

Concreto autoadensável em regiões costeiras de clima quente

CARLOS F. A. CALADO – DOUTORANDO | AIRES CAMÕES – PROFESSOR-DOUTOR

CTAC, UNIVERSIDADE DO MINHO - PORTUGAL

PAULO HELENE – PROFESSOR-DOUTOR

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

I. INTRODUÇÃO

 concreto autoadensável (CAA no Brasil e SCC internacionalmente) já vem sendo aplicado há aproximadamente 20 anos e vem se tornando alternativa tecnicamente viável para aplicação em lugar do concreto convencional vibrado (CC). Atualmente, constata-se que os estudos sobre o SCC avançaram muito e já é possível responder a quase todas as indagações acerca do comportamento do SCC frente ao CC, vantagens e possíveis desvantagens nos aspectos técnicos de aplicação e utilização.

No entanto, Rich *et al* [1] estudaram a aceitação do SCC entre os empresários da construção civil do Reino Unido e concluíram que as pesquisas, à época, desenvolviam estudos específicos do material em questão, sem apresentar outros benefícios e conceitos aos construtores, a exemplo de como, quando e onde aplicar SCC, importando para a tomada de decisão dentro do planejamento do processo, bem como o tempo de construção. Ou seja, o SCC deveria ser visto como um método e não apenas como mais um material.

Para os construtores aplicarem SCC nas suas obras, o tempo disponível entre o início da mistura e a conclusão do adensamento nas fôrmas, quando então se inicia a cura, representa um importante desafio a ser atendido. O SCC, para a manutenção da autoadensabilidade, necessita atender os requisitos de fluidez, capacidade de preenchimento, capacidade de passagem e resistência à segregação. O tempo inicial de pega, juntamente com a consistência e coesividade do concreto fresco, determinam o tempo de duração em que a mistura permanece num período de dormência, plástica e trabalhável, podendo ser manuseada e aplicada no canteiro de obra. Para regiões com clima seco e temperatura mais elevada, caso da região de Recife (Pernambuco,, Brasil), o tempo disponível para aplicação do SCC fresco pode ser reduzido com relação a outros tipos de regiões [2].

O CAA obtido na região de Recife provém de composições que associam conteúdo de adições minerais com os aditivos plastificantes. Os plastificantes são aditivos redutores de água e modificadores de viscosidade, enquanto

que os superplastificantes têm efeitos sobre a dispersão de partículas de cimento por meio de repulsão estérica e/ou eletrostática, com características de elevada redução de água. A adsorção do aditivo pode estender a manutenção da fluidez através da dispersão das partículas de cimento, mas a concentração de íons sulfato, proveniente do gipsita que controla a pega do cimento, na solução pode ajudar a reduzir a intensidade desse efeito estérico do polímero. A temperatura mais elevada provoca rápida taxa de hidratação inicial, conduzindo a uma distribuição não uniforme dos produtos de hidratação dentro da pasta. Então, o concreto aplicado e curado a alta temperatura endurece mais rápido, mas apresenta resistências menores em relação aos aplicados e curados em temperaturas mais baixas. [2,3,4].

A durabilidade do concreto sofre influências adversas que envolvem o transporte de fluidos e gases através dos poros do concreto, além de outros fatores, como relação água/cimento, temperatura, grau de hidratação, adições minerais, porosidade capilar e permeabilidade [2,5]. A região

metropolitana do Recife, cidade litorânea, capital do estado de Pernambuco, com 3,9 milhões de habitantes (julho/2014), combina condições especialmente agressivas para estruturas de concreto armado, tais como: valores médios anuais para temperatura máxima igual a 29,1°C, umidade relativa do ar igual a 79,8%, precipitação pluviométrica de 2.417,6mm, horas de sol igual a 2.550,7h, além da atmosfera marinha em face de estar situada ao bordo do oceano. Trata-se, portanto, de um ambiente propício para a deterioração precoce por despassivação e corrosão das armaduras. A quantidade das obras de concreto que não atingem a idade prevista no projeto tende a ser mais elevada, caso medidas mitigadoras não sejam adotadas nas etapas de projeto, execução e manutenção [6].

Dessa forma, o presente artigo objetiva apresentar estudos em concretos e em pasta de SCC e de CC, representativas daquelas usualmente aplicadas na região de Recife, de modo a demonstrar que, apesar das

► Tabela 1 – Tipos de pastas e concretos aplicados em Lab_P e Lab_AP

Pasta SCC e Concretos aplicados	
Pasta CAA – (CV+MK+SP+P+A)	CAA L-AP3 – (CII+Ar+B1+SP+A)
CAA L-P – (CV+MK+Ar+B1+B2+SP+P+A)	CC L-P – (CV+MK+Ar+B2+P+A)
CAA L-AP1 – (CII+Ar+B2+SP+P+A)	CC L-AP4 – (CII+Ar+B2+SP+P+A)
CAA L-AP2 – (CIV+Ar+B2+SP+P+A)	CC L-AP5 – (CIV+Ar+B2+SP+P+A)

Onde: C_v = cimento CP-V ARI; C_{ii} = cimento CP-II F 32; C_{iv} = cimento CP-IV 32 RS; A = água; SP = superplastificante; P = plastificante; MK = metacaulim; Ar = areia; B1 = brita 12.5mm; B2 = brita 19.1mm.

condições locais desfavoráveis, é viável a aplicação de SCC em regiões costeiras de clima quente, desde que o SCC seja entendido e consumido como um processo, e não apenas como um novo material.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Método de dosagem, ensaios aplicados, constituintes e composições

Os estudos se desenvolveram a partir de um conjunto de ensaios aplicados em pastas, concreto fresco e concreto endurecido, em duas frentes

de trabalho: (1) em laboratório de pesquisa (L-P); (2) no laboratório do canteiro de obra da Arena Pernambuco (L-AP), localizado na região metropolitana do Recife, inaugurada em 2013, e onde foram aplicados 23.200 m³ de SCC, e 34.800m³ de CC.

Na pesquisa aqui apresentada, através de ensaios em pasta representativa de concreto fresco, SCC e CC, buscou-se obter indicadores do tempo disponível de trabalhabilidade para execução das operações de concretagem em diferentes temperaturas (25°C, 32°C, 38°C e 45°C).

Os ensaios aplicados à pasta de SCC e concretos frescos foram: Agulha de Vicat (AV); Resistividade

► Tabela 2 – Quadro resumo dos ensaios aplicados, composições, temperaturas e idades

Ensaio	Composição	Temperatura (°C)	Idade (dias)
AV	Pasta CAA	25, 32, 38, 45	Inicial
REp	Pasta CAA	25, 32, 38, 45	Inicial
CM	Pasta CAA	25, 32, 38, 45	Inicial
Es e t ₅₀₀	CAA L-P; CAA L-AP1; CAA L-AP2; CAA L-AP3	32	Inicial
At	CC L-P; CC L-AP4; CC L-AP5	32	Inicial
RC	CAA L-P; CAA L-AP1; CAA L-AP2; CAA L-AP3; CC L-P; CC L-AP4; CC L-AP5	32	3, 7, 14, 28, 56, 90
IC	CAA L-P; CC L-P	32	28, 90
AB	CAA L-P; CAA L-AP1; CC L-P; CC L-AP4	32	28, 90
AC	CAA L-P; CC L-P	32	28, 90
REc	CAA L-P; CC L-P	32	3, 7, 28, 56, 90
IV	CAA L-P; CAA L-AP1; CC L-P; CC L-AP4	32	28, 90
CA	CAA L-P; CC L-P	32	28, 90

► Tabela 3 – Composições da pasta CAA (SCC) e dos concretos aplicados em (L-P) e (L-AP)

Constituintes	Unid	Pasta CAA	CAA	CC	CAA			CC	
			L-P	L-AP1	L-AP2	L-AP3	L-AP4	L-AP5	
CP-V ARI	g	459,8	419	416	–	–	–	–	–
CP-II F 32	g	–	–	–	499	–	532	451	–
CP-IV 32 RS	g	–	–	–	–	525	–	–	476
Metacaulim	g	40,2	36	36	–	–	–	–	–
Areia	g	–	947	661	856	778	732	815	681
Brita 12.5mm	g	–	227	–	–	–	778	–	–
Brita 19.1mm	g	–	529	1028	830	798	–	917	946
Água	g	225,3	205	203	199	236	215	180	214
Superplastificante	g	5,7	5	–	4,49	5,25	3,76	1,80	1,90
Plastificante	g	4,6	4,2	2,6	2,99	4,20	–	2,71	3,81
Relação (a)/l ⁽¹⁾	–	0,451	0,45	0,45	0,40	0,45	0,40	0,40	0,45
Relação (a+aq)/l ⁽²⁾	–	0,471	0,471	0,455	0,414	0,468	0,411	0,409	0,462
Relação (SP+P)/a ⁽³⁾	–	0,046	0,045	–	0,038	0,040	–	0,025	0,027
Relação (SP)/a ⁽⁴⁾	–	–	–	–	–	–	0,017	–	–
Relação (P)/a ⁽⁵⁾	–	–	–	0,013	–	–	–	–	–
f _{ck}	MPa	–	40	40	40	40	40	40	40
Espalhamento	mm	–	> 700	–	> 700	> 700	> 700	–	–

► Tabela 3 – Composições da pasta e dos concretos aplicados em (L-P) e (L-AP) (continuação)

Constituintes	Unid	Pasta CAA	CAA	CC	CAA			CC	
			L-P	L-AP1	L-AP2	L-AP3	L-AP4	L-AP5	
Abatimento	mm	–	–	120±20	–	–	–	140±20	140±20

⁽¹⁾ Relação água/ligante, onde ligante = cimento + adição metacaulim; ⁽²⁾ Relação (água+aditivo químico)/ligante; ⁽³⁾ Relação (superplastificante+plastificante)/água; ⁽⁴⁾ Relação (superplastificante)/água; ⁽⁵⁾ Relação(plastificante)/água

elétrica em pastas (REp); Cone Marsh (CM); Espalhamento (*slump-flow*) (Es) e t_{500} ; Abatimento (*slump*) (At). Os ensaios aplicados aos concretos endurecidos, envolvendo os temas de resistência e durabilidade, na temperatura de 32°C, foram: resistência mecânica à compressão (RC); difusão de íons cloreto (IC); absorção de água por capilaridade (AB); ascensão capilar (AC); resistividade elétrica em concreto (REc); índice de vazios (IV); e carbonatação acelerada (CA). A pasta de SCC e os diferentes tipos de con-

cretos estão indicados na Tabela 1.

A Tabela 2 apresenta os ensaios aplicados na pesquisa, para a pasta SCC e as composições de concreto adotadas, bem como as diferentes temperaturas e idades de cada uma das composições, em cada um dos ensaios.

A Tabela 3 apresenta as composições da pasta CAA (SCC) e dos concretos, SCC e CC, aplicados nos ensaios no laboratório de pesquisa (L-P) e no laboratório do canteiro de obra da Arena Pernambuco (L-AP).

2.2 Obtenção dos corpos de prova utilizados nos ensaios da pesquisa

Os corpos de prova (CPs) foram obtidos em atendimento à ABNT NBR 5738:2015 quanto ao procedimento para moldagem e cura. Após essa etapa, os CPs CAA L-P e CC L-P foram armazenados em câmara úmida até o momento de realização dos ensaios. A câmara úmida foi mantida à temperatura de $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$, com umidade relativa do ar superior a 95%. Já os CPs CAA



► **Figura 1**
Tanque para cura dos CPs



► **Figura 2**
Tanque de água e hidróxido de cálcio

L-AP1, CAA L-AP2, CAA L-AP3, CC L-AP4 e CC L-AP5, foram conservados em área coberta do laboratório da obra, protegida com uma lona para evitar a perda de água e, 24h após a concretagem, os CPs foram desmoldados, quando então receberam a identificação e foram conservados nos tanques de cura até a idade de rompimento.

2.3 Normas aplicadas para a realização dos ensaios

As pastas e os concretos frescos tiveram as temperaturas controladas, para assegurar os valores propostos de 25°C, 32°C, 38°C e 45°C, seja através de resfriamento ou aquecimento dos constituintes e da mistura. Os concretos endurecidos

foram ensaiados à temperatura média de 32°C. A Tabela 4 expõe os experimentos realizados e as normas de referência.

2.4 Procedimento do ensaio de resistividade elétrica em pastas

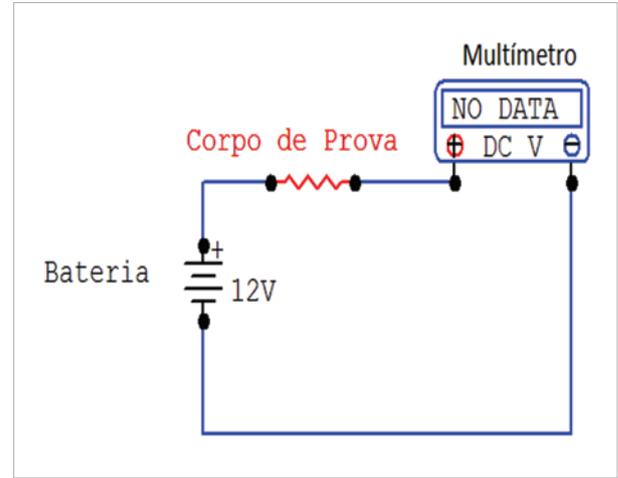
O ensaio buscou avaliar o comportamento da passagem de corrente elétrica

► **Tabela 4 – Normas aplicadas para a realização dos ensaios**

	Ensaio	Normas aplicáveis
Pastas e concretos frescos	Agulha de Vicat	NBR NM 43:2003 NBR NM 65:2003
	Resistividade elétrica	NBR 9204:2012
	Cone de Marsh	NBR 7681-2:2013
	Espalhamento e t_{500}	NBR NM 33:1998 (obtenção das amostras) NBR 15823-2:2010 NBR 15823-1:2010 (avaliação dos resultados)
Concretos endurecidos	Resistência mecânica à compressão	NBR 5738:2003 NBR 5739:2007
	Difusão de íons cloreto	ASTM C1202:1997
	Absorção de água por capilaridade e ascensão capilar	NBR 9779:2012 NBR 7222:2011
	Resistividade elétrica	RILEM TC154-EMC (2003) CEB Bulletin D'Information no 192 (1989)
	Índice de vazios	NBR 9778:2009
	Carbonatação acelerada	RILEM TC056-CPC-18 (1988)



► **Figura 3**
Aparato para realização dos ensaios



► **Figura 4**
Diagrama elétrico esquemático

no fluido cimentício durante um tempo determinado, bem como as variações de resultados para as diferentes temperaturas escolhidas. Dessa forma, a presente pesquisa desenvolveu um aparato muito simples e de fácil implementação em canteiro de obra, com objetivo de aferir o tempo de início de pega de um concreto através da medida da resistividade elétrica, conforme comprovado nos estudos de Zongjin *et al.* (2007) [8]. As Figuras 3 e 4 mostram o aparato e o esquema do diagrama elétrico aplicado.

3. RESULTADOS

A Tabela 5 apresenta os resultados

dos ensaios de Agulha de Vicat, Resistividade elétrica e Cone de Marsh. Esses ensaios permitiram avaliar a trabalhabilidade do CAA através do desempenho da pasta CAA (C+MK+SP+P+A) com o aumento da temperatura e do tempo decorrido após início da mistura. A Tabela 5 apresenta ainda os resultados dos ensaios de Espalhamento (*slump-flow*) e Abatimento (*slump*), onde foi possível avaliar diferenças de trabalhabilidade entre o CAA e CC (composições das Tabelas 2 e 3) com o aumento da temperatura, para o mesmo tempo inicial de medição após mistura.

As Figuras 5 a 8 apresentam grá-

ficos de resistividade elétrica da pasta CAA ao longo do tempo, obtidos através dos ensaios de Vicat, Resistividade e Cone de Marsh, nas temperaturas de 25°C, 32°C, 38°C e 45°C.

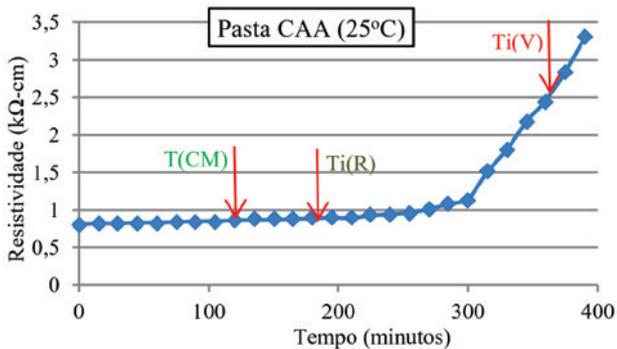
As Figuras 9, 10 e 11 apresentam gráficos de perda de desempenho em função da temperatura, calculados a partir dos resultados de espalhamento, abatimento e t_{500} , respectivamente. Apresentam-se, também, as perdas percentuais de desempenho relativamente à temperatura padrão, considerada igual a 32°C.

A Tabela 6 apresenta os resultados dos ensaios de Resistência mecânica

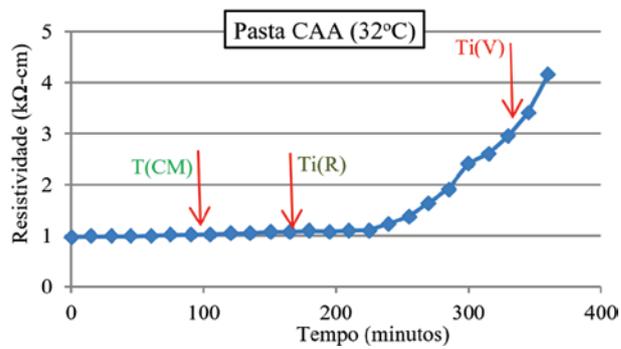
► **Tabela 5 – Resultados de Vicat, Resistividade, Cone Marsh, Espalhamento e Abatimento**

Resultados	Composição	Unid	Temperatura (°C)			
			25	32	38	45
Ti(V)/Tf(V)	Pasta CAA	(h)	6,15/8,92	5,54/8,07	3,88/5,74	3,31/4,89
Ti(R)/Tf(R)	Pasta CAA	(h)	3,1/4,7	2,72/3,91	2,41/3,26	2,40/3,24
T(CM)	Pasta CAA	(h)	2,0	1,5	1,25	1,25
V(Es)	CAA	(mm)	728	725	717,5	713
V(At)	CC	(mm)	120	118	115	112
$V(t_{500})$	CAA	(s)	1,80	1,78	1,72	1,69

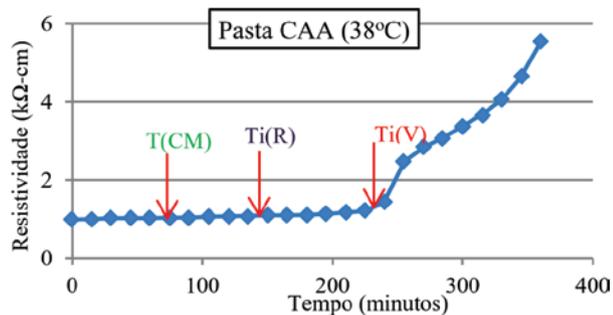
Ti(V) = tempo de início de pega por Vicat; Tf(V) = tempo de fim de pega por Vicat; Ti(R) = tempo de início de pega por Resistividade; Tf(R) = tempo de fim de pega por Resistividade; T(CM) = tempo de ensaio em que a pasta deixou de fluir pelo Cone Marsh; V(Es) = valor medido do espalhamento; V(At) = valor medido do abatimento; $V(t_{500})$ = valor medido do tempo t_{500} .



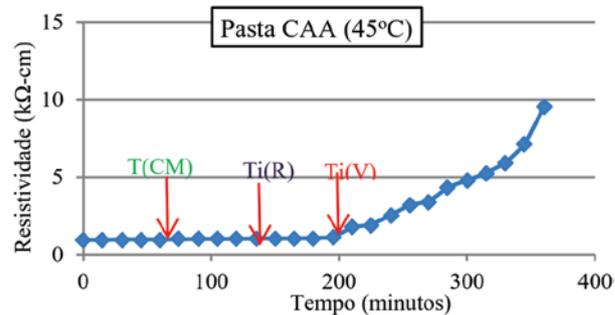
► **Figura 5**
Resultados pasta CAA para 25°C



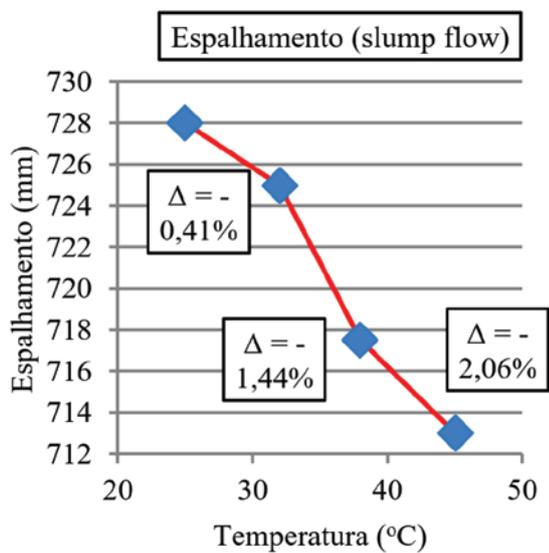
► **Figura 6**
Resultados pasta CAA para 32°C



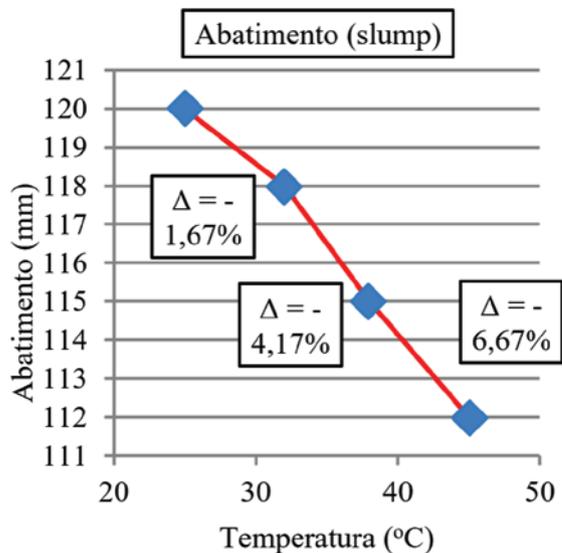
► **Figura 7**
Resultados pasta CAA para 38°C



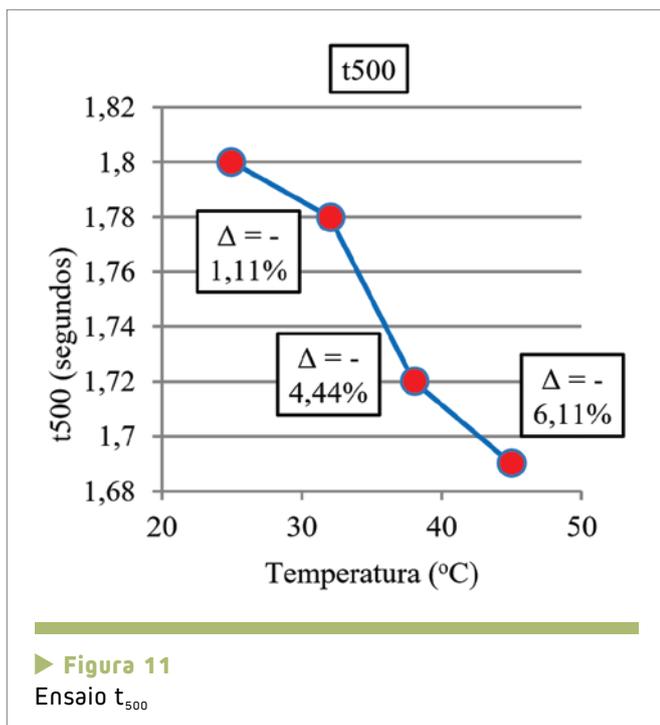
► **Figura 8**
Resultados pasta CAA para 45°C



► **Figura 9**
Espalhamento



► **Figura 10**
Abatimento



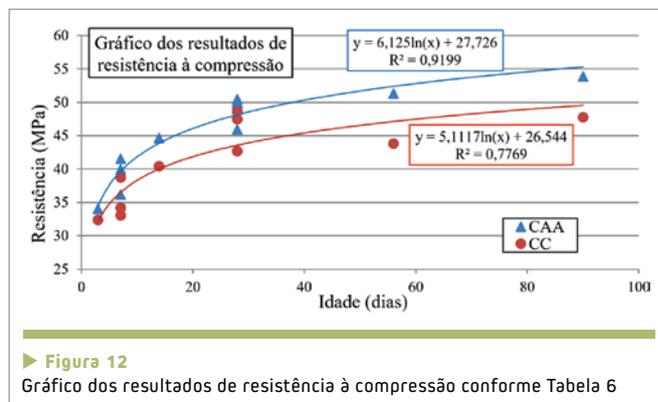
à compressão (RC), e dos ensaios de durabilidade: Difusão de íons cloreto (IC), Absorção de água por capilaridade (AB), Ascensão capilar (AC), Resistividade elétrica em concreto (REc), Índice de vazios (IV) e Carbonatação acelerada (CA), para concreto endurecido, conforme Tabela 2.

A Figura 12 apresenta o gráfico dos resultados de resistência à compressão dos sete tipos de composições de concreto, quatro de CAA e três de CC, conforme os ensaios de resistência aplicados ao concreto endurecido.

As curvas de tendência foram obtidas simplesmente ajustando-se aos resultados experimentais apresentados na Tabela 6.

O gráfico da Figura 13 apresenta a correlação dos resultados de resistência à compressão com os resultados de resistividade elétrica nas mesmas idades ensaiadas: 3, 7, 28, 56 e 90 dias, conforme apresentado na Tabela 6.

O gráfico da Figura 14 apresenta o comparativo dos resultados de ensaios de durabilidade para as mesmas idades ensaiadas de 28 e 90 dias, conforme apresentado na Tabela 6. Observe-se que a relação CC/CAA foi superior a 1,0 para todos os ensaios de durabili-



dade, tanto aos 28 dias quanto aos 90 dias, com exceção do ensaio de resistividade elétrica.

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados na Tabela 5 e visualizados nos gráficos apresentados nas Figuras 5 a 11 permitiram concluir que, efetivamente, houve redução do tempo de trabalhabilidade disponível. Essa redução se deu pelo aumento da temperatura e também do tempo decorrido após mistura dos constituintes. A pasta de CAA aplicada nos ensaios era uma pasta com uso conjunto de aditivos químicos plastificante e superplastificante, com adição de metacaulim, com relação água/ligante de 0,451 e (água+aditivo químico)/ligante de 0,471. Seria possível considerar que a redução dos tempos disponíveis de trabalhabilidade da

► **Tabela 6 – Resultados dos ensaios de resistência e durabilidade para concreto endurecido**

Comp.	Idade (dias)	Ensaio						
		Resist.	Durabilidade					CA (mm)
			RE (MPa)	IC (Coulomb)	AB (%)	AC (%)	REc (kΩ.cm)	
CAA – L-P	3	33,98	–	–	–	11,0	–	–
CAA – L-P	7	36,19	–	–	–	17,8	–	–
CAA – L-P	14	44,69	–	–	–	–	–	–
CAA – L-P	28	45,86	900	8,22	10,7	37,3	13,07	8,75
CAA – L-P	56	51,24	–	–	–	53,6	–	–
CAA – L-P	90	53,88	828	4,88	7,5	64,8	8,86	5,75

► Tabela 6 – Resultados dos ensaios de resistência e durabilidade para concreto endurecido (continuação)

Comp.	Idade (dias)	Ensaio							
		Resist.	Durabilidade					IV (%)	CA (mm)
			RE (MPa)	IC (Coulomb)	AB (%)	AC (%)	REc (kΩ.cm)		
CC – L-P	3	32,32	–	–	–	–	9,7	–	–
CC – L-P	7	33,03	–	–	–	–	16,5	–	–
CC – L-P	14	40,39	–	–	–	–	–	–	–
CC – L-P	28	42,69	1517	8,36	20,0	34,2	14,97	13,97	
CC – L-P	56	43,80	–	–	–	45,0	–	–	
CC – L-P	90	47,83	1250	5,85	13,3	60,4	10,24	8,87	
CAA	7	40,0	–	–	–	–	–	–	
L-AP1	28	50,0	–	8,50	–	–	8,99	–	
CAA	7	39,4	–	–	–	–	–	–	
L-AP2	28	49,8	–	–	–	–	–	–	
CAA	7	41,6	–	–	–	–	–	–	
L-AP3	28	50,5	–	–	–	–	–	–	
CC	7	38,7	–	–	–	–	–	–	
L-AP4	28	48,6	–	8,92	–	–	10,59	–	
CC	7	34,2	–	–	–	–	–	–	
L-AP5	28	47,5	–	–	–	–	–	–	

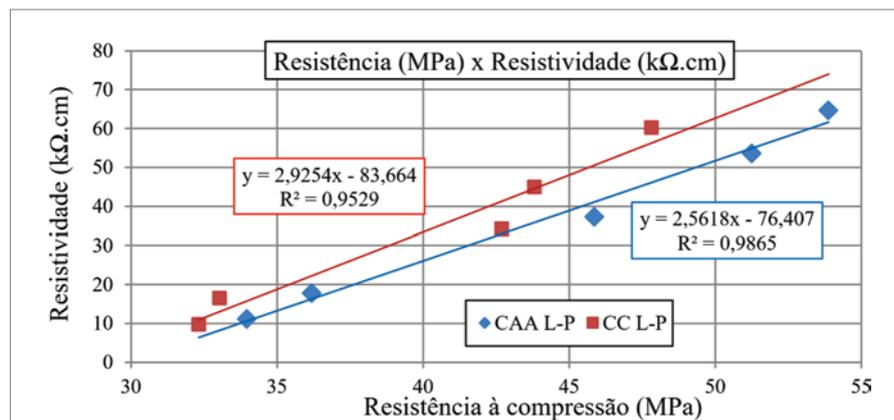
pasta e dos concretos se deu por consequência da perda de desempenho dos aditivos químicos com o tempo e com o aumento da temperatura.

Verificou-se, também, que os resultados de tempo de início de pega por Vicat se aproximaram mais dos indicadores de perda de trabalhabilidade obtidos por Resistividade (mudança acentuada de declividade da curva nos gráficos das Figuras 5 a 8) e Cone de Marsh (tempo T(CM), onde a pasta deixou de fluir) para as temperaturas mais elevadas, de 38 e 45°C. O indicador de desempenho do Cone de Marsh foi o de menor tempo com relação aos indicadores de Vicat e Resistividade para as quatro temperaturas ensaiadas. O segundo menor tempo foi obtido pelos indicadores de Resistividade, ficando por último os indicadores de Vicat. Os tempos de início e fim de pega do ensaio de Agulha de Vicat são referenciados para pastas de consistência normal, cimento e água. A presença

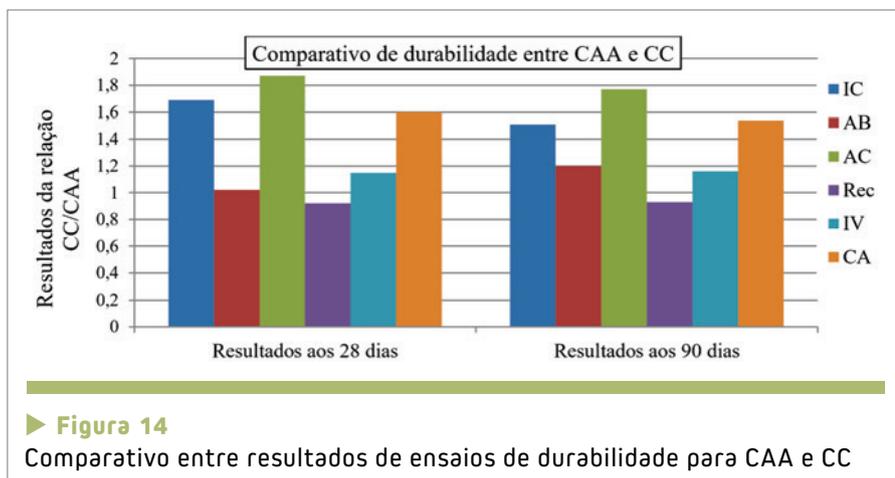
dos aditivos químicos demonstrou que esses tempos são afetados, o que foi confirmado pelos indicadores de Resistividade e Cone de Marsh. Ressalte-se que a correlação entre os resultados de início e fim de pega obtidos através de Vicat com os resultados de resistividade elétrica em pasta, usando um aparato original e simples, passível de

aplicação em laboratório de canteiro de obra, mostrou-se compatível com os demais resultados de ensaios em pasta, a exemplo do Cone de Marsh. Dessa forma, comprovou-se o estudo desenvolvido por Zongjin *et al.* (2007) [8].

As Figuras 5 e 6 mostraram que, para as temperaturas de 25 e 32°C respectivamente, os indicadores de



► Figura 13
Correlação entre resistividade elétrica e resistência à compressão



► **Figura 14**
Comparativo entre resultados de ensaios de durabilidade para CAA e CC

fluidez por Marsh e início de pega por Resistividade aconteceram quando a pasta ainda não havia manifestado a alteração marcante na mudança de comportamento da resistividade, enquanto que o início de pega de Vicat aconteceu quando a curva de resistividade já havia sofrido forte alteração de comportamento. Por outro lado, as Figuras 7 e 8 mostraram que, para as temperaturas de 38 e 45°C respectivamente, os indicadores de fluidez por Marsh e início de pega por Resistividade mantiveram o mesmo comportamento, enquanto que o início de pega por Vicat aconteceu exatamente no tempo em que a curva de resistividade sofreu a forte alteração de comportamento, passando para trecho ascendente de elevada inclinação.

As Figuras 9, 10 e 11 mostraram graficamente que, para o tempo inicial, sem acréscimo do tempo após mistura, variando apenas a temperatura, houve indicativo de pequena perda de desempenho nos ensaios de Espalhamento, Abatimento e t_{500} . Possivelmente os aditivos químicos não haviam perdido desempenho apenas com o acréscimo de temperatura.

Dessa forma, verificou-se que a temperatura reduziu o tempo disponível de trabalhabilidade. No entanto, a variável tempo decorrido após mis-

tura, associada ao acréscimo da temperatura, de fato provocou as maiores reduções dos indicadores de desempenho de trabalhabilidade. Assim, pode-se recomendar aos construtores que adequem o tempo necessário para a realização de todas as etapas de concretagem ao tempo efetivamente disponível, com base nos estudos de composições de pastas e concretos para uso no estado fresco.

Quanto à Tabela 6 e à Figura 12, considerando-se a idade de referência de 28 dias, foi possível estabelecer a média $f_{c28} = 49,04$ MPa para as quatro composições de CAA e a média $f_{c28} = 46,26$ MPa para as três composições de CC, representando melhor desempenho de resistência de 6% do CAA em relação ao CC. Analisando-se as sete composições apresentadas na Tabela 3, verificou-se que as composições adotadas para CAA e CC guardaram certa similaridade e utilizaram os mesmos constituintes, tendo evidência a maior quantidade de aplicação dos aditivos químicos no CAA com relação ao CC. Assim, poderia ser estabelecida a hipótese de que os aditivos tenham contribuído para uma maior densificação da matriz ligante ou tenham melhorado a hidratação do cimento, além do fato

do CAA conter maior quantidade de agregados finos, provocando aumento no resultado final da resistência do CAA com relação ao CC.

Como expõe a Tabela 6, em todos os ensaios de durabilidade o SCC apresentou desempenho um pouco superior ao CC.

As Figuras 13 e 14 confirmaram a expectativa do aumento da resistência com o aumento da idade do concreto, bem como dos indicadores de durabilidade, devido à diminuição da porosidade, associada à contínua hidratação do cimento.

Para difusão de íons cloreto, quanto maior a carga passante em Coulombs, maior será a penetração de íons cloreto, o que acarretará redução da durabilidade do concreto e suas armaduras. Esse melhor desempenho do SCC pode ser explicado pelo material apresentar-se melhor selado internamente que o CC. Os ensaios de absorção de água por capilaridade, ascensão capilar e índice de vazios mostraram que o CAA ou SCC se apresentou mais denso, homogêneo, e menos poroso que o CC nas primeiras idades, com possibilidade de manutenção dessa tendência ao longo da vida útil dos concretos nas idades mais avançadas.

O melhor desempenho do SCC no ensaio de Resistividade Elétrica pode ser também explicado pela microestrutura mais densa ou por uma maior perda de umidade ao longo do tempo, decorrente de uma maior porosidade interconectável (menor durabilidade). Já o ensaio de carbonatação acelerada, ao demonstrar melhor indicador de durabilidade para o CAA, poderia confirmar que o SCC apresenta maior empacotamento das partículas, resultando em menor porosidade e

estrutura de poros mais finos, como também faz com que a rede de poros seja mais intrincada, dificultando a penetração do CO₂.

Finalmente, os estudos, ensaios e

resultados obtidos, demonstraram que houve indicadores positivos de viabilidade técnica da aplicação de SCC em lugar de CC, mesmo em regiões costeiras de clima quente, que representam

ambiente naturalmente mais agressivo, tanto nos aspectos de trabalhabilidade do concreto fresco, quanto nos aspectos de resistência e durabilidade do concreto endurecido. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] RICH, D., WILLIAMS, D., GLASS, J., GIBB, A. and GOODIER, C., To SCC or Not To SCC? UK Contractor's Views. Theme: Production and Placement of SCC - 6th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete and the 4th North American Conference on the Design and Use of SCC, 26 to 29 September, 2010, Montreal, Canada. (Pg. 669 – 676).
- [02] Soroka, I. (2004) Concrete in Hot Environments, Published by E & FN Spon, an imprint of Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK, pp. 179-200.
- [03] Camões, A. (2005) Influência da presença de adições minerais no comportamento do betão fresco em composições com incorporação de superplastificantes. Revista de Engenharia Civil-Universidade do Minho, N. 23, pp. 19-30.
- [04] Ghafoori, N.; Diawara, H. (2010) Influence of temperature on fresh performance of self-consolidating concrete. Construction and Building Materials, N. 24, pp. 946-955.
- [05] De Schutter, G. (2012). Durability. Proc. of Joint IBRACON-RILEM Course on SCC. 54^o IBRACON, Maceió, Brazil, October.
- [06] Pade, C.; Kaasgaard, M.; Jönsson, U.; Munch-Petersen, C. (2013) Comparison of durability parameters of self-compacting concrete and conventional slump concrete designed for marine environment. Proc. of Fifth North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, Illinois, USA, May 12-15.
- [07] Boggio, A. J. (2007) Estudo Comparativo de Métodos de Dosagem de Concretos de Cimento Portland. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: PPGE/UFRGS.
- [08] Zongjin, L.; Xiao, L.; Wei, X. Determination of Concrete Setting Time Using Electrical Resistivity Measurement. Journal of Materials in Civil Engineering 2007.19:423-427.
- [09] Tutikian, Bernardo & Dal Molin, Denise. CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL. São Paulo, Pini, 2008, ISBN 978-85-7266-211-6, catálogo remissivo 08-08836CDD-620.136, código engenharia: 620.136.