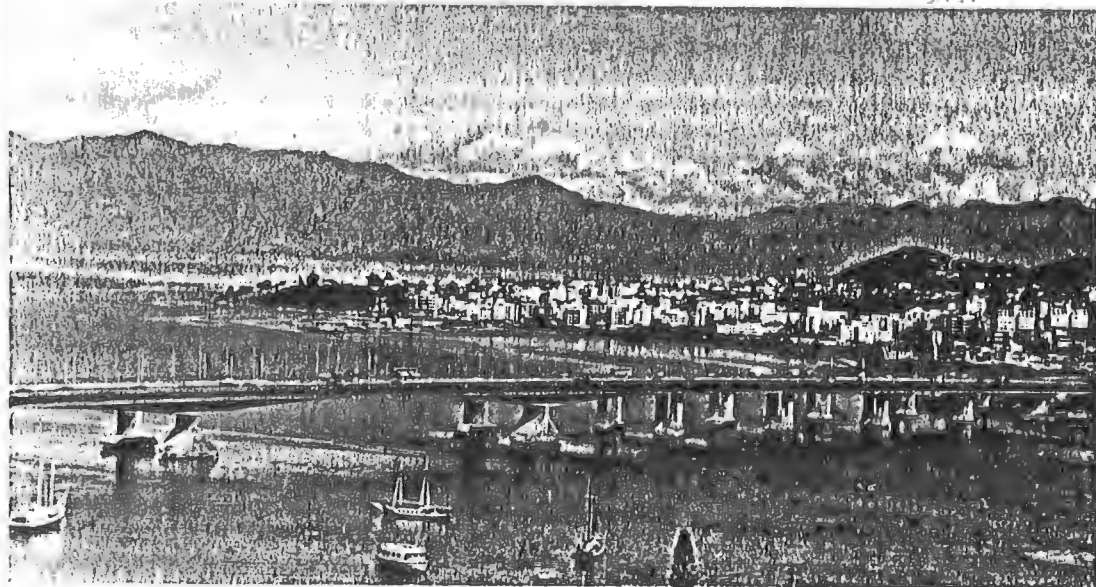


**INTERNATIONAL CONGRESS ON
HIGH-PERFORMANCE CONCRETE, AND
PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE
STRUCTURES**



**05 - 07th June, 1996
(FLORIANÓPOLIS - BRAZIL)**

**PROCEEDINGS OF THE
INTERNATIONAL CONGRESS ON
HIGH-PERFORMANCE CONCRETE, AND
PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE
STRUCTURES**

Publishers: Luiz Roberto Prudêncio Jr.
Paulo Roberto do Lago Helene
Denise Coitinho Carpena Dal Molin

**Universidade Federal de Santa Catarina - Depto de Eng^a Civil
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Depto de Eng^a de Construção Civil
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Depto de Eng^a Civil**

Florianópolis, SC, Brazil

05th to 07th June 1996

INTERNATIONAL CONGRESS ON
HIGH-PERFORMANCE CONCRETE, AND
PERFORMANCE AND QUALITY OF
CONCRETE
STRUCTURES

Florianópolis - Brazil

THIS EVENT IS SPONSORED BY:



PROMOTERS



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

SUPPORTING PROMOTERS



international
american concrete institute

ANTAC Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

CANMET CANADA CENTRE FOR MINERAL AND
ENERGY TECHNOLOGY



INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

SPONSORS



CAPES Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento
de Pessoal de Ensino Superior



*Sistema Federação das Indústrias
de Santa Catarina*



Organização Odebrecht



COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ



SPONSORS



A MARCA DE QUEM CONSTRÓI O BRASIL



ESSE PEGA FORTE!



PARA CONCRETOS DE ALTO DESEMPENHO

Grupo Camargo Corrêa S.A.



FOREWORD

The Concrete Technology field in Brazil has experienced remarkable development in recent decades. This surge may be partly attributed to the formation of Graduate Programs in some Brazilian universities. The Brazilian university with the longest tradition in this field is the Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programs developed more recently such as those at the Universidade Federal do Rio Grande do Sul and at the Universidade Federal de Santa Catarina have gained prominence on the national scene over the past ten years.

The excellent relationship among these three institutions has made possible the organization of the "International Congress on High-Performance Concrete and Performance and Quality of Concrete Structures". The purpose of this Congress is to present new developments and to transfer technology related to high-performance concretes, mix-design innovations and, the quality control of structural concrete. Another goal is to bring to Latin America some of the most outstanding international researchers in the Concrete Technology field.

The importance of this Congress is closely linked to the history of its planning. In December 1993 the Universidade Federal do Rio Grande do Sul organized the "Symposium on Quality and Durability of Concrete Structures" attended by a remarkable number of national researchers and by special guest Professor P. K. Mehta, from the University of California, Berkeley. After delivering the opening speech of the Symposium, Professor Mehta, one of the most outstanding researchers in the concrete field, took his seat in the auditorium and attended all of the presentations of the Brazilian researchers, which, upon his request, were translated by participants who sat by his side. At the end of the Symposium, Prof. Mehta was very impressed with the excellent level of the presentations and suggested to event coordinator Prof. Denise Dal Molin and other researchers around him, including Prof. Luiz Roberto Prudêncio Jr. of the Universidade Federal de Santa Catarina, that an international congress should be organized. Professor Mehta generously offered his help to make the event possible. Representatives from the three Brazilian universities mentioned above met with Prof. Mehta and preliminarily decided that the event would be held in Florianópolis, and that it should focus on the Durability of Concrete Structures.

Discussions and preparations evolved on this issue and in March, 1994, during the "Concrete Technology: Past, Present, and Future - V. Mohan Malhotra Symposium" held in San Francisco, California - USA, an agreement was signed between Prof. Paulo Helene from the Escola Politécnica de São Paulo and Prof. V. Mohan Malhotra to conduct the international congress in Brazil. On that occasion it was decided that the theme of the event would be more encompassing (High-Performance Concrete and Performance and Quality of Concrete Structures).

Two years were dedicated to organizing the congress and much effort was made to bring eleven of the most prestigious international experts in the field, to give the event the status desired by its creators. All this was possible thanks to the understanding and support given by several public and private institutions to which we would like to express our most sincere appreciation.

Finally, we hope that these Proceedings serve as an important reference document for new research and development in the field of Concrete Technology.

Prof. Luiz Roberto Prudêncio Jr.
Congress Coordinator

CONTENTS

HIGH-PERFORMANCE CONCRETE: PROPERTIES, APPLICATIONS AND CASE HISTORIES

• HIGH-PERFORMANCE CONCRETE TECHNOLOGY FOR THE FUTURE.....	1
P. Kumar Mehta	
• PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO FABRICADO COM DIVERSOS MATERIAIS.....	15
Adriana Alvarenga Ferrari, Jacqueline Maria Flor E José Márcio F. Calixto	
• RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE DE CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA.....	27
Paulo César C. Gomes, Lídia C.D. Shehata e Ivan R. Almeida	
• TIME-DEPENDENT MECHANICAL BEHAVIOR OF HIGH PERFORMANCE CONCRETES: CREEP AND SHRINKAGE.....	39
G. Carbonari, A. Aguado, R. Gettu and L. Agulló	
• EFFECT OF AGGREGATE TYPE ON THE BEHAVIOR OF HIGH STRENGTH CONCRETE	52
Graciela Giaccio and Raul Zerbino	
• ESTUDO DA FLUÊNCIA NO CONCRETO DE ELEVADO DESEMPENHO	61
Eduardo de Aquino Gambale, José Tomaz França Fontoura e Quintiliano Mascarenhas Guedes	
• AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE CONCRETO DE ELEVADO DESEMPENHO COM AGREGADO DE ESCÓRIA BRITADA DE ALTO-FORNO.....	70
João Guilherme Cerqueira Valois e José Clodoaldo da Silva Cassa	
• ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO REALIZADOS NO BRASIL.....	82
Ivan Ramalho de Almeida	
• CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO: APLICAÇÃO PIONEIRA EM BRASÍLIA - BRASIL	94
Eugênia Fonseca da Silva	
• PRESENTE Y FUTURO DEL HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA EN ESPAÑA.....	106
A. Aguado, R. Gettu and L. Agulló	
• EMPREGO DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO NA BAHIA - UM RELATO HISTÓRICO: INÍCIO - ESTÁGIO ATUAL - PERSPECTIVAS.....	118
Antônio Freitas da Silva Filho	
• PESQUISAS SOBRE CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA REALIZADAS NO RIO DE JANEIRO.....	126
Ibrahim A. E. M. Shahata, Lídia C. D. Shehata e Ivan Ramalho de Almeida	
• COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DO REPARO COM CONCRETO DE ELEVADO DESEMPENHO NO VERTEDOURO DA USINA HIDRELÉTRICA ILHA SOLTEIRA.....	133
Antônio René C. A. de Paula Leite, Miguel Normando Abdalla Saad e Paulo José Ribeiro de Oliveira	
• HIGH-PERFORMANCE GROUTS FOR INJECTION OF CONCRETE DAMS.....	142
Kaveh Saleh, Stéphane Tremblay, Richard Lapointe, and Jean-Pierre Lacasse	

SPECIAL CONCRETES: MIX-DESIGN, PRODUCTION, AND QUALITY CONTROL

• MIXTURE-PROPORTIONING OF LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE	154
Franois de Larrard	
• DOSAGEM DE MICROCONCRETOS E CONCRETOS DE ALTO DESEMPENHO: ESTUDO DE CASO.....	167
Marcos Vinicio Costa Agnesini e Laercio Ferreira e Silva	
• CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE CONCRETOS LEVES DE ALTA RESISTÊNCIA COM ARGILA EXPANDIDA, PRODUZIDOS NO BRASIL.....	178
Ana Catarina J. Evangelista, Lidia C. D. Shehata e, Ivan R. de Almeida	
• EARLY QUALITY CONTROL AND FORMWORK REMOVAL: THE EFFECT OF INITIAL SETTING TIME.....	190
S. Jalali and L. M. V. Santos	
• DEVELOPMENT OF LOW-HEAT HIGH-STRENGTH CONCRETE.....	202
K. Sakai and H. Watanabe	
• ESTUDO DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DE CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA COM E SEM ADIÇÕES DE SÍLICA ATIVA.....	213
Denise Carpena Coitinho Dal Molin e Paulo José Melaragno Monteiro	
• ADVANCED SHOTCRETE TECHNOLOGY IN AUSTRALIA.....	225
Nora Maria de Patta Pillar and Dr. N. Gowripalan	
• CONCRETO PROJETADO VIA ÚMIDA: METODOLOGIA DE DOSAGEM.....	237
Luiz Roberto Prudêncio Jr., Hugo S. Armelin e Francisco de Assis Souza Dantas	
• ESTUDO DE DOSAGEM DO CONCRETO PROJETADO VIA ÚMIDA REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO.....	248
Antônio D. de Figueiredo e Paulo Helene	
• EFFECTS OF TESTING VARIABLES ON THE STRENGTH OF HIGH-STRENGTH (90Mpa) CONCRETE CYLINDERS.....	260
Nicholas J. Carino	

PERFORMANCE OF HIGH-PERMANENCE CONCRETE STRUCTURES

• A MATERIAL AND STRUCTURAL DESIGN STRATEGY FOR HIGH PERFORMANCE CONCRETE STRUCTURES.....	272
R. N. Swamy	
• FLEXÃO EM VIGAS DE CONCRETO DE ELEVADO DESEMPENHO.....	287
Libânio M. Pinheiro e Inês S. Silva	
• PILARES DE CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA- DETERMINAÇÃO DA SEÇÃO RESISTENTE DE CONCRETO.....	297
Luis Roberto Sobreira de Agostini e Péricles B. Fusco	
• ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PILARES CIRCULARES DE CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA COM ARMADURA DE CONFINAMENTO HELICOIDAL E PILARES CIRCULARES DE SEÇÃO MISTA: TUBO METÁLICO E NÚCLEO DE CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA.....	306
Paschoal Perdão Jr. e Luiz R. S. de Agostini	
• CISALHAMENTO EM VIGAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA COM ABERTURAS NA ALMA.....	318
Maria Fernanda Longuim Pegoraro e Gilson Battiston Fernandes	

• O DESEMPENHO DAS ARMADURAS NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NAS VIGAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA.....	330
Gilson Battiston Fernandes e Péricles B. Fusco	
• ADERÊNCIA DO CONCRETO DE ELEVADO DESEMPENHO À ARMADURA.....	342
Vitor Antonio Ducatti e Vahan Agopyan	

DURABILITY OF CONCRETE STRUCTURES AND PROTECTION SYSTEMS

• APPLICATION OF RELIABILITY ANALYSIS TO ESTIMATE THE SERVICE LIFE OF LIGHTWEIGHT HIGH-STRENGTH CONCRETE SUBJECTED TO CORROSION.....	354
Mônica Prezzi and Paulo J. M. Monteiro	
• AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO DE COBRIMENTO A PARTIR DA GERAÇÃO DOS PRODUTOS DE CORROSÃO DAS ARMADURAS.....	367
Oswaldo Cascudo, Paulo Helene, Paulo Francinete Jr. e Eduardo A. Gambale	
• ESTUDO DA CAPACIDADE DE PROTEÇÃO DE ALGUNS TIPOS DE CIMENTOS NACIONAIS, EM RELAÇÃO À CORROSÃO DE ARMADURAS, SOB A AÇÃO CONJUNTA DE CO ₂ E ÍONS CLORETOS.....	379
Eliana Cristina Barreto Monteiro e Antônio Alberto Nepomuceno	
• COMPORTAMENTO QUANTO À DURABILIDADE DE TIPOS DE AÇO QUANDO SUJEITOS À CORROSÃO NO CONCRETO.....	390
Oswaldo Cascudo, Carlos O. Campos, Paulo Francinete Júnior, Silney G. Carvalho, Ubaldir L. Silva Jr. e Paulo Helene,	
• COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS UTILIZADAS PARA A DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO E ARGAMASSAS.....	402
Cláudio de Souza Kazmierczak e Zara Lindenmeyer	
• LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS NA REGIÃO CENTRO-OESTE NO BRASIL.....	414
Andréia Azeredo Nince e João Carlos Teatini de S. Clímaco	
• CONCRETE PERFORMANCE CRITERIA BASED ON MIGRATION TESTING.....	425
Odd E. Gjorv	
• INVESTIGAÇÃO COMPARATIVA DA INFLUÊNCIA DA ESCÓRIA DE ALTO FORNO NA CORROSÃO DAS ARMADURAS.....	433
Elton Bauer e Paulo Helene	
• CHLORIDE ION PENETRATION AND REINFORCEMENT CORROSION IN HIGH PERFORMANCE CONCRETE (HPC) CONTAINING SILICA FUME.....	445
N. Gowripalan and H. M. Mohamed	
• SUPERCOVER CONCRETE: A NOVEL SYSTEM FOR ELIMINATING OF REINFORCEMENT CORROSION IN CONCRETE STRUCTURES.....	456
C. Arya	
• ELASTOMERIC WATERPROOFING MEMBRANES... SITE FACTORS INFLUENCING QUALITY OF INSTALLED SYSTEMS.....	467
N. P. Mailvaganam and P. G. Collins	
• CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM VISTA A SUA DURABILIDADE.....	480
Carlos Eduardo Xavier Regattieri, Maristela G. da Silva, Paulo Helene e José Vanderlei de Abreu	
• AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA FRENTE AOS CI DE REVESTIMENTOS APLICADOS SOBRE ARMADURAS CORROÍDAS.....	492
Enio P. Figueiredo, Carmen Andrade e Paulo Helene	

ADMIXTURES: PROPERTIES AND INFLUENCE ON CONCRETE PERFORMANCE

• THE INFLUENCE OF RAW MATERIALS ON THE PERFORMANCE OF REACTIVE POWDER CONCRETE.....	502
Luigi Coppola, Roberto Troli, Tiziano Cerulli e Mario Collepari	
• CALCIUM NITRATE- A MULTIFUNCTIONAL CONCRETE ADMIXTURE.....	514
Harald Justnes and Erick C. Nygaard	
• FROST RESISTING AND WATERPROOF FINE-GRAINED SLAG ASH CONCRETE FOR ROOFS OF RESIDENTIAL STRUCTURES.....	526
Stanislav Pavlenko and Arnold Permyakov	
• PROPERTIES OF CEMENTITIOUS MORTARS CONTAINING MSW COMBUSTION RESIDUES.....	533
Raimondo Quaresima, A. Baccante, G. Corradini, G. Scoccia, F. Veglio and R. Volpe	
• DIFFERENT STEAM CURING CONDITIONS EFFECTS ON COMPRESSIVE STRENGTH OF SLAG CEMENT.....	542
G. Camarini and M. A. Cincotto	
• VALIDADE DO ENSAIO DE PENETRAÇÃO DE CLORETOS (ASTM C1202) PARA A AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE CONCRETO DE ELEVADO DESEMPENHO COM POZOLANAS.....	554
Geraldo C. Isaia	
• A INFLUÊNCIA DE UM INIBIDOR À BASE DE NITRATO DE CÁLCIO SOBRE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA COM MICROSSÍLICA.....	566
Paulo M. Pereira Neto, Renato L. M. Fonseca e João G. Djanikian.	
• EFEITO SINÉRGICO DE MISTURAS TERNÁRIAS DE CINZA VOLANTE, CINZA DA CASCA DE ARROZ E MICROSSÍLICA NA DURABILIDADE DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO.....	578
Geraldo C. Isaia	
• ESTUDO DE CONCRETOS COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA (MICROSSÍLICA) FRENTE AO ATAQUE DE AGENTES AGRESSIVO PARA EMPREGO EM PISOS ESPECIAIS.....	590
Denise C. C. Dal Molin e Marlova P. Kulakowski	
• CEMENT AND CONCRETE ADMIXTURES FOR HIGH-PERFORMANCE CONCRETE: ASTM AND ACI SPECIFICATIONS AND STANDARDS.....	599
V. M. Malhotra	

de Larrard F., Fau D., BETONMIX - Software for computer-aided mix-design of concrete, Research Engineers (Europe) Ltd, London, June, 1994..

de Larrard F., Le Roy R., The Influence of Mix-Composition on the Mechanical Properties of Silica-Fume High-Performance Concrete, 4th International ACI-CANMET Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, ACI SP 132-52, V.M. Malhotra ed., Istanbul, May, 1992..

Gaudon P., Struillou R., Recherche sur la résistance mécanique des bétons légers, Granulats et bétons légers - bilan de 10 ans de recherche, pp. 59-68.

Haug A.K., Sandvik M., Mix-Design and Strength Data for Concrete Platforms in the North Sea, 2nd International Conference on Concrete in Marine Environment, St. Andrews by-the-Sea, Canada, ACI SP-109-22, V.M. Malhotra ed., 1988.

Hoff G.C., High-Strength Lightweight Aggregate Concrete for Arctic Applications - Part 1, 2 and 3, Structural Lightweight Aggregate Concrete Performance, ACI SP 136-1,-2,-3, pp. 1-246, Dallas, November, 1991.

International Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete, Standefjord (Norway), June, 1995.

Lange C., Cochard A., Pont de l'Elorn - Béton léger BL 32 pour le béton précontraint du tablier, Rapport d'étude, CEBTP Rennes, Dossier 8132 6 923, July, 1991.

Le Bris J., Redoulez P., Augustin V., Torrenti J.M., De Larrard F., High-Performance Concrete at the Elorn Bridge, ACI Fall Meeting, Session High Performance Concrete in Severe Environments, Minneapolis, SP 140-4, P. Zia ed., November, 1993.

Merrien P., Mise en oeuvre du béton léger par pompage: exemple du pont de Maisons-Alfort, Granulats et bétons légers - bilan de 10 ans de recherche, pp. 447-452.

Sedran T., de Larrard F., RENé-LCPC: a software to optimize the mix-design of High-Performance Concrete, BHP 96, 4th International Symposium on the Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, Paris, F. de Larrard & R. Lacroix ed., May, 1996.

Virlogeux M., Généralités sur les caractères des bétons légers, Granulats et bétons légers - bilan de 10 ans de recherche, pp. 111-246.

Wiig M., Lightweight aggregates (LWA) in high-strength concrete: application in long-span bridge construction. FIP notes, Vol.4, 1992.

DOSAGEM DE MICROCONCRETOS E CONCRETOS DE ELEVADO DESEMPENHO ESTUDO DE CASO

129 8111
A 212 de Agnesini, Marcos Vinício Costa
Silva, Laércio Ferreira e 129 1112
Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos
São Carlos - São Paulo - Brasil

RESUMO

Neste trabalho, são apresentados resultados de dosagem experimental de microconcretos ($D_{max} = 9,5 \text{ mm}$) e de concretos ($D_{max} = 19 \text{ mm}$). Estes concretos foram produzidos com os seguintes materiais: tres tipos de cimento Portland - Composto com Escória de Alto Forno (ABNT:CPII-E-32), de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI) e de Alta Resistência Inicial - Resistente a Sulfatos (CPV-ARI-RS); agregados: (normalmente utilizados na região de São Carlos- Estado de São Paulo- Brasil), areia natural quatzosa; agregado graúdo proveniente de basalto britado; aditivos superplastificantes e adição de microsilica. Foram obtidas resistências próximas de 100 MPa, utilizando-se corpos-de-prova cilíndricos de 75 x 150 mm e de 100 x 200 mm. O elevado desempenho fica também caracterizado, no que diz respeito à sua maior durabilidade, face aos reduzidos valores da relação água/cimento. São determinadas, ainda as curvas específicas de resistência para os materiais em questão.

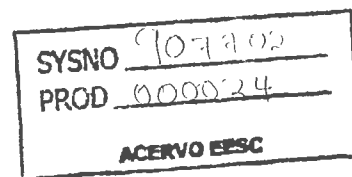
ABSTRACT

In this paper, results of microconcretes ($D=9,5\text{mm}$) and concretes ($D=19\text{mm}$) mix design are determined. These concretes were produced with the following materials: three types of Portland cement: blast-furnace slag composed cement (Brazilian Standart- ABNT:CPII-E-32), High Initial Strength (ABNT: CPV-ARI) and High Initial Strength - Sulphate Resistant (ABNT- CPV-ARI-RS); aggregates: (normally employed in São Carlos- São Paulo State - Brazil), natural sand and crushed basalt gravel; superplasticizer admixture and silica fume as addition. Strengths up to 100 MPa were obtained through cilíndric specimens 75 x 150 mm and 100 x 200 mm, characterizing the High Performance Concrete, in what concerns its high durability, due to the values of the water/cement ratio. The specific strength diagrams for the materials used are also determined.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a tecnologia do chamado Concreto de Elevado Desempenho (CED) constitui-se em área extremamente importante para a Engenharia de Estruturas, visto que, a sua aplicação resulta em obras com grandes vantagens quanto ao custo, concepção arquitetônica e durabilidade. O Concreto de Elevado Desempenho segundo Amaral Filho (1992), é caracterizado em função do valor da resistência característica mínima à compressão de 50MPa.

No Brasil, o interesse pela aplicação do CED, principalmente na faixa de resistência de 40 a 90 MPa, tem sido cada vez maior, na execução de grandes estruturas, edifícios, componentes pré-



fabricados e pisos industriais. Na região abrangida pelo presente estudo (Centro-Norte do Estado de São Paulo), o interesse por esta tecnologia é crescente, tendo em vista, a demanda por obras de maior porte, considerando-se as vantagens técnico-econômicas oferecidas pelo CED. Anteriormente ao seu advento, as usinas de concreto desta região (e por extensão em todo o país), praticamente, só forneciam os produtos com f_{ck} de no máximo 20 MPa. Hoje, há uma tomada de consciência para a adaptação de dosagem e produção de concreto às novas necessidades do mercado consumidor.

OBJETIVOS

O presente trabalho tem, portanto, como objetivo a apresentação de um estudo de dosagem de microconcretos e concretos (de dimensões máximas características respectivamente de $D_{max}=9,5mm$ e $D_{max}=19mm$) com materiais disponíveis na região de São Carlos - SP. É direcionado, principalmente, para a indústria de pré-moldados, bem como, às empresas de serviços de concretagem. Evidentemente, poderá ser estendido, com as devidas adaptações, a qualquer região, com o emprego de materiais diferentes daqueles utilizados na presente pesquisa.

A faixa de resistência abrangida na dosagem, refere-se a concretos com f_{ck} variando de 50 a 90 MPa, produzidos com cimentos Portland dos tipos: CII-E-32, CPV-ARI e CPV-ARI-RS, agregado miúdo natural de origem fluvial e quartzosa, agregado graúdo resultante de britamento de rochas basálticas, aditivos superplastificantes dos tipos SP e SPA (segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT) e adição de microssilica. O aditivo do tipo SPA foi particularmente utilizado para aplicação do CED em indústrias de componentes pré-fabricados de pequena espessura, objetivando-se, com isso, desformas rápidas.

As resistências à compressão foram obtidas em corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 75 x 150 mm (para $D_{max}=9,5mm$) e 100 x 200 mm (para $D_{max}=19mm$), com base em pesquisa anterior desenvolvida pelos autores deste - Agnesini & Silva (1994).

CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES

Cimento Portland

Na produção dos concretos foram empregados três tipos de cimento: cimento Portland composto com escória de alto forno, CII-E-32; cimento Portland de alta resistência inicial, CPV-ARI e cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos, CPV-ARI-RS. As características físicas e mecânicas destes cimentos, respectivamente prescritas pelas NBR-11.578, NBR-5733 e NBR-5737, estão respresentadas na tabela 1 (Ciminas S.A. - 1995)

Agregado Miúdo

Na dosagem do CED foi utilizada uma areia natural quartzosa, proveniente do Rio Mogi-Guaçu- Município de São Carlos - SP, a qual apresentou as seguintes características:

-Composição granulométrica (NBR 7217)- correspondente a granulometria fina- zona 2 (NBR-7211), com Dimensão Máxima Característica, $D_{max}= 2,4mm$ e Módulo de Finura, $MF= 2,4$.

Tabela 1: Características dos Cimentos

Características e Propriedades		Un.	Tipos de cimento		
			CII-E32	CPV-ARI	CPV- RS
Finura	Resíduo # 200 (NBR-11579)	%	3,1	0,3	0,1
	Sup. Esp. Blaine (NBR-7224)	m^2/kg	340	451	475
Tempo de Pega	Início (NBR-11581)	min	165	128	185
	Fim (")	min	246	190	264
Expansibilidade a quente (NBR-11582)		mm	-	-	0,4
Resistência à Compressão (NBR-7215)	1 dia	MPa	-	28,4	20,3
	3 dias	MPa	24,0	42,3	33,2
	7 dias	MPa	30,0	46,7	40,0
	28 dias	MPa	40,0	55,1	52,0

-Substâncias nocivas - o agregado miúdo preencheu todos os requisitos da norma NBR-7211, quanto à presença de substâncias nocivas ao concreto.

-Índices Físicos- massa específica (NBR-9776) = $2,63 kg/dm^3$, massa específica no estado solto-areia seca (NBR-7251) = $1,52 kg/dm^3$.

-Forma dos Grãos- número de angulosidade médio (British Standard - BS 812) = 6,5 e índice de esfericidade médio = 0,60.

Agregado graúdo

Empregou-se agregado artificial, resultante do britamento de basalto de pedreira da cidade de São Carlos - SP, o qual apresentou as seguintes características:

-Composição granulométrica (NBR 7217)- foram utilizadas britas de graduação 0 e 1, com Módulo de Finura- $MF = 5,11$ e $6,11$ respectivamente para os microconcretos ($D_{max} = 9,5 mm$) e concretos ($D_{max} = 19 mm$).

-Substâncias nocivas-o agregado graúdo preencheu todos os requisitos da norma NBR-7211, quanto à presença de substâncias nocivas ao concreto.

-Índices Físicos- massa específica (NBR-9776) = $2,90 kg/dm^3$, massa unitária no estado solto (NBR-7251) Brita 0 = $1,47 kg/dm^3$, Brita 1 = $1,49 kg/dm^3$; massa unitária no estado compactado seco (NBR-7810) Brita 0 = $1,67 kg/dm^3$, Brita 1 = $1,68 kg/dm^3$

-Forma dos Grãos- o índice de forma (NBR-7809) apresentou para o agregado em questão valor inferior a 3, portanto enquadrado na respectiva especificação (NBR-7211).

Aditivo

O aditivo utilizado nesta pesquisa foi o Superplastificante de pega normal com elevado efeito redutor de água, tipo SP, segundo a classificação da ABNT (NBR-11.768). Para o estudo particular, objetivando desformas rápidas em pré-fabricados com microconcretos de pequena espessura, utilizou-se o aditivo Superplastificante acelerador de pega, classificado como SPA (NBR-11.768).

Adição

A microssilica é procedente da fábrica de Sorocaba - SP, da empresa Ciminas S.A. - Grupo Holdenbank, apresentando as seguintes características : teor de sílica = 85%, superfície específica = $15,2 m^2/g$ e massa específica = $2,22 kg/dm^3$

DOSAGEM DO CED

Os microconcretos e concretos de elevado desempenho, objeto do presente trabalho, foram dosados com relações água/cimento variando de 0,28 a 0,42, correspondendo a relações água/cimento + microssilica de 0,24 a 0,36. Inicialmente pesquisou-se, para cada cimento, agregados típicos da região em estudo e para dimensões máximas características de 9,5mm e 19mm, os teores de água/materiais secos (A%), com consistências fixadas pelo espalhamento (NBR-7215) de 160 ± 10 mm e abatimento de 75 ± 10 mm (NBR-7223), respectivamente. Esses valores foram adotados, considerando-se a trabalhabilidade requerida para microconcretos destinados a pré-moldados e concretos usinados para estruturas correntes. Com isso, tem-se os valores de A% constantes da Tabela 2.

Tabela 2- Teor Água/materiais secos de microconcretos e concretos - A (%)

Tipo de Cimento	D _{máx} = 9,5 mm	D _{máx} = 19 mm
CPII- E- 32	7,6	7,0
CPV- ARI	7,8	7,2
CPV- ARI- RS	8,0	7,4

A dosagem de microssilica foi de 15%, em relação à massa de cimento, para microconcretos e 10% para concretos, teores estes obtidos experimentalmente para as referidas características. Pesquisou-se, também, as dosagens ótimas de aditivos, obtendo-se aos teores respectivos de 1,5% e 1,3% do líquido em relação à massa de cimento. O teor de argamassa determinado experimentalmente corresponde a 50%, função do valor mínimo do índice de vazios (43%) da matriz formada pelo agregado graúdo, conduzindo, assim, a concretos otimizados quanto à trabalhabilidade e compacidade. Nestas condições, obteve-se a Tabela 3, contendo os traços em massa dos concretos.

O estudo de microconcretos para pré-fabricados, visando desformas rápidas, foi realizado com os mesmos traços do caso anterior, com cimento CPV-ARI, contendo 1,5% de aditivo SPA.

Tabela 3- Traços em massa dos microconcretos e concretos

Tipo de cimento	D _{máx} = 19 mm			D _{máx} = 9,5 mm		
	I: a : p	a/c	a/c+ms	I: a : p	a/c	a/c+ms
CPII-E-32	1 : 1,00 : 1,95	0,31	0,28	1 : 0,75 : 1,75	0,28	0,24
	1 : 1,25 : 2,50	0,34	0,31	1 : 1,20 : 2,20	0,34	0,30
	1 : 1,70 : 2,90	0,38	0,35	1 : 1,65 : 2,60	0,40	0,35
CPV- ARI	1 : 1,00 : 1,95	0,31	0,28	1 : 0,75 : 1,75	0,30	0,26
	1 : 1,25 : 2,50	0,34	0,31	1 : 1,20 : 2,20	0,35	0,30
	1 : 1,70 : 2,90	0,37	0,34	1 : 1,65 : 2,60	0,41	0,36
CPV- RS	1 : 1,00 : 1,95	0,32	0,30	1 : 0,75 : 1,75	0,31	0,27
	1 : 1,25 : 2,50	0,36	0,33	1 : 1,20 : 2,20	0,35	0,30
	1 : 1,70 : 2,90	0,39	0,35	1 : 1,65 : 2,60	0,40	0,35

PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

Para cada cimento e para cada traço, foram moldados 5 corpos-de-prova, cujas resistências permitiram o traçado das funções específicas $f_{cj} = F(a/c)$, a partir das quais, pode-se promover as dosagens de concretos, conforme a proposta inicial deste trabalho.

Os microconcretos foram preparados em misturadores planetários e os concretos em betoneiras de eixo inclinado, sendo os materiais secos colocados inicialmente na cuba, com parte da água e posteriormente adicionada uma lama previamente misturada, formada pela microssilica, o restante da água mais o aditivo. O adensamento foi promovido através de mesa vibratória, com colocação de duas camadas, tanto para os corpos-de-prova de 75 x 150 mm (microconcretos), como para os de 100 x 200 mm (concretos D_{máx}=19mm).

Os corpos-de-prova, assim preparados, após a desforma, foram colocados em câmara úmida até as respectivas datas de ruptura: 3, 7 e 28 dias para o CPII- E- 32 e 1, 3 e 28 dias para os cimentos CPV- ARI. Os corpos-de-prova da série com CPV- ARI e aditivo SPA foram ensaiados com idades de 8 horas, 12 horas e 24 horas e também para 28 dias.

RESULTADOS

As tabelas 4 e 5 e as figuras de 1 a 6 e de 8 a 10, a seguir, contém os resultados das resistências à compressão dos microconcretos (D_{máx} = 9,5 mm), determinadas em corpos-de-prova de 75 x 150 mm e dos concretos (D_{máx} = 19 mm - corpos-de-prova de 100 x 200 mm).

Tabela 4 - Resistências à compressão de microconcretos (D_{máx} = 9,5 mm)

Tipo de Cimento	Características		Resistências à Compressão - MPa				
	Relação a/c (kg/kg)	Consumo Cimento (kg/m³)	Idade de Ruptura				
			1 Dia	3 Dias	7 Dias	28 Dias	v * %
CPII- E- 32	0,28	650	-	51,6	64,7	81,0	2,2
	0,34	515	-	41,5	62,2	73,1	
	0,40	433	-	36,2	54,1	70,2	
CPV- ARI	0,30	641	49,8	66,5	-	94,6	2,1
	0,35	513	41,4	55,5	-	89,8	
	0,41	433	36,9	46,9	-	79,2	
CPV-ARI- RS	0,31	637	38,3	61,6	-	93,2	2,1
	0,35	513	33,5	54,5	-	85,3	
	0,40	433	26,5	42,6	-	76,5	

Tabela 5 - Resistências à compressão de concretos (D_{máx} = 19 mm)

Tipo de cimento	Características		Resistências à Compressão - MPa				
	Relação a/c (kg/kg)	Consumo Cimento (kg/m³)	Idade de Ruptura				
			1 Dia	3 Dias	7 Dias	28 Dias	v * %
CPII- E- 32	0,31	575	-	39,7	56,5	75,4	1,6
	0,34	488	-	36,7	53,4	68,3	
	0,38	415	-	32,4	46,0	64,0	
CPV- ARI	0,31	575	39,3	57,5	-	83,4	1,2
	0,34	488	31,8	52,6	-	80,0	
	0,37	415	29,3	50,1	-	73,6	
CPV- ARI- RS	0,32	572	23,5	46,1	-	76,2	1,5
	0,36	483	22,4	45,8	-	71,2	
	0,39	413	21,5	40,0	-	70,0	

*v = Coeficientes de variação médios para 28 dias

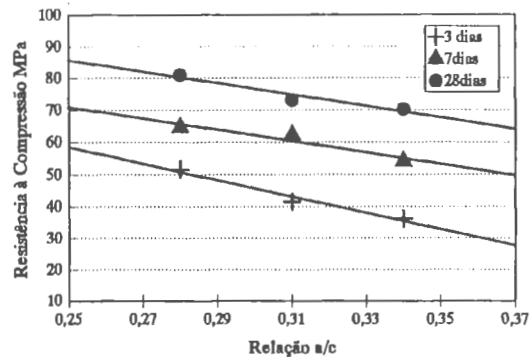


Figura 1 - Resistência do Concreto - Dmax=9,5mm
Cimento tipo CII-E-32

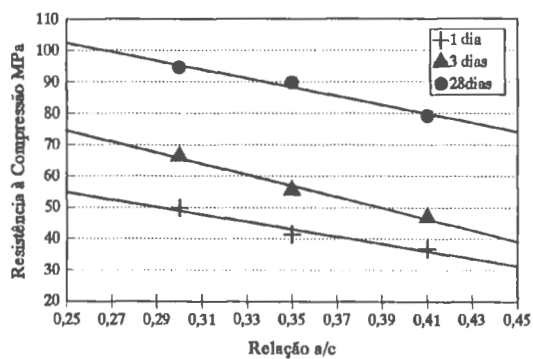


Figura 2 - Resistência do Concreto - Dmax=9,5mm
Cimento tipo CPV-ARI

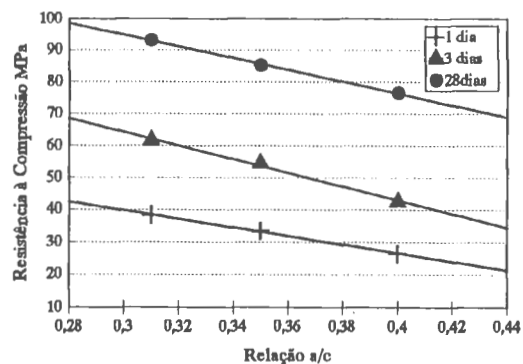


Figura 3 - Resistência do Concreto - Dmax=9,5mm
Cimento tipo CPV-ARI-RS

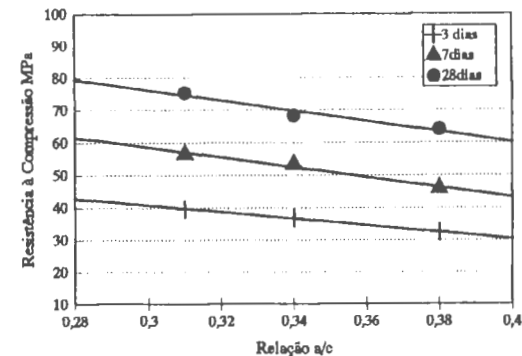


Figura 4 - Resistência do Concreto - Dmax=19mm
Cimento tipo CII-E-32

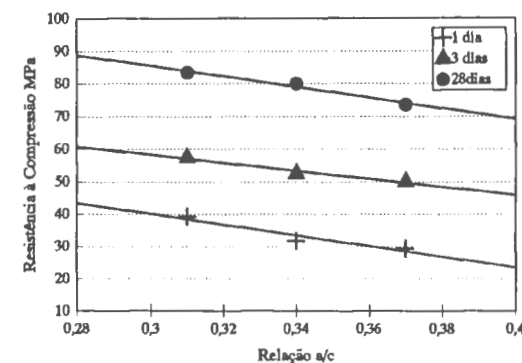


Figura 5 - Resistência do Concreto - Dmax=19mm
Cimento tipo CPV-ARI

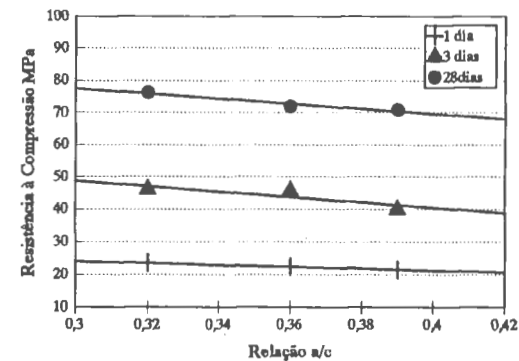


Figura 6 - Resistência do Concreto - Dmax=19mm
Cimento tipo CPV-ARI-RS

A tabela 6 e as figuras 7 e 11 indicam os resultados obtidos para os microconcretos destinados a pré-moldados (desformas rápidas).

Tabela 6 - Resistências à compressão de microconcretos com aditivo superplastificante acelerador de pega SPA

Traço em massa			Resistências à compressão (MPa)			
1 : a : p	a/c	a/c + ms	8 horas	12 horas	24 horas	28 dias
1 : 0,75 : 1,75	0,31	0,27	8,8	30,8	47,3	103,0
1 : 1,20 : 2,20	0,37	0,32	4,3	27,6	40,5	93,7
1 : 1,65 : 2,60	0,42	0,36	3,0	20,8	30,5	84,2

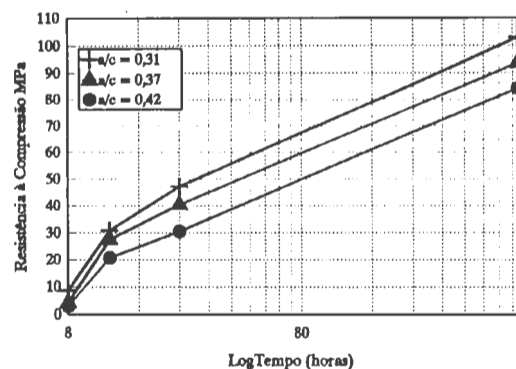


Figura 7 - Resistência do Concreto x tempo - Dmax=9,5mm Cimento tipo CPV-ARI

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos na pesquisa possibilitam as seguintes conclusões, quanto à dosagem de microconcretos e concretos produzidos com os cimentos CPII-E-32, CPV-ARI e CPV-ARI-RS, agregados da região de São Carlos- SP; aditivo superplastificante do tipo SP e adição de microfílica:

- Pode-se, com os materiais estudados, obter concretos de elevado desempenho, através de procedimentos normais de produção, mas sempre com exigência de controle rigoroso.

- Independente do tipo de cimento e dimensão máxima característica (Dmax), para a relação água/cimento máxima admitida na dosagem ($a/c = 0,40$), foram verificadas resistências à compressão sempre superiores a 60 MPa, aos 28 dias de idade ($f_{ck} \geq 50$ MPa). Observar figuras 8, 9 e 10.

- O melhor desempenho foi obtido para os CPV-ARI e CPV-ARI-RS. Portanto, deve-se dar preferência para estes cimentos na dosagem do CED, em relação ao CPII-E-32, embora este último também tenha possibilidade de produzir concretos dentro das características desejadas. A resistência máxima, na faixa estudada, para microconcretos com CPV-ARI, relação $a/c = 0,30$, foi da ordem de 95 MPa, aos 28 dias (conforme figuras 2, 3, 5, 6, 9 e 10).

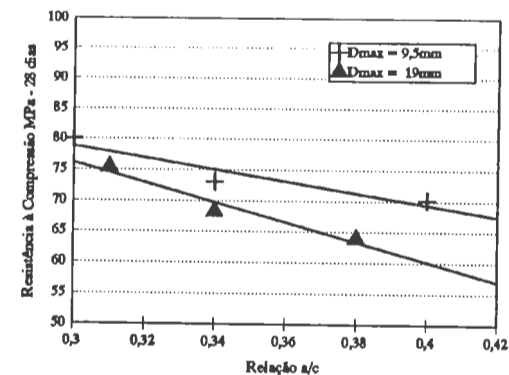


Figura 8 - Resistência do Concreto x Relação a/c Cimento tipo CPV-ARI

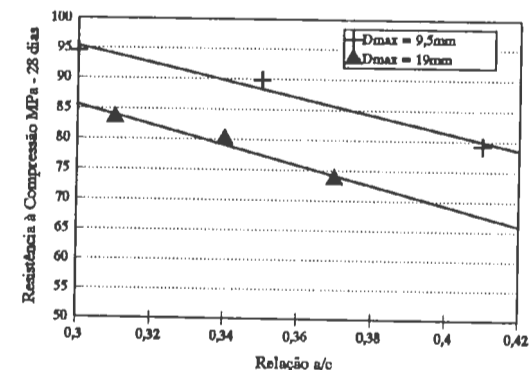


Figura 9 - Resistência do Concreto x Relação a/c Cimento tipo CPV-ARI

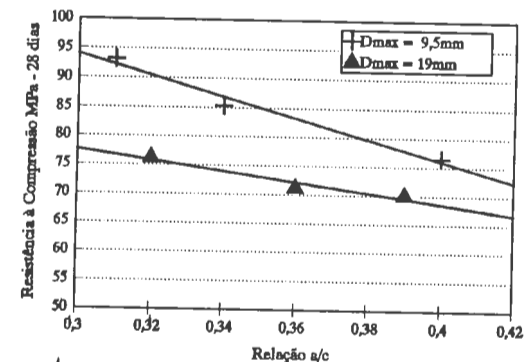


Figura 10 - Resistência do Concreto x Relação a/c Cimento tipo CPV-ARI-RS

- Os microconcretos ($D_{\text{máx}} = 9,5\text{mm}$) apresentaram resistências superiores às dos concretos ($D_{\text{máx}} = 19\text{mm}$), produzidos com as mesmas relações a/c, conforme pode-se observar nas figuras 8, 9 e 10.

- As relações a/c (máxima de 0,40) conduzem a concretos altamente compactos, e portanto, com boa durabilidade, mesmo considerando-se os meios mais agressivos.

Da observação das figuras 7 e 11, relativas aos microconcretos para pré-fabricados (desformas rápidas), pode-se concluir o que se segue:

- Foram obtidas resistências iniciais elevadas nas primeiras horas; assim, por exemplo, com 8 horas, os microconcretos de relação a/c = 0,31 apresentaram resistência da ordem de 10 MPa, permitindo desformas extremamente rápidas. Neste caso, não é necessário o emprego de cura térmica, o que pode ser considerado como grande vantagem do ponto de vista econômico.

- Com 12 horas de idade, para todas as dosagens, obteve-se resistências superiores a 20 MPa, facilitando a manipulação e armazenamento das peças.

- Com 1 dia de idade, todos os concretos apresentaram resistências superiores a 30 MPa, propiciando o rápido transporte das peças da usina para a obra.

- Há que se acrescentar, que as resistências aos 28 dias permanecem elevadas, superando a marca de 100 MPa para dosagens mais ricas.

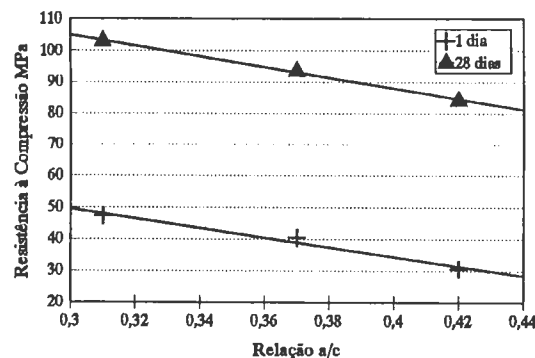


Figura 11 - Resistência Microconcretos x Relação a/c
Cimento tipo CPV-ARI c/ Aditivo SPA

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE DOSAGEM DO CED

Com base nas funções $f_{cj} = F(a/c)$, indicadas nas figuras 8, 9, 10 e 11, apresenta-se a seguir alguns casos práticos ilustrativos de dosagem do CED, para os materiais em estudo, levando-se em conta o critério da resistência, visto que está garantida a boa durabilidade, face às baixas relações a/c $\leq 0,40$. Todavia, para concretos em meios agressivos, recomenda-se o emprego do cimento CPV-ARI-RS.

Exemplo 1

Dados: concreto usinado, $D_{\text{máx}} = 19\text{mm}$, abatimento = 75 ± 10 mm, cimento CII-E-32, $f_{ck} = 60$ MPa. Calculando-se inicialmente o valor de f_{c28} , através da expressão $f_{c28} = f_{ck} + 1,65 s_d$, e adotando-se $s_d = 4$ MPa (condição A-ABNT), obtém-se $f_{c28} = 67$ MPa. Pela figura 8, determina-se o valor de a/c = 0,35. Admitindo-se o teor de água/materiais secos = 7,0% (tabela 2) e teor de argamassa seca de 50% (valor ótimo encontrado pelo método proposto), chega-se ao traço final procurado (consumo de cimento C = 460 kg/m³):

1 : 1,50 : 2,50 : a/c=0,35 : 10% ms : 1,3% aditivo SP.

Exemplo 2

Dados: microconcreto para pré-fabricados, $D_{\text{máx}} = 9,5\text{mm}$, espalhamento (flow table) = 160 ± 10 mm, cimento CPV-ARI, aditivo superplastificante SPA, $f_{ck} = 80$ MPa. Calculando-se inicialmente o valor de f_{c28} , através da expressão $f_{c28} = f_{ck} + 1,65 s_d$, e adotando-se $s_d = 4$ MPa (condição A-ABNT), obtém-se $f_{c28} = 87$ MPa. Pela figura 11, determina-se o valor de a/c = 0,40. Admitindo-se o teor de água/materiais secos = 7,8% (tabela 2) e teor de argamassa seca de 50%, chega-se ao traço final procurado (consumo de cimento C = 440 kg/m³):

1 : 1,56 : 2,56 : a/c=0,40 : 15% ms : 1,5% aditivo SPA.

Observa-se, pela tabela 6 e figura 7, que este microconcreto apresenta resistência da ordem de 4,0 MPa com 8 horas, e de 25 MPa com 12 horas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as Empresas do Grupo Holderbank, Ciminas S.A. e H^c Holderchem pela cessão dos cimentos, microsilica e aditivos, o que permitiu a realização da presente pesquisa de forma plenamente satisfatória.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Normas, Especificações e Métodos de Ensaio para Cimento, Concreto e Agregados.

Amaral Filho, E. M. - Concreto de alta resistência. Revista IBRACON, n. 4, Ano 2, Abril/Maio/Junho/1992, pp. 40-49.

Agnesini, M. V. C. ; Silva, L. F. e - Controle da resistência à compressão do concreto: estudo de utilização de corpos-de-prova cilíndricos de dimensões reduzidas. In: Reunião Anual do IBRACON, 36. Porto Alegre, 1994. ANAIS: São Paulo, IBRACON, 1994, vol. 2, pp. 897-910.

Ciminas S.A.- Relatório Semanal de ensaios de cimento. Emissão 14/09/95

H^c Holderchem - Boletim técnico sobre aditivos - 1995