

**Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**  
**Departamento de Engenharia de Construção Civil**

ISSN 0103-9830  
**BT/PCC/499**

---

**Concreto projetado elaborado com cimentos especiais: análise segundo parâmetros de durabilidade.**

---

**José Carlos Gasparim**  
**Antonio Domingues de Figueiredo**

**São Paulo – 2008**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Construção Civil  
Boletim Técnico – Série BT/PCC

Diretor: Prof. Dr. Ivan Gilberto Sandoval Falleiros  
Vice-Diretor: Prof. Dr. José Roberto Cardoso

Chefe do Departamento: Prof. Dr. Orestes Marracini Gonçalves  
Suplente do Chefe do Departamento: Prof. Dr. Alex Kenya Abiko

Conselho Editorial  
Prof. Dr. Alex Abiko  
Prof. Dr. Francisco Ferreira Cardoso  
Prof. Dr. João da Rocha Lima Jr.  
Prof. Dr. Orestes Marracini Gonçalves  
Prof. Dr. Paulo Helene  
Prof. Dr. Cheng Liang Yee

Coordenador Técnico  
Prof. Dr. Alex Kenya Abiko

O Boletim Técnico é uma publicação da Escola Politécnica da USP/ Departamento de Engenharia de Construção Civil, fruto de pesquisas realizadas por docentes e pesquisadores desta Universidade.

Este texto faz parte da dissertação de mestrado de título "Concreto projetado elaborado com cimentos especiais: análise segundo parâmetros de durabilidade", que se encontra à disposição com os autores ou na biblioteca da Engenharia Civil.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Gasparim, José Carlos  
Concreto projetado elaborado com cimentos especiais: análise segundo parâmetros de durabilidade. – São Paulo : EPUSP, 2008.  
15 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/499)

1. Concreto projetado 2. Cimento 3. Concreto 4. Durabilidade I. Figueiredo, Antonio Domingues de II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil III. Título IV. Série

ISSN 0103-9830

# CONCRETO PROJETADO ELABORADO COM CIMENTOS ESPECIAIS: ANÁLISE SEGUNDO PARÂMETROS DE DURABILIDADE

José Carlos Gasparim, Eng.<sup>(a)</sup> ; Antonio Domingues de Figueiredo, Prof. Dr.<sup>(b)</sup>

<sup>(a),(b)</sup> Departamento de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

## 1 – OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar a análise experimental de amostras de concreto projetado, por via seca, elaborado com cimentos especiais, mediante ensaios laboratoriais que determinam os principais parâmetros de durabilidade adotados nas especificações desse material.

## 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados quatro tipos de cimentos especiais, produzidos pela HOLCIM do Brasil, especificamente para o uso em concreto projetado.<sup>(1)(2)(3)(15)</sup>

DURACEM AD-300, formulado com granulometria mais fina e adições de escória de alto-forno e metacaulim, fabricado em Barroso/MG (neste trabalho também identificado como AD-300B);

DURACEM AD-300, com formulação idêntica ao primeiro, fabricado em Cantagalo/RJ (neste trabalho também identificado como AD-300C);

DURACEM PR-200, formulado com granulometria mais fina e adição de escória de alto-forno;

DURACEM PI-500, formulado com adição de escória de alto-forno e aditivado com acelerador de pega em pó.

Foram usados também, outros dois tipos de cimento tradicionalmente empregados em concreto projetado, para servirem de referência: CP V ARI-RS e CPIII40-RS.

Como agregado graúdo, foi utilizado pedrisco de granito e, como agregados miúdos, areia quartzosa natural lavada de granulometria média e areia artificial (pó de pedra) de granito.

Foi utilizado processo de projeção por via seca, através de uma máquina de projeção de rotor de câmaras tipo CP-6, compressor de ar com capacidade de 750PCM, através do qual se impôs pressão constante de 7kgf/cm<sup>2</sup> para o ar comprimido fornecido à rede. Tomou-se o cuidado de manter o mesmo mangoteiro em todo o procedimento, com o intuito de minimizar as variações pertinentes à operação manual do sistema e, assim, reduzir o efeito das variáveis intervenientes.

## **2.1 – Moldagem de Placas**

O estudo foi baseado na moldagem de placas, de acordo com a NBR-13070 (1998) da ABNT,<sup>(9)</sup> a partir da projeção, em formas metálicas tipo “caixa” com seção transversal tronco-piramidal, com 65 x 65cm na face aberta, 40 x 40cm no fundo e 17cm de profundidade que, segundo FIGUEIREDO, constitui o método mais confiável para a avaliação das propriedades do concreto projetado, porque reproduz, com bastante similaridade, as condições de obra.<sup>(13)(14)</sup>

Foram moldadas duas placas por condição, ou seja, duas placas para cada tipo de cimento e consumo especificado. Além disso, para cada cimento, todas as oito placas foram projetadas em uma mesma seqüência e posteriormente protegidas de modo a propiciar similaridade de condições. Das placas foram extraídos testemunhos cilíndricos e, a partir destes, produzidos corpos-de-prova com 75mm de diâmetro por 150mm de altura, ou com 100mm de diâmetro por 50mm de altura, conforme a necessidade de cada um dos ensaios.<sup>(6)</sup>

## 2.2 – Proporções (traços)

Para cada tipo de cimento foram elaboradas misturas secas para a projeção com consumo estimado de cimento de 300, 350, 400 e 450kg/m<sup>3</sup>, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Consumos típicos e respectivos traços utilizadas na projeção

Consumo (kg/m <sup>3</sup> )	Traço unitário			
	Cimento	Areia natural	Areia artificial	Pedrisco
300	1	1,37	2,54	2,10
350	1	1,18	2,19	1,87
400	1	1,00	1,85	1,65
450	1	0,82	1,52	1,43
Consumo (kg/m <sup>3</sup> )	Traço por saco de cimento (kg)			
	Cimento	Areia natural	Areia artificial	Pedrisco
300	50	68,25	126,75	105,00
350	50	58,95	109,48	93,62
400	50	49,88	92,63	82,50
450	50	40,82	75,81	71,42

## 2.3 – Amostragem

Foram moldadas duas placas para cada proporção e para cada tipo de cimento e destas extraídos, no mínimo, três testemunhos, aleatoriamente, para cada ensaio realizado. Assim, cada determinação foi feita, em laboratório, através do ensaio de três corpos-de-prova elaborados a partir dos testemunhos extraídos.

Em alguns casos, foram utilizados dois corpos-de-prova, quando a variabilidade do mesmo assim o permitiu. Nestes casos, a opção de utilização de dois corpos-de-prova será explicitamente indicada a seguir.

## 2.4 – Ensaaios

Inicialmente foram realizados ensaios de caracterização do material:

- Ensaaios de determinação de consistência segundo a NBR 14278 (1990) da ABNT,<sup>(10)</sup> no qual se utiliza uma agulha de Proctor, diretamente sobre a placa recém-moldada, através dos quais pode-se constatar a similaridade do material, principalmente nas placas de mesmos cimento e traço, garantindo, assim, a representatividade da amostragem.

Os principais ensaios realizados, considerados como balizadores do potencial de durabilidade do material, que normalmente constam das especificações brasileiras<sup>(13)</sup> e internacionais<sup>(11)(17)</sup>, foram os seguintes:

- Absorção de água por capilaridade, de acordo com a NBR-9779 (1995) da ABNT, através de três corpos-de-prova (75mm de diâmetro por 150mm de altura) por placa;<sup>(7)</sup>
- Migração de íons cloreto, segundo a norma ASTM-1272 (1996), através de quatro corpos-de-prova (100mm de diâmetro por 50mm de altura) por placa;<sup>(4)</sup>
- Carbonatação acelerada, segundo recomendação do RILEM (1993), com insuflação permanente de gás CO<sub>2</sub>, em teor de 5% de saturação, com verificações aos 14, 28, 35 e 42 dias de exposição, através de dois corpos-de-prova (75mm de diâmetro por 75mm de altura) por placa;<sup>(24)</sup>
- Penetração de água sob pressão, conforme a NBR-10787 (1994) da ABNT (adaptada para os testemunhos extraídos), através de dois corpos-de-prova (100mm de diâmetro por 50mm de altura) por traço;<sup>(8)</sup>
- Resistividade elétrica, mediante utilização de equipamento modelo “Resi” da marca “Proceq”, conforme TC-154 (RILEM, 2001), em três corpos-de-prova (75mm de diâmetro por 150mm de altura) por placa.<sup>(25)</sup>

Viabilizados por reaproveitamento de corpos-de-prova dos ensaios anteriores, foram adicionalmente realizados ensaios de resistência mecânica, que também contribuíram para caracterização do material:

- Resistência à compressão axial\*, conforme a norma NBR-5739 (1994) da ABNT, a partir de dois ou três corpos-de-prova (75mm de diâmetro por 150mm de altura) por placa, após 91 dias de idade.<sup>(9)</sup>

### 3 – RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de absorção capilar, correspondente à altura de ascensão de água, foram expressos em milímetros (mm).

Sabe-se que a migração de íons cloreto é acelerada pela passagem de uma corrente elétrica e, então, proporcional à carga elétrica passante através da amostra, conforme propõe o ensaio. Portanto, os resultados desses ensaios, estão foram expressos através da carga passante (Coulomb).<sup>(22)(23)</sup>

O avanço da carbonatação, no concreto, é proporcional à raiz quadrada do tempo e a uma constante de proporcionalidade (k), própria de cada material e condição de exposição. Como as amostras foram submetidas às mesmas condições e tempo de exposição, os resultados, para efeito de comparação entre si, serão expressos através do “k” calculado, expresso em (mm x ano<sup>1/2</sup>).

Nos ensaios de penetração de água sob pressão, segundo a norma, devem ser verificadas as profundidades atingidas pela água, mediante o seccionamento do corpo-de-prova, que neste caso conduziu à medida de aproximadamente 50mm para praticamente todas as amostras, portanto, para efeito de comparação entre si e a fim de propiciar uma visualização mais precisa, os resultados serão expressos em mililitros (ml).

Os resultados de resistividade elétrica, fornecidos diretamente pelo equipamento utilizado, são expressos em (k $\Omega$  x cm).

Os resultados foram correlacionados com os traços através do consumo de cimento e comparados entre si.

Os resultados obtidos dos ensaios balizadores de durabilidade realizados estão resumidos na tabela 2.

Tabela 2 – Resumo dos resultados dos ensaios balizadores de durabilidade.

ENSAIO	Consumo (kg/m <sup>3</sup> )	TIPO DE CIMENTO					
		AD-300B	AD-300C	PR-200	PI-500	ARI/RS	CPIII40/RS
Absorção Capilar (mm)	300	38	44	39	97	102	68
	350	35	32	37	87	97	66
	400	33	29	36	81	90	60
	450	29	28	32	65	72	54
Migração Cloretos (coulomb)	300	1.222	1.268	1.498	5.154	8.018	3.086
	350	798	981	1.229	5.062	7.011	3.290
	400	524	882	1.100	3.052	6.247	3.139
	450	422	632	934	2.484	5.309	3.084
Carbonatação Acelerada k(mm x ano <sup>-1/2</sup> )	300	26	24	27	54	38	65
	350	18	19	24	31	32	56
	400	11	13	20	22	21	46
	450	4	6	7	10	14	36
Penetração de Água sob Pressão (ml)	300	85	98	100	168	208	225
	350	60	65	90	98	93	155
	400	50	63	88	83	80	103
	450	45	53	70	70	55	85
Resistividade Elétrica (k $\Omega$ x cm)	300	47	63	52	18	15	26
	350	56	67	57	20	17	29
	400	65	68	64	24	16	30
	450	51	71	67	27	19	35

Os resultados obtidos dos ensaios de resistência mecânica, realizados a partir do reaproveitamento de corpos-de-prova dos ensaios supracitados, estão resumidos na tabela 3.

Tabela 3 – Resumo dos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial.

ENSAIO	Consumo (kg/m <sup>3</sup> )	TIPO DE CIMENTO					
		AD-300B	AD-300C	PR-200	PI-500	ARI/RS	CPIII40/RS
Resistência à Compressão (MPa)	300	54	36	47	37	37	36
	350	64	37	48	41	45	38
	400	70	44	55	48	45	42
	450	76	47	59	49	53	44



#### 4 – ANÁLISE DE RESULTADOS

Da observação dos dados apresentados na Tabela 2, pode-se verificar que os resultados dos ensaios de Absorção de Água por Capilaridade, Migração de Íons Cloreto, Penetração de Água sob Pressão e os coeficientes de avanço da frente de carbonatação (k) calculados para os ensaios de Carbonatação Acelerada apresentaram decréscimo, com aumento de consumo, para todos os tipos de cimento ensaiados, conforme já era esperado.

Interpreta-se que quanto mais baixos os índices obtidos desses ensaios, mais favorável, pois isso pode significar baixa permeabilidade,<sup>(12)</sup> propriedade de natural interesse para a durabilidade<sup>(18)(19)</sup>, uma vez que quanto menor a permeabilidade menor será a chance de ingresso de agentes deletérios.

Por outro lado, os resultados de resistividade elétrica apresentaram variação crescente com o aumento de consumo, para todos os tipos de cimento ensaiados, conforme também já era esperado.

A resistividade é inversamente proporcional à condutividade, esta responsável pela ação de eletrólitos no concreto, responsáveis pela formação de pilhas eletrolíticas e conseqüente corrosão de armaduras,<sup>(19)(20)</sup> portanto, estima-se que o concreto será tanto mais durável quanto maior for sua resistividade elétrica.

Nota-se, porém, que as diferenças obtidas dos resultados de todos os ensaios foram mais expressivas entre os tipos de cimento que entre a variação do consumo, fazendo com que esta última variável não se apresente mais decisiva na definição do comportamento do material quanto a primeira.

Pode-se observar a similaridade de comportamento dos concretos elaborados com os cimentos especiais DURACEM AD-300B, DURACEM PR-200 e DURACEM AD-300C e a nítida superioridade, em comparação com os concretos elaborados com cimentos convencionais CP III 40 e CP V ARI RS, e mesmo com o cimento especial

DURACEM PI-500, que também tiveram comportamentos semelhantes entre si, formando, assim, duas “famílias” bem distintas.

Em face do exposto, considera-se que a tendência de evolução dos resultados, caracterizados para cada uma das duas famílias possa ser visualizado, a título de comparação, através dos gráficos apresentados a seguir.

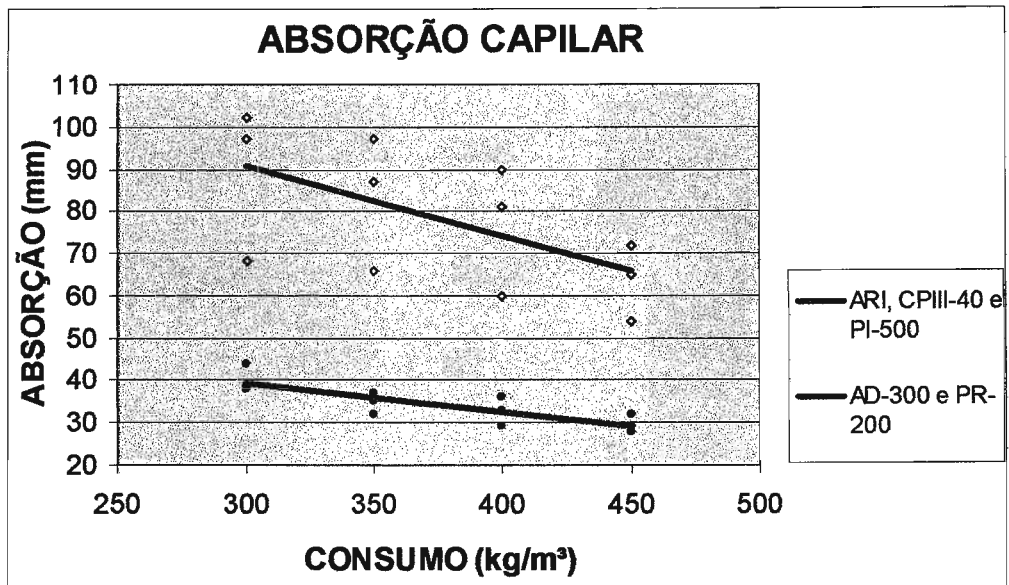


Figura 1 – Comparação de curvas de tendência de absorção capilar conduzidas pelas duas “famílias de cimento”, com relação ao consumo.

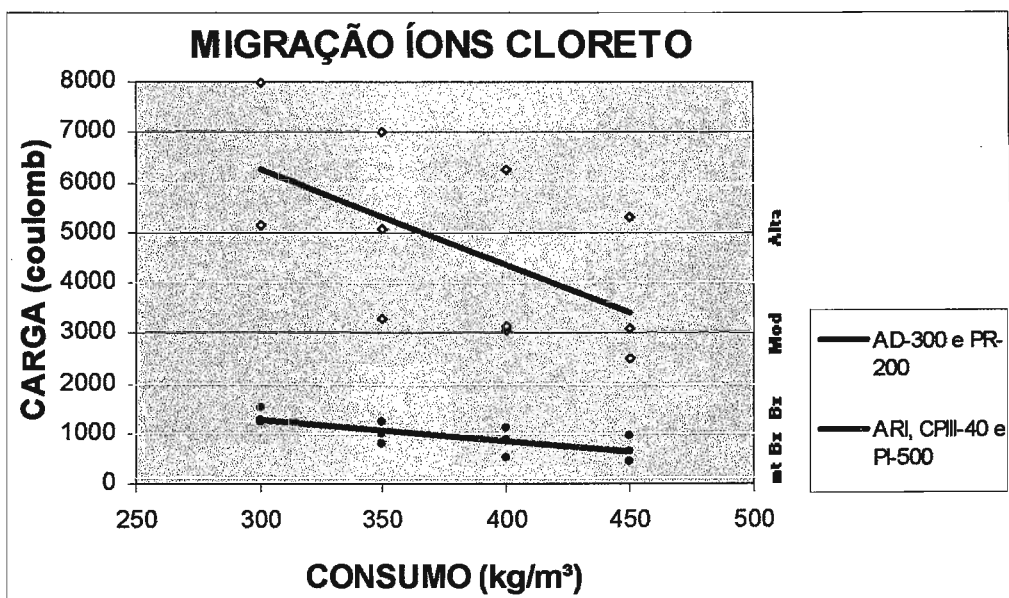


Figura 2 – Comparação de curvas de tendência de migração de íons cloreto conduzidas pelas duas “famílias de cimento”, com relação ao consumo.

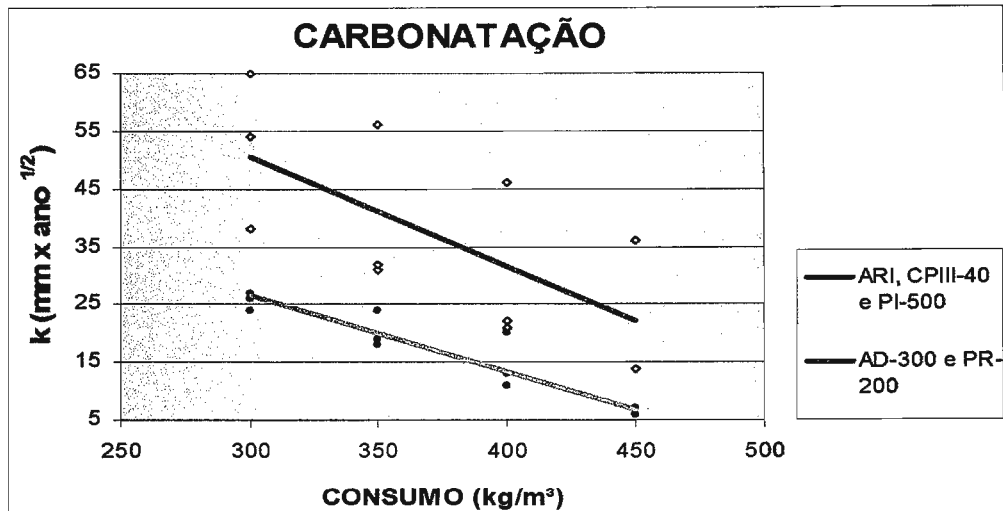


Figura 3 – Comparação de curvas de tendência de carbonatação conduzidas pelas duas “famílias de cimento”, com relação ao consumo.

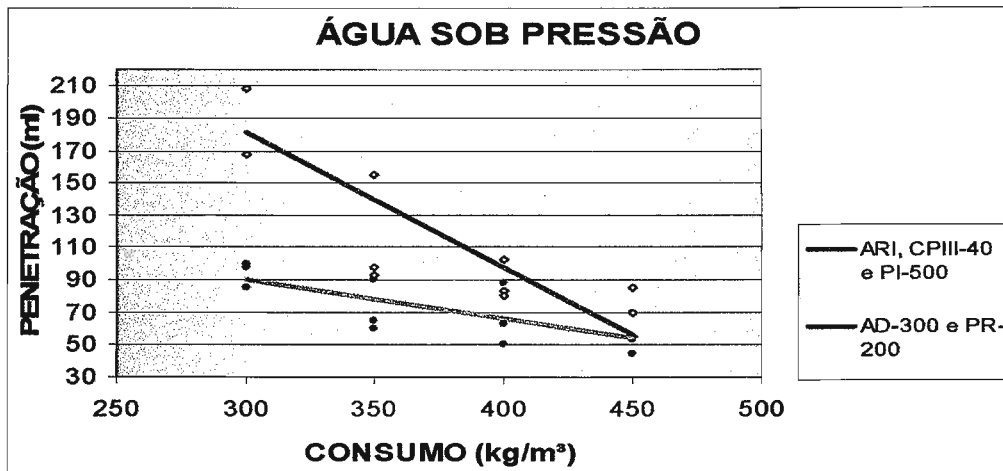


Figura 4 – Comparação de curvas de tendência de penetração de água sob pressão conduzidas pelas duas “famílias de cimento” em relação ao consumo.

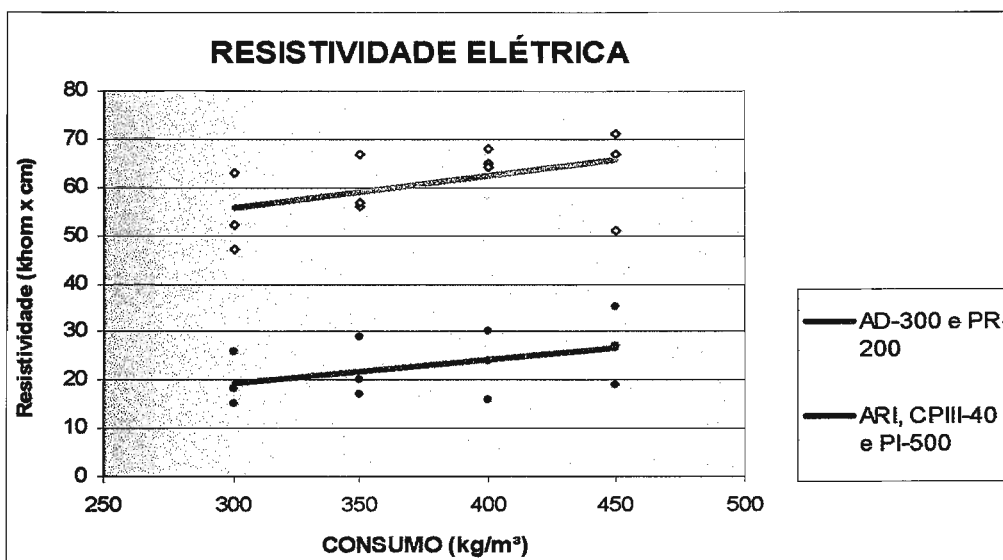


Figura 5 – Comparação de curvas de tendência de resistividade elétrica conduzidas pelas duas “famílias de cimento”, com relação ao consumo.

Quanto aos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial, nota-se que estão muito superiores aos historicamente observados para concretos projetados com esses teores de consumo de aglomerante, demonstrando que o uso de cimentos especiais seja bastante promissor.

## **5 – CONCLUSÕES**

A partir da análise dos resultados obtidos neste estudo experimental, verificou-se um ganho sensível no desempenho do concreto projetado por via seca, com o aumento de consumo de cimento, em todos os casos, conforme já era esperado, tanto no que se refere às propriedades associadas à durabilidade do concreto projetado, quanto à resistência mecânica. No entanto, o incremento dos parâmetros se mostrou muito mais expressivo em função do tipo de cimento do que em função do consumo, sendo possível caracterizar duas famílias de cimentos com comportamentos consideravelmente distintos. Na primeira família se encontram os cimentos DURACEM AD-300B, DURACEM AD-300C e DURACEM PR-200, com excelentes resultados, tanto quanto aos índices de durabilidade, como quanto à resistência mecânica. Na outra família se encontra o cimento especial DURACEM PI-500, juntamente com os cimentos convencionais CPIII-40/RS e CPV-ARI/RS, que apresentaram resultados inferiores aos primeiros. porém, isso não significa que estes tenham apresentado resultados comprometedores em relação ao que é encontrado atualmente no mercado, tanto que estão em conformidade com as especificações correntes.

Pode-se dizer que todas as proporções e todos os tipos de cimento, conduziram a níveis bastante satisfatórios de resistência, com excepcionais resultados dos cimentos DURACEM AD-300 e DURACEM PR-200, que proporcionaram níveis de resistência nunca antes observados.

O cimento DURACEM PI-500 conduziu a parâmetros semelhantes aos oferecidos pelos cimentos convencionais e inferiores aos conferidos pelos outros cimentos especiais. Isso pode ser explicado pela presença do aditivo acelerador de pega:<sup>(13)</sup> esse tipo de aditivo produz rápida aglutinação das partículas de cimento e, conseqüente, maior porosidade ao concreto. Assim sendo, apesar de acelerar a pega, esse cimento proporciona menores valores de resistência mecânica a médias e altas idades e menores índices de durabilidade.

Por outro lado, os bons resultados proporcionados pelos demais cimentos especiais podem ser atribuídos à granulometria mais fina e também às adições, que propiciam maior possibilidade de hidratação do aglomerante e, conseqüentemente, melhores os resultados esperados para resistência mecânica e parâmetros indicadores de durabilidade.

Cabe menção ao fato de que os resultados superiores obtidos neste trabalho, para os concretos elaborados cimentos especiais com adição de metacaulim, relativamente a parâmetros de trabalhos anteriores que envolveram o uso de adições de maneira artesanal,<sup>(16)(21)</sup> também remetem à convicção de que a adição industrial é muito mais favorável, evidentemente pela maior probabilidade de homogeneidade do produto.

Como conseqüência, pode-se, mediante o uso de cimentos especiais, obter concretos projetados mais resistentes e mais duráveis do que os elaborados com cimentos tradicionais em mesmos consumos, ou atingir parâmetros especificados com menores consumos que os atuais.

## REFERÊNCIAS

- 1 ABREU, J. V. et al. **Cimentos especiais para concreto projetado: novos desenvolvimentos a serviço da tecnologia**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 46. 2004, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: IBRACON, 2004.
- 2 ABREU, J. V.; MEZZALIRA, F. A.; CRUZ, L. O. M. **Brazilian special cements for shotcrete and injections in underground constructions**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM WATERPROOFING FOR UNDERGROUND CONSTRUCTIONS, São Paulo, 2004.
- 3 ABREU, J. V.; MEZZALIRA, F. A.; CRUZ, L. O. M. **Novas tecnologias de cimentos para aplicações especiais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 46. 2004, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: IBRACON, 2004.
- 4 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM 1272**: standard test method for chloride migration in concrete measurements. Philadelphia, 1996.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: argamassa e concreto: determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680**: extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 1997.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779**: argamassa e concreto endurecido: determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.
- 8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10787**: concreto endurecido: determinação da penetração de água sob pressão. Rio de Janeiro, 1994.
- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13070**: moldagem de placas para ensaios de argamassa e concreto projetados. Rio de Janeiro, 1994.
- 10 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14278**: concreto projetado: determinação da consistência através da agulha de proctor. Rio de Janeiro, 1999.
- 11 AUSTIN, S.A.; ROBINS, P.J. (Ed.). **Sprayed concrete**: properties, design and application. New York: McGraw-Hill, c1995.
- 12 BASÍLIO, F.A. **Durabilidade dos concretos**: permeabilidade e corrosão eletrolítica. 2. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1972. 48 p.
- 13 FIGUEIREDO, A. D. **Concreto projetado**: fatores intervenientes no controle da qualidade do processo. 1992. 284 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

- 14 FIGUEIREDO, A. D. **Parâmetros de controle e dosagem do concreto projetado com fibras de aço**. 1997. 342 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- 15 FIGUEIREDO, A. D.; ABREU, J. V.; CRUZ, L. O. M. Análise experimental de cimentos especiais em concreto projetado via seca para túneis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 46. 2004, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: IBRACON, 2004.
- 16 FIGUEIREDO, A. D.; LACERDA, C. S.; GALLO, G. Experimental evaluation of dry-mix shotcrete with metakaolin. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE FOR STRUCTURES, 5., 2005, Coimbra. **Proceedings...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2005.
- 17 FIGUEIREDO, A. D.; VIEIRA Jr., L. P. Shotcrete: standardization in Brasil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SHOTCRETE FOR UNDERGROUND SUPPORT, 8., 1999, Campos do Jordão. **Proceedings...** Campos do Jordão, 1999.
- 18 HELENE, P. R. L. La agresividad del medio y la durabilidad del Hormigón. **Hormigón**, AATH, n. 10, p. 25-35, ago. 1983.
- 19 HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. Tese (Livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- 20 HUSSAIN, S. E. et al. Chloride threshold for corrosion of reinforcement in concrete. **ACI Materials Journal**, Detroit, Michigan, p. 534-538, Nov-Dec. 1996.
- 21 LACERDA, C. S. **Estudo da influência da substituição de cimento Portland por Metacaulim em concretos**. 2005. 230 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- 22 MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, P. R. L. Migração de íons cloretos no concreto: influência da consistência, relação água/cimento e consumo de cimento. **Revista Ibracon**, São Paulo, p. 53-66, fev/abr 2003.
- 23 REGATTIERI, C. E. X. **Contribuição ao estudo da influência da dosagem do concreto na absorção capilar e na penetração de íons cloreto**. 1998. 237 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- 24 RILEM Technical Recommendations. CPC-18 measurement of hardened concrete carbonation depth. **Materials and Structures**, Paris, v. 21, n. 6, p. 453-455, nov. 1988.
- 25 POLDER, R. B. Test methods for on site measurement of resistivity of concrete: a RILEM TC-154 technical recommendation. **Construction and Building Materials**, Reigate, v.15, n. 2, p. 125-131, Mar. 2001.