caracterizado por uma intensidade de chuvas muito abaixo do esperado para a época em estudo, e a temperatura ambiente variou entre 27°C e 30°C.

### 2.1. Descrição breve

A Figura 1 apresenta a Arena Pernambuco em fase de conclusão, onde podem ser observadas as rampas de acesso e os dois níveis de arquibancadas, inferior e superior, todas executadas em BAC.



Figura 1 – Vista aérea da obra (Arena Pernambuco – 2013)

Para auxiliar a identificação e localização das estruturas, o projeto foi dividido em 6 níveis, 58 eixos e 6 linhas, distribuídos em 10 setores.

Na Figura 2 é possível observar o desenvolvimento da obra no setor Sul, onde se destacam alguns dos níveis principais de projeto. Pode-se visualizar a diferença de nível entre as lajes e a altura de betonagem dos pilares dos principais eixos da estrutura.



Figura 2 – Visualização da obra no setor Sul. (Arena Pernambuco - 2012)

A fachada leste pode ser verificada na Figura 3 (a), onde são identificados os pilares de sustentação da arquibancada superior, bem como da rampa de acesso localizada no setor sudeste. A Figura 3 (b) identifica parte da arquibancada inferior e, também, dos apoios para montagem da superior, localizadas nos setores norte e noroeste. Todos os pilares, as paredes das rampas de acesso e as estruturas pré-moldadas da arquibancada foram executadas com BAC. O recurso ao BAC foi motivado pela elevada densidade de armaduras dos elementos estruturais e pela necessidade de redução do tempo de colocação e compactação do betão. O BAC permitiu, também, entre outros fatores para além da diminuição do tempo de execução das estruturas, a colocação em obra de grandes volumes de betonagem em menos etapas.



Figura 3 – (a) Fachada leste. (b) Vista interna norte e noroeste. (Arena Pernambuco – 2012)

## 2.2. Trabalhos realizados durante maio, junho e julho de 2012

Durante os meses de maio até julho de 2012 a construção da Arena Pernambuco encontrava-se na fase de execução da superestrutura, com o início de montagem das estruturas pré-moldadas das arquibancadas inferior e superior. A utilização de BAC neste período foi intensificada e, para além de pilares e paredes, todas as estruturas pré-moldadas da arquibancada (vigas jacaré e degraus) foram realizadas com BAC.

Durante o período referido, foram colocados em obra, nas estruturas, aproximadamente 15.000 m<sup>3</sup> de betão; destes, cerca de 40% (6.000 m<sup>3</sup>) foram BAC, o que corresponde a um volume médio mensal de 2.000 m<sup>3</sup>. O volume considerado nesta pesquisa representa cerca de 26% do total dos 58.000 m<sup>3</sup> de betão estrutural previsto para a construção da totalidade da Arena.

Na Figura 4 (a), apresenta-se uma vista aérea parcial da Arena, com destaque para o avanço da superestrutura no mês de junho de 2012. Nessa fase, todos os pilares, paredes de reservatórios, paredes das rampas de acesso e paredes de contenção foram executados com BAC. As vigas e lajes foram betonadas com BC de acordo com o planeamento da obra.

A Figura 4 (b) destaca a conclusão da montagem da arquibancada inferior do setor sul e parte do setor sudeste, realizada com BAC. Esta figura permite destacar, também, a altura dos pilares betonados com BAC em apenas uma etapa, entre os níveis de laje adjacentes, assim como a betonagem da arquibancada superior.



Figura 4 – (a) Vista aérea parcial da Arena. (b) Vista interna da arquibancada inferior sul e sudeste. (Arena Pernambuco – 2012)

### 2.3. O BAC e o BC aplicados na obra

O betão aplicado na obra foi especificado em projeto para atender à Classe III de agressividade ambiental da norma ABNT NBR 6118 (2007) – *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*, bem como seus Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS), levando em consideração as diretrizes para durabilidade das estruturas de betão.

A norma ABNT NBR 6118 (2007) na sua *Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental* apresenta a Classe III como a indicada para ambientes marinhos ou industriais, conseqüentemente de agressividade forte, com grande risco de deterioração da estrutura. Para atendimento às exigências normativas relacionadas com a Classe III de agressividade ambiental foi especificado pelo projeto estrutural um betão com resistência característica à compressão aos 28 dias (medida em cilindros com 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura) igual a 40 MPa e relação água/cimento em massa igual a 0.45.

A opção associada à utilização de BAC juntamente com BC partiu dos construtores da obra e não foi devida a exigências dos projetos estrutural ou arquitetônico. A aplicação de BAC foi necessária para atender às necessidades de colocação e compactação do betão nas estruturas, considerando, entre outros fatores, a grande densidade de armaduras em algumas zonas, nomeadamente em pilares. Outro fator preponderante foi a possibilidade de efetuar alturas de betonagens elevadas, atingindo entre 4 m e 6 m. Assim, optando pelo BAC, foi possível betonar pilares em apenas uma única etapa, preenchendo de uma vez a totalidade da distância entre pavimentos.

A utilização do BAC também possibilitou a redução dos prazos de execução das estruturas, antecipando etapas de entrega para início das atividades de acabamento, de instalações e permitiu antecipar a montagem da cobertura do estádio.

## 3. Materiais e metodologia

### 3.1. Materiais

Para viabilizar o uso de BAC nas estruturas, várias composições foram estudadas, variando-se os adjuvantes empregues e o tipo de cimento.

Considerando as várias composições de BAC e BC definidas, optou-se, para este estudo, por aplicar as composições que foram fabricadas utilizando o mesmo cimento, agregados e adjuvantes, sendo elas denominadas de CAA-009 para o BAC e CC-012 para o BC.

A grande diferença entre as dosagens de cada tipo de betão consistiu num maior teor de finos e de arga-

massa no BAC, em relação ao do BC, e a uma maior quantidade de adjuvante superplastificante, utilizando-se praticamente a mesma quantidade de água. As composições de BAC e BC aplicadas na obra no período em análise estão mais detalhadas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Composições e características da dosagem do BAC e do BC**

Características / dosagem	CAA-009	CC-012
Resistência estimada $f_{ck}$ (MPa)	40	40
Espalhamento ou abaixamento (mm)	700 a 750	140+/-20
Tipo de cimento	CP-II F 32	CP-II F 32
Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )	499	451
Consumo de areia (kg/m <sup>3</sup> )	856	815
Consumo de brita (Dmáx)19 mm (kg/m <sup>3</sup> )	830	917
Consumo de água (l/m <sup>3</sup> )	199	180
Relação (A/C)	0,40	0,40
Consumo (l/m <sup>3</sup> ) de adjuvante plastificante	2,99	2,71
Consumo (l/m <sup>3</sup> ) de adjuvante superplastificante	4,49	1,80
Aplicações	Paredes e Pilares	Vigas

Os materiais constituintes para o fabrico dos betões foram:

- cimento CP II-F-32, que é um cimento portland composto com filer calcário;
- adjuvante líquido de presa normal, plastificante com alto poder de redução de água. Composto por sais sulfonados e carboidratos em meio aquoso. Densidade igual a 1,19 kg/ litro e pH de 5,5;
- adjuvante líquido superplastificante de presa normal de terceira geração. Composto por solução de poliacrilatos em meio aquoso. Densidade igual a 1,06 kg/ litro e pH de 5,0;
- os agregados finos e grossos utilizados foram os disponíveis no mercado. O agregado grosso é britado, a partir de rocha granítica, fornecido por pedreira da Região Metropolitana de Recife. O agregado fino utilizado é de origem quartzosa, extraída de jazida no leito do Rio Paraíba, na divisa do estado de Pernambuco com a Paraíba;
- a água utilizada foi fornecida da estação de tratamento de água instalada no estaleiro. Foram coletadas amostras mensais para análise e acompanhamento da obtenção das características necessárias para uso em betão.

### 3.2. Metodologia

Conforme referido anteriormente, o período de recolha dos dados e amostras *in situ* foi de aproximadamente 90 dias, durante os meses de maio a julho de 2012. Nesse período foram realizados ensaios de campo (primeira etapa) e de laboratório (segunda etapa).

No estaleiro da obra foram realizados os seguintes ensaios durante os três meses:

- espalhamento para o BAC, de acordo com a NBR 15823-2 (2010);
- abaixamento para o BC, de acordo com a NBR 10342 (2012);
- resistência à compressão uniaxial, nas idades de 7 e 28 dias, para o BC e para o BAC, de acordo com a NBR 5739 (2007);
- registo da temperatura do betão na saída da central e aquando da sua colocação na estrutura.

Os resultados do controlo tecnológico do betão foram cedidos para análise pela empresa que executou a obra. A Tabela 3 mostra alguns dos resultados obtidos para cada composição e a quantidade de amostras ensaiadas.

Para aprofundamento dos estudos de durabilidade do BAC e do BC utilizados na obra, realizaram-se os seguintes ensaios em laboratório:

- absorção de água por capilaridade segundo a NBR 9779 (2012);
- absorção de água por imersão de acordo com a NBR 9778 (2005), que permitiu determinar o índice de vazios e a massa específica;
- difusão de iões cloreto, conforme a ASTM C1202 (2012);
- resistência à compressão de acordo com a NBR 5739 (2007);
- módulo de elasticidade em compressão segundo a NBR 8522 (2008), para a idade de 33 dias.

Nesta segunda etapa, além de estudar o comportamento dos BC e BAC em relação aos ensaios de durabilidade, procurou-se avaliar a influência que as amostras sofreriam quando armazenadas em condições distintas. Nesse caso, as amostras sub-

metidas aos ensaios descritos anteriormente tiveram duas origens diferentes:

- Família PR – Correspondente a 15 provetes de BC e 15 provetes de BAC moldados e curados (ver Figuras 5 a 8) conforme a NBR 5738 (2003);
- Família CR – Correspondente a 15 carotes extraídas de peças pré-moldadas de BC e 15 carotes extraídas de blocos executados no estaleiro utilizando a dosagem CAA-009 (ver Figuras 9 e 10). Os blocos foram curados por apenas 24 horas, com manta húmida, reproduzindo de certa forma as condições de cura das peças produzidas.



Figura 5 – Fabrico do betão



Figura 6 – Moldagem dos provetes



Figura 7 – Cura dos provetes – PR – em condições de laboratório



Figura 8 – Cura dos provetes – PR – em condições de laboratório



Figura 9 – Cura das carotes em condições atmosféricas do local



Figura 10 – Cura das carotes em condições atmosféricas do local

A extração das carotes foi efetuada cumprindo os parâmetros preconizados pela NBR 7680 (2007). A Tabela 2 apresenta o resumo do número dos provetes e carotes envolvidos nos ensaios de laboratório.

Tabela 2 – Total de amostras usadas para cada ensaio

Família	Composição	Absorção de água por capilaridade	Absorção de água por imersão	Difusão de íons cloreto	Resistência à compressão e módulo de elasticidade
PR	CAA-009	3	3	3	5
PR	CC-012	3	3	3	5
CR	CAA-009	3	3	3	5
CR	CC-012	3	3	3	5

## 4 Resultados

### 4.1. Controlo tecnológico

A Tabela 3 apresenta a quantidade de amostras, as resistências médias à compressão aos 7 e aos 28 dias e os espalhamentos/abaixamentos médios, dos ensaios realizados durante os 3 meses da pesquisa no estaleiro da obra.

Tabela 3 – Resultados para as duas composições mais aplicadas no estudo

Mês	Nº amostras	Temperaturas (Cº)		Espalhamento/abaixamento (mm)	7 dias		28 dias	
		Inicial (Central de betão)	Final (Bombagem)		Resistência (MPa)	Média (±) desvio-padrão	Resistência (MPa)	Média (±) desvio-padrão
<b>Composição: CAA - 009</b>								
maio	27	34,4	33,8	700	44,1±4,57	40,0±5,07	48,5±3,49	49,9±4,69
junho	90	32,8	33,1	702	38,1±5,14		49,5±4,98	
julho	81	32,1	32,8	705	40,7±4,13		51,0±4,53	
<b>Composição: CC - 012</b>								
maio	78	33,9	37,3	159	43,1±3,70	38,7±4,97	49,0±3,34	48,6±4,01
junho	152	32,4	32,7	160	36,5±4,60		47,5±4,14	
julho	235	31,4	31,6	158	38,8±4,60		49,2±4,00	

### 4.2. Resistência à compressão e módulo de elasticidade

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão conforme a norma ABNT NBR 5739 (2007). Também se apresentam os resultados dos ensaios de determinação do módulo de elasticidade em compressão conforme a norma NBR-8522 (2008). Convencionou-se chamar provete – PR – às

amostras armazenadas em condições de laboratório, e carote – CR – às amostras armazenadas em condições de exposição reais de agressividade ambiental, no local. A idade das amostras aquando da realização dos ensaios foi de 33 dias ( $f_{ckj}$  = resistência à compressão e  $E_{ci}$  = módulo de elasticidade).

Tabela 4 – Resultados de resistência à compressão e módulo de elasticidade

Tipo	Composição	$f_{ckj}$ (MPa) Médias	$E_{ci}$ (GPa) Médias
Provelte – PR	BAC	57,4 ± 1,69	38,2 ± 1,31
Carote – CR	BAC	56,7 ± 3,65	39,4 ± 2,32
Provelte – PR	BC	62,6 ± 1,72	41,1 ± 0,87
Carote – CR	BC	63,1 ± 3,22	39,9 ± 1,17

Usando a abordagem de Two-Way Anova e nível de significância de 5%, verifica-se não haver diferença estatisticamente significativa entre o tipo de amostra (provetes/carote), mas sim em relação à composição. As Figuras 11 e 12 ilustram isso mesmo. A barra refere-se ao intervalo de confiança de 95%. Convém referir que todos os coeficientes de variação destes resultados experimentais foram menores do que 10%.

As Figuras 13 e 14 apresentam o gráfico box-plot para as variáveis  $f_{ck}$  e  $E_{ci}$ , em que se pode visualizar melhor a influência da composição e a independência do tipo de amostra (provetes ou carote).

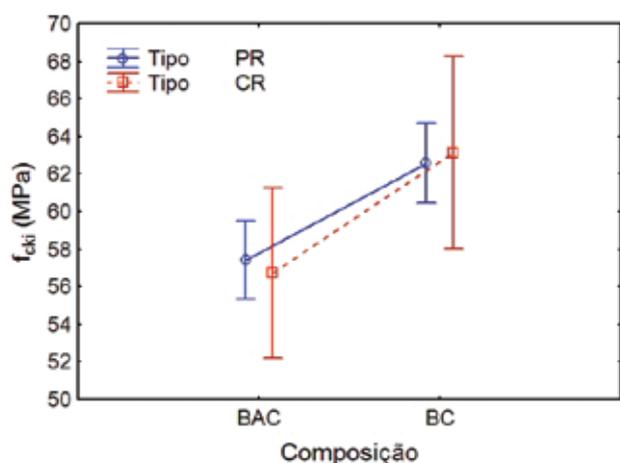


Figura 11 – Resultados de  $f_{ck}$  em função da composição e do tipo de amostra

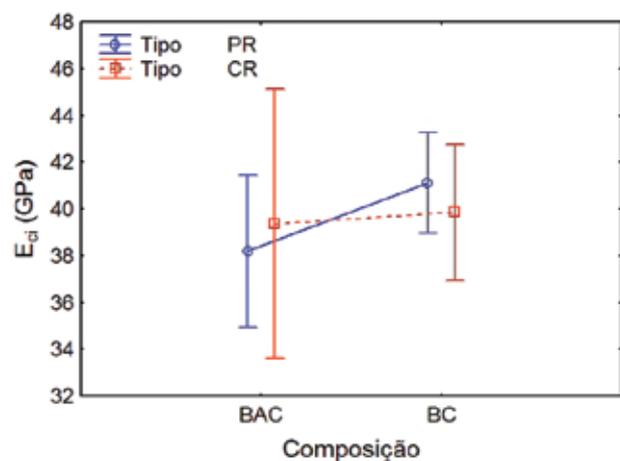


Figura 12 – Resultados de  $E_{ci}$  em função da composição e do tipo de amostra

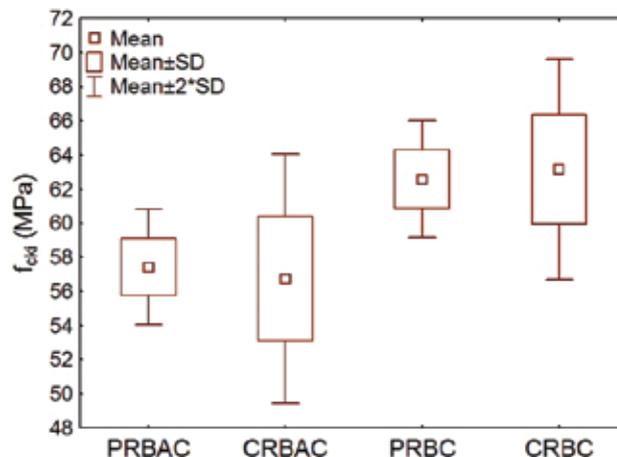


Figura 13 – Resultados de  $E_{ci}$  em função da composição e do tipo de amostra

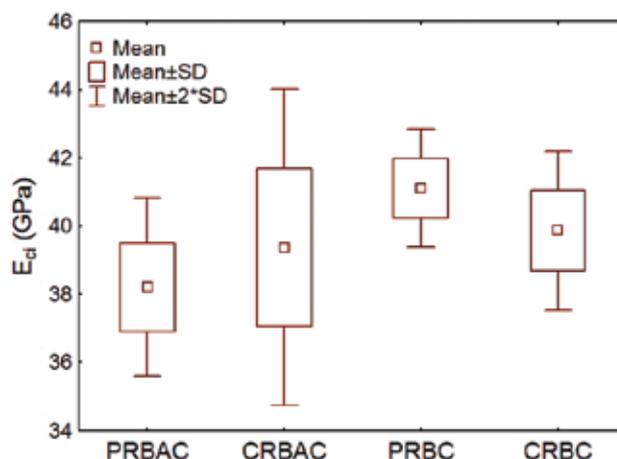


Figura 14 – Resultados de  $E_{ci}$  em função da composição e do tipo de amostra

Conforme pode ser constatado por observação da Tabela 4, a média da resistência à compressão dos provetes em relação à das carotes foi 1.2% superior para o BAC e 3.6% para BC, o que indica uma tendência de possível melhoria de desempenho do betão armazenado em condições de laboratório. No entanto, a pequena diferença serve apenas como indicativo. No que concerne ao módulo de elasticidade para o BAC, as carotes apresentaram média 3.1% superior em relação aos provetes, ao contrário do BC, onde a média do módulo de elasticidade dos provetes foi 3% superior em relação às carotes. Assim, os resultados apresentam-se compatíveis, com diferenças pouco representativas e dentro da margem de variação esperada para o resultado dos ensaios.

### 4.3. Durabilidade – Difusão de íões cloreto

Apresenta-se a seguir, na Tabela 5, os resultados dos ensaios de difusão de íões cloreto para três amostras de BAC e três amostras de BC, obtidas recorrendo a provetes e carotes, com a idade de 60 dias, contendo ainda a identificação de cada uma das amostras ensaiadas e o resultado (C) que representa a carga média passante em Coulomb.

**Tabela 5 - Resultados dos ensaios de difusão de íões cloretos**

Betão	Amostra	Carga média passante em Coulomb (C)	Classificação ASTM C 1202
BAC	Provete	2040	Moderada
	Carote	2585	Moderada
BC	Provete	1665	Moderada
	Carote	2940	Moderada

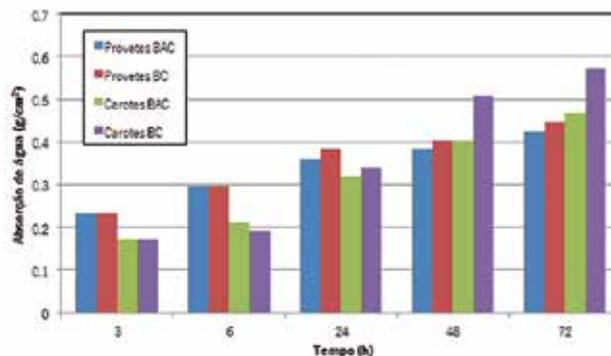
O método de ensaio adotado (ASTM C – 1202 (1994)) classifica a resistência à penetração de cloretos a partir da carga passante em Coulomb (C). Assim, em relação às amostras da obra da Arena da Copa, todos os ensaios efetuados para BAC e BC, em provetes ou carote, indicaram uma classe de resistência moderada. Observa-se que as carotes de BAC apresentaram melhor desempenho que as de BC. No entanto, os provetes de BC apresentaram melhor desempenho que os de BAC. Por outro lado, tanto para as amostras de BAC como para as de BC, o desempenho dos provetes foi superior ao das carotes, indicando que os ensaios em amostras armazenadas em condição de laboratório apresentam melhor desempenho que os ensaios em amostras extraídas em condições de exposição igual à agressividade do ambiente onde a obra foi construída. No entanto, as diferenças obtidas não foram suficientes para alterar a classe de resistência à penetração de cloretos.

### 4.4. Durabilidade – Absorção de água por capilaridade

Apresentam-se a seguir, na Figura 15, os resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade, expressos em g/cm<sup>2</sup>, para três amostras de BAC e três amostras de BC. Os ensaios foram feitos em provetes – PR – e em carotes – CR – com a idade de 35 dias aquando do início dos ensaios. Os resultados foram obtidos dividindo-se o acréscimo de massa em cada intervalo de tempo considerado pela área da secção do provete submetido a ensaio. Na Tabela 6 estão indicados os resultados das medições do aumento de massa e o resultado dos cálculos da absorção de água

por capilaridade para o BAC e para o BC, utilizando-se quer PR, quer CR.

Observando os resultados obtidos, verifica-se um comportamento similar do BAC e do BC. Assim, de acordo com os resultados obtidos, tudo indica que o desempenho do BAC é similar ao do BC.



**Figura 15 – Resultados médios de absorção de água por capilaridade**

Comparando os resultados de absorção de água por capilaridade nos provetes e nas carotes, verifica-se que as amostras armazenadas em condições de laboratório evidenciaram um desempenho ligeiramente superior às armazenadas em condições reais de exposição à agressividade do ambiente onde a obra foi construída, exceto nas primeiras horas de ensaio, em que sucedeu o inverso (até às 24 horas).

#### 4.5. Durabilidade – Índice de vazios

Apresenta-se a seguir os resultados dos ensaios para determinação do índice de vazios para o BAC e para o BC, expressos em percentagem (%), e determinados aos 33 dias de idade do betão aquando do início dos ensaios. Consideram-se três amostras de BAC e três amostras de BC, provenientes de provetes – PR – e carotes – CR.

Inicialmente foram medidas as massas das amostras de BAC e BC e são apresentadas na Figura 16, onde:  $m_i$  = massa inicial medida após secagem em estufa;  $m_s$  = massa saturada;  $m_r$  = massa medida após etapa de ebulição (real).

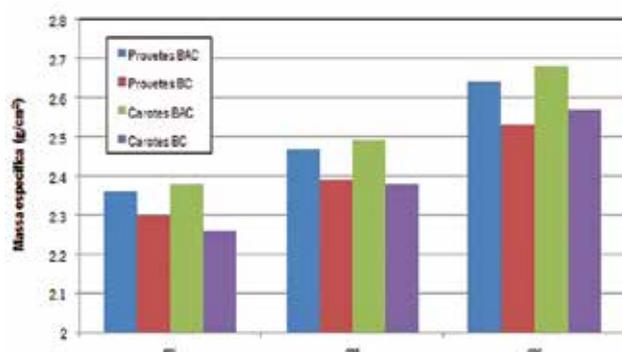


Figura 16 – Resultados médios das medições de massa das amostras

Após os resultados obtidos foi possível calcular a absorção de água por imersão  $A$  (%) e proceder ao cálculo do índice de vazios  $I_v$ , expresso em percentagem (%) na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados dos cálculos do índice de vazios

Variáveis (%)	Amostra	BAC Média	BC Média
Provetes – PR			
A	RD-04	4.48	3.90
$I_v$	RD-04	10.59	8.99
Carotes – CR			
A	RD-04	4.72	5.41
$I_v$	RD-04	11.24	12.22

Por observação dos resultados expressos na Tabela 6 é possível constatar que as carotes de BAC apresentaram um desempenho superior às de BC. No entanto, com os provetes sucedeu precisamente o oposto: o BC apresenta um melhor desempenho que o BAC. Por outro lado, tanto para as amostras de BAC como para as de BC, o desempenho dos provetes foi superior ao desempenho das carotes, indicando que os ensaios em amostras armazenadas em condição de laboratório apresentam melhor desempenho que os ensaios em amostras armazenadas em condições de exposição real à agressividade do ambiente onde a obra foi construída.

#### 5. Conclusões

Pode-se afirmar que, com base nos resultados obtidos no estudo realizado, as propriedades do betão endurecido não foram significativamente alteradas, quando do emprego de BAC ou BC considerados equivalentes, produzidos incorporando pastas com a mesma relação A/C. Este aspeto é particularmente relevante uma vez que as vantagens na opção de um BAC são indiscutíveis sob o ponto de vista do comportamento em fresco, com aumento da produtividade e facilidade de colocação em peças de elevada esbeltez e densidade de armadura.

Quanto aos provetes moldados e curados sob condição normalizada e as carotes extraídas de blocos que sofreram as condições normais de cura num clima quente, os resultados obtidos também se mostraram, em geral, semelhantes, indiciando que em ambos os betões (BAC e BC) não ocorreu perda significativa de desempenho das propriedades no estado endurecido devido à exposição ao clima quente.

O trabalho experimental realizado *in situ*, com a obra em pleno ritmo de desenvolvimento, disponibilizou um conjunto de resultados que permitiu efetuar uma análise comparativa de desempenho entre os dois tipos de betão, conforme demonstrado ao longo deste artigo.

Assim, com base nos resultados obtidos, é possível concluir que o betão autocompactável é uma alternativa viável ao uso do betão convencional vibrado mesmo em regiões de clima quente.

*Este artigo foi escrito segundo o novo acordo ortográfico.*

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1202 – Rapid Chloride Penetrability Test. EUA, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto- Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 573: Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7680: Concreto- Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. Rio de Janeiro, 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índices de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10342: – Concreto – Perda de abatimento – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-2: Concreto auto-adensável – Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento- Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2010.



## LABORATÓRIOS ACREDITADOS

### Laboratório de ensaios: Betão; Agregados e Ligantes

• **Unidade Laboratorial de Lisboa**

Av. Conselheiro Barjona de Freitas 10A, 1500-204 Lisboa  
Tel. 21 774 19 25 / 32 Fax. 21 778 58 39 E-mail: laboratorio@apeb.pt

• **Unidade Laboratorial do Porto**

Zona Industrial da Carriça, Lote 17, 4745-312 Muro  
Tel. 22 986 74 01 / 02 Fax. 22 986 74 08 E-mail: laboratorioporto@apeb.pt

• **Unidade Laboratorial de Vila Real**

Estrada de Sabrosa (EN3139 Lugar de Vila Nova de Cima  
Folhadela –Vila Real Tel. 22 986 74 00 E-mail: laboratorioporto@apeb.pt

### Laboratório de Metrologia: Força; Massa; Dimensional e Temperatura

Av. Conselheiro Barjona de Freitas 10A, 1500-204 Lisboa  
Tel. 217 741 925 / 32 Fax. 21 778 58 39 E-mail: metrologia@apeb.pt



# betão

N. 31  
Novembro 2013



Revista da Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto

**Vida Associativa:** Controlo Metrológico para Medir Melhor... 04

**Técnica:** Betões da Arena Pernambuco 08

**Qualidade:** Marcação CE dos Produtos de Construção 24

**Técnica:** Substâncias Prejudiciais nos Agregados para Betão 26

**Património:** 50 Anos da Ponte da Arrábida 34



Foto da capa: Vista aérea sobre o estádio Arena Pernambuco, Brasil (Autor: Portal da Copa/ME)

04

### Vida Associativa

Controlo Metrológico para “Medir Melhor”...

06

### Vida Associativa

Dia Mundial da Qualidade: ...apenas mais uma data?!...

08

### Técnica

Arena Pernambuco: Comparação do Desempenho de Betão Autocompactável e Betão Convencional em Climas Quentes

*Prof. Carlos Calado, Prof. Tibério Andrade, Eng.ª Dayana Santos, Eng.º João de Carvalho Prof. Aires Camões*

19

### Normalização

NP EN 197-1:2012

O que mudou?

*Eng.º Mário Valente Costa*

24

### Qualidade

Marcação CE de Produtos de Construção

26

### Técnica

Agregados para Betão – Substâncias Prejudiciais

*Eng.º João André*

34

### Património

50 Anos da Ponte da Arrábida no Porto

38

### Notícias

### Separata

Acervo Normativo Nacional sobre Betão e Seus Constituintes

**Associados da APEB:** ABB, Betão Liz, Britobetão, Brivel, Concretope, Duarbel, Eurobetão, Eurocálcio, Ibera, Lenobetão, Lusobetão, Mota-Engil – Engenharia e Construção, Pragosa Betão, Prebel, Salvador & Companhia, Sonangil, Tconcrete, Unibetão e Valgroubetão.

**Membros Aderentes da APEB:** Arcen, Arlaco, BASF, Direcção de Infraestruturas – Repartição de Engenharia de Aeródromos, Euromodal, Perta, Prefangol, Saint-Gobain Weber Portugal, Sika Portugal e Sorgila.

**Propriedade APEB** – Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto · Av. Consequenteiro Barjona de Freitas, 10-A, 1500-204 Lisboa · T. 217 741 925/932 · F. 217 785 839 · E-mail: geral@apeb.pt · Internet: www.apeb.pt · **Director** Eng.º Mário Barros · **Director Executivo** Jorge S. Pato · **Coordenador Editorial** João André  
**Depósito legal** 209441/04

**Design, Publicidade e Produção** Companhia das Cores – Design e Comunicação Empresarial, Lda. – Rua Sampaio e Pina, n.º 58, 2.º Dto., 1070-250 Lisboa · T. 213 825 610 · F. 213 825 619 · E-mail: design@companhiadascors.com / marketing@companhiadascors.com · Internet: www.companhiadascors.com  
Os artigos assinados são da responsabilidade dos seus autores.