



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND

3º CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO
São Paulo (SP), 8 a 12 de novembro de 1993



VOLUME 2

CO-PATROCÍNIO:



**EMPRESAS
ITAÚ**

COMPANHIA CIMENTO PORTLAND ITAÚ
CIMENTO PORTLAND MATO GROSSO S.A.
CIMENTO TOCANTINS S.A.
CIMENTO ARATU S.A.

A Associação Brasileira de Cimento Portland, fundada em 05.12.36, é reconhecida como entidade de utilidade pública pelo Decreto nº 66.672 de 09.06.70, do Governo Federal, e pela Lei nº 50.200, de 14.08.68, do Governo do Estado de São Paulo.

666.94 Congresso Brasileiro de Cimento, 3º, São Paulo, 8 a 12 de novembro
C749-3 de 1993.
1993 São Paulo, ABCP, 1993.
2v. ilus. tabs. 21cm.

Cimento - Congressos
Cimentos especiais
Cimento Portland
Cimento - Adições
Cimento - Fabricação
Cimento - Indústria
Cimento - Pesquisa
Cimento - Tecnologia
Associação Brasileira de Cimento Portland

Todos os direitos reservados à
Associação Brasileira de Cimento Portland
Avenida Torres de Oliveira, 76 - Jaguaré
CEP 05347-902 São Paulo/SP
Fone: (011) 268.5111 - Telex: 1181188 ASSD BR - Fax: (011) 268.5984



ITAÚ, GARANTIA DE QUALIDADE.

**COMPANHIA CIMENTO PORTLAND ITAÚ
CIMENTO PORTLAND MATO GROSSO S.A.
CIMENTO TOCANTINS S.A.
CIMENTO ARATU S.A.**

ÍNDICE

VOLUME 1

Effect of energy conservation and environmental control measures on clinker properties <i>Siegbert Sprung</i>	1
Previsão da resistência de cimentos - Instrumentos práticos para o controle na fábrica ou na obra <i>Carlos Eduardo de Siqueira Tango</i>	5
Resistência à compressão de cimentos segundo três distintos métodos de ensaio <i>Hugo da Costa Rodrigues Filho e Paulo Roberto do Lago Helene</i>	23
Análise quantitativa do clínquer através da técnica de análise de imagens no microscópio eletrônico de varredura (MEV) <i>Fernando J. Parente Neiva Santos, Sylvia Maria Couto Anjos e Ailton Luis Silva Souza</i>	43
Determinação da atividade pozolânica: avaliação crítica e proposição de uma metodologia alternativa <i>Valdir Aparecido Zampieri</i>	55
Automação do ensaio de calor de hidratação e calibração de garrafas de Langavant <i>Elza Hissae Nakakura e George Inoue</i>	77
Análise de fluoretos e cloretos pelo método dos eletrodos de íon seletivo <i>Antonia Jadranka Suto e Francisco Manoel Burgos Planelles</i>	97
Desenvolvimento de um método acelerado para avaliação da resistência de argamassas de cimento portland expostas à solução de sulfato de sódio <i>Zuleica Alves Neves Marciano, Arnaldo Forti Battagin e Paulo Roberto do Lago Helene</i>	119
Desenvolvimento e utilização de um dispositivo de extração de fase líquida de pastas e argamassas de cimento <i>George Inoue e Armando Morgado Junior</i>	143
Sistema de automação de forno rotativo de cimento - Uma solução baseada em sistema especialista <i>Maynard B. Hall e Anthony Harris</i>	163
Projeto de automação da Fábrica de Cimento Mauá - Matosinhos/MG <i>Ronaldo Bertolossi Cabral e Oly Lopes de Oliveira Junior</i>	183
Moagem integral em presença de rolos <i>Maurice Paliard e Francis Cochet</i>	201

Influência dos parâmetros mineralógicos na moabilidade e desenvolvimento de resistência mecânica de clínqueres portland brasileiros <i>Yushiro Kihara, Sérgio Luiz Centurione e Flávio A. da Cunha Munhoz . . .</i>	217
Refratários para a indústria cimenteira - Novos conceitos <i>Wedson Souza Oliveira</i>	237
Avaliação da espessura dos refratários e da transferência de calor em fornos rotativos de cimento <i>Genésio José Menon, Rogério José da Silva e Márcio de Oliveira</i>	245
Influência das condições de cura no grau de hidratação da escória e na resistência à compressão do cimento portland de alto-forno <i>Arnaldo Forti Battagin</i>	261
Viabilidade do uso do pó oriundo do forno elétrico (resíduo siderúrgico) na construção civil <i>Maria Teresa G. Barbosa, Hélio Adão Greven e Antonio C. F. Vilela . . .</i>	281
Adição de sílica ao cimento submetido a temperaturas elevadas <i>Cristiane Richard de Miranda e Maria Luiza Moreira de Moraes</i>	301
Reação álcali-agregado: mecanismo, diagnose e casos brasileiros <i>Yushiro Kihara e Luercio Scanduzzi</i>	319
A influência da etringita no processo de geopolimerização de solos - Partes I e II: Revisão do problema e conceitos fundamentais <i>Francisco J. Casanova de O. e Castro</i>	339
A influência da etringita no processo de geopolimerização de solos - Parte II: A química do processo e a utilização do MFQ para o seu estudo experimental <i>Francisco J. Casanova de O. e Castro</i>	365

VOLUME 2

Durabilidade do concreto aparente <i>Paulo Fernando A. Silva e João Gaspar Djanikian</i>	393
Avaliação da trabalhabilidade para argamassas de assentamento e revestimento <i>Helena Carasek e João Gaspar Djanikian</i>	407
Argamassas colantes semiprontas para o assentamento de placas cerâmicas em revestimentos <i>Hans Roman Edmundo Bucher e Mônica Sibylle Korff Muller</i>	427
Expert systems na indústria cimenteira <i>Osmarino Jorge Dias</i>	445

Sistema especialista off-line para treinamento interativo de operadores de fornos rotativos de cimento <i>Constantino Seixas Filho, Marcelo de Souza Baltar e Ruth Nara Aguiar . .</i>	465
Estudo do processo de combustão nos fornos rotativos <i>Genésio José Menon, Rogério José da Silva, Alexandre Soares da Rocha e Fernando N. Raimundo Junior</i>	479
Novas tecnologias na busca de maior eficiência energética na produção de clínquer na indústria cimenteira <i>Rogério José da Silva, Sílvia Azucena Nebra e Luciano F. dos Santos Rossi</i>	499
Mecanismo de empelotamento em cimento portland ensacado <i>Yushiro Kihara e José Benedito Monteiro</i>	519
Potencialidade do uso de escórias não convencionais de níquel como material pozolânico <i>Everaldo Marciano Junior e Yushiro Kihara</i>	539
Previsão da aptidão à clínquerização de farinhas industriais <i>Sérgio Luiz Centurione</i>	553
Influência na cinética da hidratação do cimento portland com adição de filler calcário <i>Yasuko Tezuka, Joaniel Munhoz Martins e João Gaspar Djanikian</i>	575
Influência da adição de escória nos processos e mecanismos de corrosão das armaduras em concreto armado <i>Elton Bauer e Paulo Roberto do Lago Helene</i>	593
Comportamento de cimentos com microsilica contra o ataque do gesso <i>P. Martín-Luengo e R. Talero</i>	603
Comportamento de argamassas de cimento I-45 de fabricação espanhola na penetração de íons cloreto e CO ₂ , quando modificadas com aditivos <i>Antonio A. Nepomuceno</i>	619
Estudo sobre a utilização do CPV-ARI-RS para execução de pré-moldados de argamassa armada <i>Marcos Vinício Costa Agnesini e Jefferson Benedicto Libardi Liborio</i>	639
Argamassas semiprontas para revestimento de superfícies e assentamento de alvenaria <i>Mônica Sibylle Korff Muller e Hans Roman Edmundo Bucher</i>	657
Durabilidade da argamassa armada - Alguns aspectos <i>Yasuko Tezuka e Hans Roman Edmundo Bucher</i>	677
Special and new cements in a historical perspective <i>A. K. Chatterjee</i>	693

"Corrosion behavior of steel during accelerated carbonation solutions which simulate the pore concrete solution", 8 Congresso Internacional de Química do Cimento, Rio de Janeiro, pp 256-262.

3. NEPOMUCENO, A., 1993, "Comportamento de los morteros de reparación frente a la carbonatación y la penetración de cloruros en estructuras de hormigón armado dañadas por corrosión de armaduras. Estudio mediante la técnica de Resistencia de Polarización", Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Madrid, pp 371.

4. MIDLEY, H.G., E ILLSTON, J.M., 1984, "The penetration of chlorides into hardened cement pastes", Cem. Concrete Research, Vol. 14, pp 546-558.

5. BAKKER, R., 1988, "Initiation period, corrosion of steel in concrete", Report of Technical Committee 60 CSC, RILEM, Ed. P. Schissel, pp 22-55.

6. GONI, S. e ANDRADE, C., 1990, "Synthetic Pore Solution Chemistry and Rebar Corrosion Rate in Presence of Chlorides", Cem. Concrete Research, Vol. 20, pp 525-539.

7. ANDRADE C. e GONZALEZ, J.A., 1978, "Quantitative measurement of corrosion rate reinforcing steels embedded in concrete using Polarization Resistance measurements", Werkstoffe und Korrosion 29, pp 515-519.

8. ANDRADE, C., ALONSO, C., GONZALEZ, J.A., 1990, "An initial effort to use measurements for estimating rebar durability", Corrosion Rates of Steel in Concrete, ASTM STP 1065, pp 29-37.

9. ALONSO, C. e ANDRAD, C., 1987, "Efecto que el tipo de cemento e la dosificación del mortero ejercen en la velocidad de corrosión de armaduras embebidas en mortero carbonatado, Materiales de Construcción, Vol 37 n° 205, pp 5-15.

10. MAULTZSCH, M., 1987, "Properties of FCC for repair of concrete structures", 5th Int. Cong. on Polymers in Concrete, Brighton pp 281-285.

11. OHAMA, Y., DEMURA, K., e MIYAKE, M., 1987, "Resistance of polymer-modified mortar to chloride penetration", Int. Conf. on Durability of Building Materials & Components, Singapore, pp 559-566.

**ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO CPV-ARI-RS PARA EXECUÇÃO DE
PRÉ-MOLDADOS DE "ARGAMASSA ARMADA"
STUDY OF CPV-ARI-RS CEMENT FOR PREFABRICATED FERROCEMENT
ELEMENTS**

Autores: Prof. Dr. MARCOS VINICIO COSTA AGNESINI
Prof. Dr. JEFFERSON BENEDICTO LIBARDI LIBORIO
Laboratório de Construção Civil - LCC - EESC-USP
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465/13560-250 São Carlos-SP

R E S U M O

Este trabalho, realizado no LCC da EESC-USP, teve como principal objetivo a obtenção de argamassas de elevada compacidade dosadas com o CPV-ARI-RS, abordando-se os seguintes tópicos: resistência química compatível com a vida útil dos componentes, avaliação das propriedades mecânicas e resistências adequadas para desformas rápidas através do desenvolvimento de processo de cura térmica (vapor), e utilização de aditivos superplastificantes na produção das argamassas.

Os resultados obtidos na pesquisa indicam o grande potencial de emprego do CPV-ARI-RS em meio ambiente ou regiões viciadas onde se faz necessário uma maior resistência química, sem prejuízo das resistências mecânicas iniciais e finais dos componentes de "argamassa armada".

A B S T R A C T

This work, carried out at LCC of EESC-USP, aimed to obtain high compacity mortars dosed with CPV-ARI-RS and approached the following topics: chemical strength compatible with the useful life of components, evaluation of mechanical properties and strength adequate for fast desmoldings through the development of thermal curing process (steam) and the utilization of superplasticizer admixtures in the production of mortars.

The results obtained in the research show the great employment potential of CPV-ARI-RS in environment and polluted regions where bigger chemical strength is necessary without harming initial and final mechanical strength is necessary without harming initial and final mechanical strength of ferrocement components.

st. 856545

-639-

SYSNO	856545
PROD	000030
ACervo EESC	

1 - GENERALIDADES

1.1 - PARTICULARIDADES SOBRE A UTILIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL (CPV-ARI)

O cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI) tem sido geralmente empregado na indústria de pré-moldados de argamassa armada. Tal fato deve-se principalmente às características químicas e físicas desse cimento, que possibilitam a redução do tempo de desforma, permitindo a utilização de menor número de conjuntos de formas metálicas e através de uma racionalização, o aumento da produtividade da mão-de-obra.

Entretanto o CPV-ARI, apesar das vantagens da alta resistência inicial e final, tem sido utilizado, em alguns casos, em regiões incompatíveis com o tipo de material em condições associadas a formas produtivas inadequadas, o que tem levado a problemas de durabilidade dos elementos.

A maior velocidade de endurecimento dos cimentos de alta resistência inicial é conseguida por ocasião da fabricação do aglomerante, por um teor mais alto de C_3S pela moagem do clínquer Portland, a finuras mais elevadas.

Na hidratação do cimento, a reação do C_3S começa dentro de poucas horas desprendendo calor. Quando essa hidratação se verifica numa quantidade limitada de água, como na pasta de cimento, por hidrólise o C_3S produz no final silicato de cálcio hidratado com fórmula aproximada $3CaO_2SiO_2 \cdot 3H_2O$ ($C_3 \cdot S_2 \cdot H_3$) e liberando cal sob forma de $Ca(OH)_2$. Fazendo-se uma suposição aproximada que o $C_3 \cdot S_2 \cdot H_3$ seja o produto final da hidratação do C_3S e do C_2S , constata-se que ambos os silicatos exigem uma mesma quantidade de água, mas o C_2S produz mais que o dobro do $Ca(OH)_2$ liberado na hidratação do C_3S . Nos cimentos Portland comuns formam-se de 10% a 20% de $Ca(OH)_2$. Esse fato é mais acentuado na hidratação do CPV-ARI devido ao seu maior teor de C_3S .

Dos compostos resultantes da hidratação do cimento Portland, o único solúvel em água é o $Ca(OH)_2$, sendo essa solubilidade uma das principais causas da degradação do cimento endurecido.

Verifica-se, portanto, que empregando-se o CPV-ARI, a melhoria da resistência inicial, obtida pelo aumento de C_3S na composição desse tipo de cimento, ocasiona uma menor estabilidade química.

A resistência química também pode ficar comprometida caso o cimento CPV-ARI apresente clínquer com teor de C_3A superior a 8%. Esse fato poderá resultar em expansibilidade química excessiva quando da ação de sulfatos sobre o material.

1.2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE ALGUMAS FORMAS DE DETERIORAÇÃO DA "ARGAMASSA ARMADA"

Na indústria de pré-moldados de "argamassa armada", as dosagens normalmente

empregadas na composição das argamassas hidráulicas resultam em elevados consumos de cimento (da ordem de 600Kg/m^3). Quando da hidratação do cimento Portland, esses altos teores de cimento liberam uma quantidade de cal (até 240Kg de Ca(OH)_2 por m^3 de pasta). Todavia essa liberação de Ca(OH)_2 ocorre com maior intensidade, conforme ressaltado anteriormente, quando o cimento empregado na confecção dos componentes de argamassa armada for o CPV-ARI.

O Ca(OH)_2 também pode reagir com o CO_2 do ar, resultando em CaCO_3 solúvel com aspecto esbranquiçado.

Também, as águas quimicamente puras, dissolvem a cal liberada na hidratação do cimento Portland, contribuindo significativamente para o aumento da porosidade da pasta. Como em peças de argamassa armada a impermeabilidade adequada é fator fundamental para a durabilidade do material, deve-se evitar uma dissolução excessiva do Ca(OH)_2 .

Nessas considerações deve-se salientar ainda a ocorrência de chuvas ácidas ($\text{pH} = 4$); que, principalmente nas primeiras horas, acarretam a lixiviação dos compostos de cal.

Cabe portanto uma análise efetiva do grau de exposição de cada elemento, por exemplo, parte de uma cobertura poderá estar exposta à ação agressiva do meio externo à edificação, bem como aquelas fachadas ou vedações sob predominância de ventos.

De outra forma deve-se avaliar também a ação de outros agentes agressivos, por exemplo, os sulfatos eventualmente existentes no meio no qual são aplicados esses componentes que, reagindo com o Ca(OH)_2 e com os aluminatos de cálcio hidratados existentes na pasta de cimento, formam sais expansivos que ocasionam a desagregação do material. Essa deterioração superficial pode começar nos cantos, arestas e naqueles locais onde ocorre o efeito parede, coincidindo com o posicionamento dos fios da armadura, resultando numa fissuração progressiva com desprendimentos de lascas do material, ocorrendo paralelamente a perda da proteção da armadura que consequentemente irá se oxidar, degradando-se.

Outro agente agressivo a considerar é o íon cloro livre, Cl^- , que pode ser fator fundamental para inicializar a degradação do aço, em condições propícias, quer pela migração através da argamassa, quer a ela incorporada através dos materiais que a compõem.

A ação da carbonatação, em condições favoráveis de ocorrência de corrosão, também é outro aspecto a considerar (embora também se tenha detectado outras associações de maus eventos).

2 - OBJETIVOS DO PRESENTE TRABALHO

O objetivo principal do presente trabalho, realizado no Laboratório de Construção Civil da EESC-USP, é demonstrar a viabilidade e as vantagens do emprego do cimento CPV-ARI-RS para a produção de pré-moldados de argamassa armada, considerando-se principalmente

a vida útil das obras executadas com esses componentes

O CPV-ARI-RS é composto por clínquer Portland e adição de cerca de 30% de escória granulada de alto forno, em relação à massa de aglomerante total, resultando num produto com moagem fina, rigorosamente controlada. O teor de C_3A do clínquer, determinado através da microscopia, indica valores situados entre 5,5% e 7%, bem como teor de adições carbonáticas inferiores a 5%. Assim, com essas características, o CPV-ARI-RS é classificado (NBR-5737) como resistente a sulfatos. Esse cimento também apresenta antecedentes de resultados de ensaios de longa duração e tem sido frequentemente empregado em obras resistentes a sulfatos tais como lúneis, reservatórios de água ou esgoto doméstico, indústrias com elementos químicos agressivos, fundações em meios agressivos, canalizações de córregos, etc.

A sugestão do emprego do CPV-ARI-RS para peças pré-moldadas de argamassa armada, deve-se, em princípio, ao fato desse aglomerante reduzir sensivelmente os efeitos nocivos decorrentes da hidratação do CP-ARI.

A escória de alto forno, é constituída em sua maior parte de silicatos e aluminosilicatos. Essa escória, combina-se com o $Ca(OH)_2$ fixando-o sob a forma estável, tornando a "argamassa" assim produzida de melhor qualidade, com menor grau de impermeabilidade através de uma diminuição da sua porosidade.

Outros aspectos benéficos decorrentes da adição de escória granulada de alto forno ao clínquer Portland são a menor geração de calor de hidratação do cimento composto e dissipação mais lenta do calor desenvolvido. Consequentemente seu emprego acarreta uma menor fissuração de origem térmica, fator importante em peças de "argamassa armada" considerando-se as altas dosagens de cimento nas argamassas.

Todavia, se por um lado a presença de escória aumenta a resistência do cimento a agentes químicos agressivos, por outro lado deve-se estudar a diminuição da resistência mecânica a baixas idades, bem como o processo de cura empregado para possibilitar a necessária fixação da cal liberada na hidratação do CPV-ARI-RS.

Assim, no presente trabalho, além das características gerais das argamassas (materiais, dosagens e propriedades mecânicas), relatam-se também os processos utilizados na garantia da resistência inicial, fator fundamental para produção de componentes pré-moldados de "argamassa armada".

Outra questão importante é também o estudo de processos para garantirem-se resistências iniciais que permitam racionalizar o processo executivo, tomando os canteiros-de-obra mais baratos e os investimentos iniciais menores, mantendo-se a produção em níveis aceitáveis, a baixo custo.

3 - MATERIAIS UTILIZADOS

3.1- CARACTERÍSTICAS DAS "ARGAMASSAS"

Empregaram-se "argamassas" compostas com cimento CPV-ARI-RS, agregado miúdo constituído por areia natural quartzosa e água, estudando-se também uma possível aplicação de aditivo superplastificante.

O índice de consistência das "argamassas", determinado de acordo com a NBR-7215, foi fixado para o CPV-ARI-RS em 180mm, com dispersão de 5mm, baseando-se em experiências anteriores adquiridas na moldagem de peças de pequena espessura, armadas com telas metálicas. Para essa consistência as argamassas apresentaram uma trabalhabilidade adequada, considerando-se os processos de mistura, transporte, lançamento e principalmente adensamento, empregados na produção dos pré-moldados de "argamassa armada".

Para os materiais empregados na dosagem das "argamassas", fixados os índices de consistência e a relação água/cimento, experimentalmente foram determinados os seguintes traços em massa: 1:2 x=0,38, 1:2,5 x=0,43 e 1:3 x=0,49. Os consumos de cimento, respectivamente para os traços apresentados, são 685 kg/m³, 588 kg/m³ e 513 kg/m³.

Objetivando-se reduzir o consumo de cimento das "argamassas", empregou-se aditivo superplastificante dosado na proporção de 1% em relação à massa do aglomerante. Para a mesma consistência, anteriormente fixada (K = 180mm com dispersão de 5mm), foram determinados os seguintes traços em massa: 1:2,5 x=0,37, 1:3 x=0,42 e 1:3,5 x=0,49. Às essas dosagens correspondem os seguintes consumos de cimento, utilizando-se 1% de aditivo em relação à massa de CPV-ARI-RS: 607 kg/m³, 529 kg/m³ e 465 kg/m³.

No caso das peças pré-moldadas de "argamassa armada" apresentarem taxas de armaduras muito elevadas, recomenda-se o aumento do índice de consistência das argamassas (NBR- 7215) para valores da ordem de 250mm. Para tanto, os traços em massa 1:2 x=0,38, 1:2,5 x=0,43 e 1:3 x=0,49 são utilizados com adição de 1% de superplastificante em relação à massa de cimento.

3.2 - CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland utilizado no estudo das argamassas foi o CPV-ARI-RS (NBR-5733 & 5737).

As características desse cimento, impostas pela NBR- 5737 e determinadas através de ensaios prescritos pela ABNT estão indicadas na tabela a seguir:

Tabela I - Características físicas e mecânicas do CPV-ARI-RS

Características e propriedades		Unidade	Valor obtido
Finura (resíduo na peneira 0,075mm (NBR-11579))		%	0,35
Área específica (NBR-7224)		m ² /kg	472
Tempo de início de pega (NBR-11581)		min	210
Tempo de fim de pega (NBR-11581)		min	304
Exp. a quente (NBR-11582)		mm	0,5
Resistência à compressão (NBR-7215)	1 dia	MPa	17,7
	3 dias	MPa	29,1
	7 dias	MPa	39,5
	28 dias	MPa	51,5

3.3- AGREGADO MIÚDO

Utilizou-se a areia natural quartzosa proveniente do Rio Mogi-Guaçu, São Carlos/SP, a qual apresentou as seguintes características:

a) GRANULOMETRIA, a composição granulométrica, determinada segundo a NBR-7217, é indicada na Tabela II. Esse agregado é classificado como sendo de granulometria média (curva granulométrica enquadrada na Zona 3), de acordo com as faixas estabelecidas pela NBR-7211.

Tabela II - Composição granulométrica do agregado miúdo

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Acumulada
4,8	3	0	0
2,4	50	4	4
1,2	142	12	16
0,6	337	28	44
0,3	368	31	75
0,15	268	22	97
resíduo	32	3	100
Dimensão máxima característica = 2,4mm			
Módulo de finura = 2,36			

Embora de granulometria média, a areia empregada possui 53% dos seus grãos retidos nas peneiras de aberturas 0,3mm e 0,15mm (Tabela II). Esse teor de finos da areia resulta numa granulometria adequada pois colabora para a obtenção de argamassas de baixa permeabilidade e melhor acabamento das peças pré-moldadas.

b) SUBSTÂNCIAS NOCIVAS: a areia mostrou-se satisfatória quanto aos requisitos estabelecidos pela NBR- 7211, conforme verificado a seguir:

- teor de argila em torrões, determinado segundo a NBR-7218 = 0,45%;
- teor de materiais pulverulentos, determinado de acordo com a NBR-7219 = 1,15%;
- teor de partículas leves, determinado segundo a NBR- 9937 = 0,3%;
- teor de impurezas orgânicas avaliado de acordo com a NBR- 7220 = índice de coloração, em termos de ácido tânico, inferior a 300ppm.

c) REATIVIDADE POTENCIAL: a verificação de reatividade álcali-agregado, executado segundo se preceitua na NBR 9773 e NBR 9774 não indicou a ocorrência de reações prejudiciais com intensidade suficiente para causar expansões nocivas à argamassa.

d) PROPRIEDADES FÍSICAS: massa específica, determinada através do frasco de Chapman = 2,63 kg/dm³ (NBR 9776); massa unitária do agregado no estado solto, determinado segundo a NBR-7251 = 1,58kg/dm³ (areia seca)

e) FORMA DOS GRÃOS: número de angulosidade médio, verificado de acordo com a norma BS-812 = 6,5 (forma medianamente angulosa em uma escala de 0 a 12); índice de esfericidade médio = 0,60; índice de arredondamento médio = 0,33.

3.4- ÁGUA DE AMASSAMENTO

A água de amassamento empregada na dosagem da argamassa foi proveniente do abastecimento público (potável), com características consideradas satisfatórias de acordo com a NBR-6118.

3.5- ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

O aditivo superplastificante empregado, com o objetivo de se reduzir os consumos de cimento CPV-ARI-RS nas argamassas, satisfaz as condições específicas apresentadas pela NBR-11768 da ABNT, quanto à redução da água de amassamento, tempo de pega (NBR-9832), resistência à compressão axial mínima (NBR-5739), resistência à tração mínima (NBR-7222), mudança de comprimento (NBR-12317) e exsudação da água (ASTM C 232). Esses índices são referentes à comparação de argamassas com aditivo em relação à argamassa de controle.

O aditivo superplastificante adotado é classificado como do tipo SP (NBR-11768) ou tipo F (ASTM C 494) e, não se revelou tensoativo.

4- VERIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS

4.1- ENSAIOS REALIZADOS

Para os ensaios básicos de resistência à compressão axial, resistência à tração por

compressão diametral e módulo de elasticidade, foram preparadas diversas séries de corpos-de-prova, referentes às diversas idades de ruptura. As argamassas dosadas nos traços em massa especificados no item 3.1, preparadas sem e com aditivo superplastificante, foram misturadas empregando-se o misturador mecânico especificado na NBR-7215. Para cada série executada (uma para cada idade da argamassa) efetuou-se um amassamento. Tanto a mistura mecânica como a moldagem e cura dos corpos-de-prova, cilíndricos, de diâmetro 50mm e altura de 100mm, foram realizadas seguindo-se as indicações da NBR-7215.

4.2- RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO

Os ensaios para a determinação das resistências à compressão das argamassas foram realizados para as idades de 1, 3, 7, 28 e 90 dias, seguindo-se a NBR-7215. Os resultados dos ensaios de compressão axial, verificados para essas idades de ruptura, estão representados na Tabela III e nas figuras 1, 2, 3 e 4.

4.3- RESISTÊNCIAS À TRAÇÃO

Os ensaios de compressão diametral, para a determinação da resistência à tração das argamassas, foram executados às idades de 1, 3, 7, 28 e 90 dias, seguindo-se o método preconizado na NBR-7222. Os resultados desses ensaios estão representados na Tabela III e nas figuras 5 e 6.

4.4- MÓDULO DE ELASTICIDADE

Os valores médios do módulo de elasticidade foram obtidos através da análise dos diagramas tensão x deformação - módulo tangente na origem (NBR-8522).

Os módulos de elasticidade foram determinados para argamassas dosadas com CPV-ARI-RS, com e sem aditivo superplastificante, em corpos-de-prova cilíndricos de 50mm de diâmetro e 100mm de altura, para idades de 1 e 28 dias. As medidas dos deslocamentos axiais foram obtidas empregando-se extensômetros mecânicos Huggenberger, com precisão de 0,00001mm.

Na Tabela IV estão indicados os valores dos módulos de elasticidade obtidos para as argamassas. Nas figuras 7 e 8 apresentam-se alguns dos diagramas tensão x deformação determinados nos ensaios (NBR-8522).

5 - AVALIAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS INICIAIS DE "ARGAMASSAS"

5.1 CIMENTO PORTLAND CPV-ARI-RS

Os cimentos Portland com escória de alto forno apresentam uma diminuição das resistências mecânicas iniciais das "argamassas", fato que poderia comprometer a deformação rápida os pré-moldados. Por esse aspecto está se processando estudos sobre o

TABELA III - RESISTÊNCIAS MECÂNICAS DE ARGAMASSAS DOSADAS COM CPV-ARI-RS (1)

RESISTÊNCIAS MECÂNICAS	RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO (MPa) (2)					RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa) (3)				
	IDADE DAS ARGAMASSAS					IDADE DAS ARGAMASSAS				
	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias
TRAÇO EM MASSA										
1 : 2 : x = 0,38 C = 685 kg/m ³ (4)	31,3	46,5	53,9	69,8	86,2	3,5	4,9	5,0	5,7	7,1
1 : 2,5 : x = 0,43 C = 588 kg/m ³ (4)	22,7	38,1	45,8	61,9	80,0	2,6	3,8	3,9	4,4	5,7
1 : 3,0 : x = 0,49 C = 513 kg/m ³ (4)	16,2	30,3	38,2	55,2	65,5	1,9	2,9	3,0	4,1	5,3
1 : 2,5 : x = 0,37 (5) C = 607 kg/m ³ (4)	27,4	46,5	56,7	71,0	86,3	2,9	3,6	4,6	5,9	6,6
1 : 3,0 : x = 0,42 (5) C = 529 kg/m ³ (4)	19,8	37,4	47,2	63,8	71,4	2,4	3,4	4,0	5,1	5,4
1 : 3,5 : x = 0,49 (5) C = 465 kg/m ³ (4)	7,3	24,0	38,3	53,0	61,8	0,85	2,1	3,4	4,2	4,7

OBS: (1) ARGAMASSAS COM ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA, DETERMINADO DE ACORDO COM O MB-1 (NBR-7215), DE 180 ± 5 mm

(2) RESISTÊNCIAS DETERMINADAS DE ACORDO COM O MR-1 (NBR-7215)

(3) RESISTÊNCIAS DETERMINADAS DE ACORDO COM O MB-212 (NBR-7222)

(4) CONSUMO DE CIMENTO CPV-ARI-RS/m³ DE ARGAMASSA

(5) ARGAMASSAS COM ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE (TIPO F) - DOSAGEM = 1%/MASSA DE CIMENTO

comportamento das "argamassas" dosadas com CPV-ARI-RS, verificando-se as resistências nas primeiras horas, em condições normais de cura, e empregando-se cura térmica (vapor).

Esses estudos estão demonstrando a necessidade de acelerar a velocidade das reações de hidratação do CPV-ARI-RS, em vista das resistências verificadas, nas pequenas idades, serem baixas; por exemplo, para a mistura preparada no traço em massa 1:2 x=0,38 após as primeiras 08 horas de idade, sob cura normal, verificou-se a $f_{ci} = 1 \text{ MPa}$.

Tabela IV - Propriedades Mecânicas das Argamassas Dosadas com CPV-ARI-RS

Propriedades Mecânicas	f_{ci} (MPa)		E (MPa)	
Idade (i)	1 dia	28 dias	1 dia	28 dias
traços em massa				
1:2,0 a/c=0,38	32,6	71,3	25000	36000
1:2,5 a/c=0,43	22,0	64,7	20000	33000
1:3,0 a/c=0,49	17,4	56,0	17500	30500
argamassas com 1% de aditivo SP				
1:2,5 a/c=0,37	27,4	74,4	22000	40000
1:3,0 a/c=0,42	20,3	65,2	19000	35000
1:3,5 a/c=0,49	8,5	51,2	14000	31500

5.2- CURA TÉRMICA (VAPOR)

No Laboratório de Construção Civil da EESC-USP, está em andamento um amplo Projeto de Pesquisa, no que se refere a elementos produzidos sob cura térmica (vapor), bem como avaliações dos diversos parâmetros que poderão interferir, tanto macroscópica quanto microscópicamente, pela adoção do processo, para os diversos tipos de cimentos Portland, tais como: CPI-32, CPI-40, CPI-S-32, CPI-S-40, CPII-E-32, CPII-E-40, CPII-Z-32, CPII-Z-40, CPII-F-32, CPII-F-40, CPIII-32, CPIII-40, CPIV-32, CPV-ARI e CPV-ARI-RS, para "argamassas" com agregados de até $D_{max} = 9,5 \text{ mm}$ (agregado miúdo e agregado graúdo).

Cabe lembrar que esses estudos também englobam os concretos estruturais, visto que são compostos por argamassas e agregados graúdos, além da armadura de reforço e os resultados das análises, mediante alguns ajustes, podem se adaptar perfeitamente àqueles concretos.

Também os estudos prosseguem com a experimentação com os concretos estruturais de altíssima resistência.

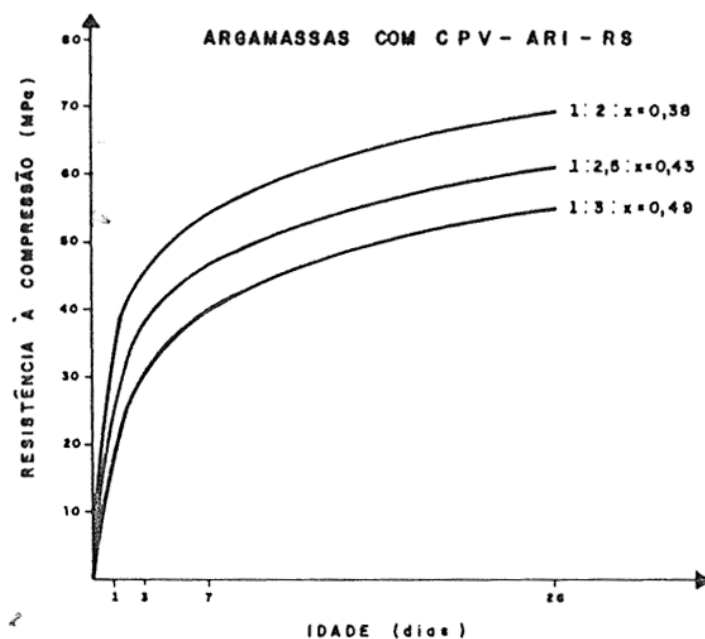


Figura 1 - Resistências à compressão de argamassas dosadas com CPV-ARI-RS, em função da idade

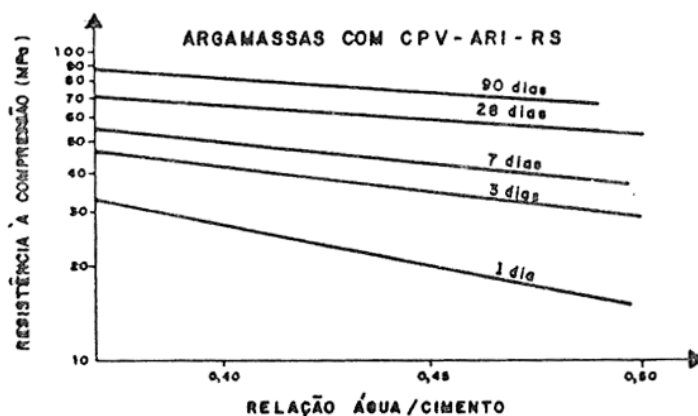


Figura 2 - Resistências à compressão de argamassas dosadas com CPV-ARI-RS em função da relação água/cimento

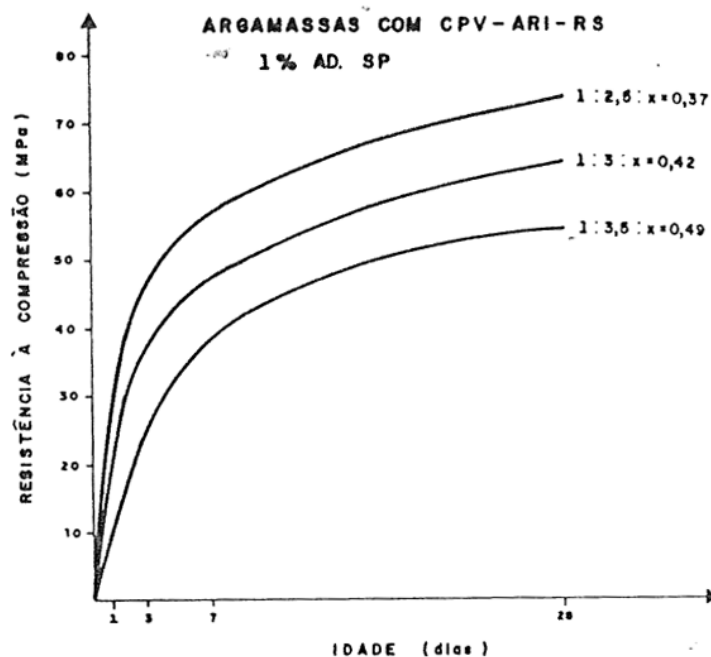


Figura 3 - Resistências à compressão de argamassas dosadas com CPV-ARI-RS e aditivo SP em função da idade

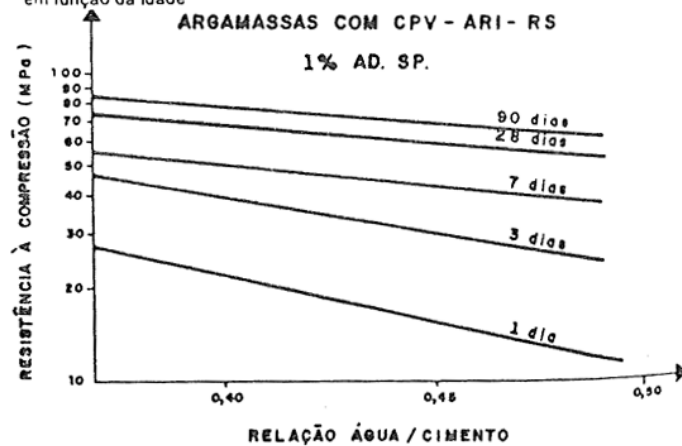


Figura 4 - Resistências à compressão de argamassas dosadas com CPV-ARI-RS e aditivo SP em função da relação a/c

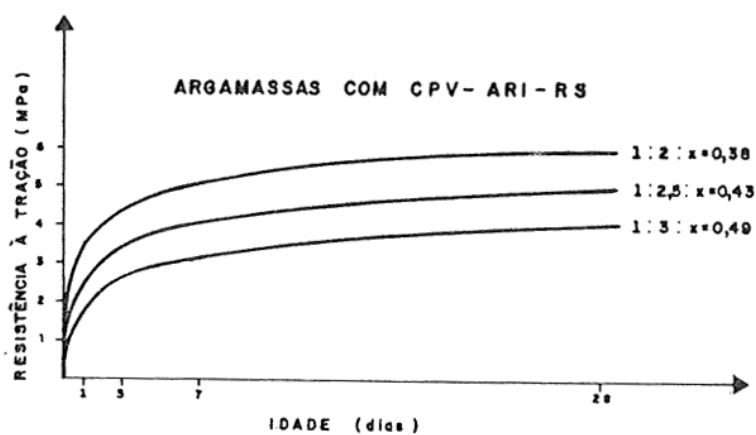


Figura 5 - Resistências à tração de argamassas dosadas com CPV-ARI-RS em função da idade

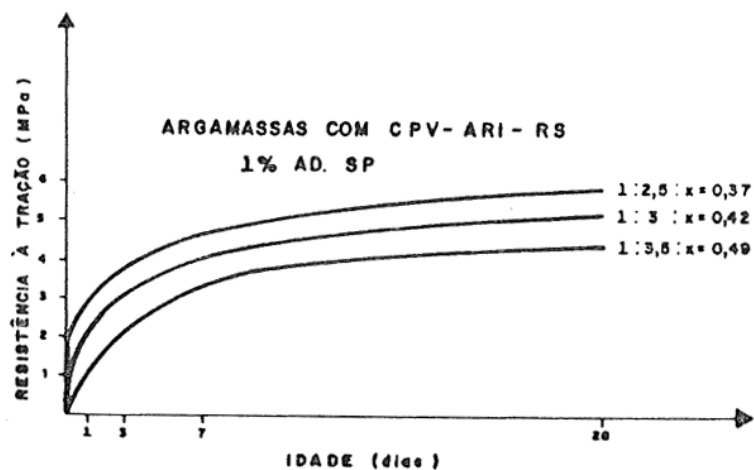


Figura 6 - Resistências à tração de argamassas dosadas com CPV-ARI-RS e aditivo SP, em função da idade

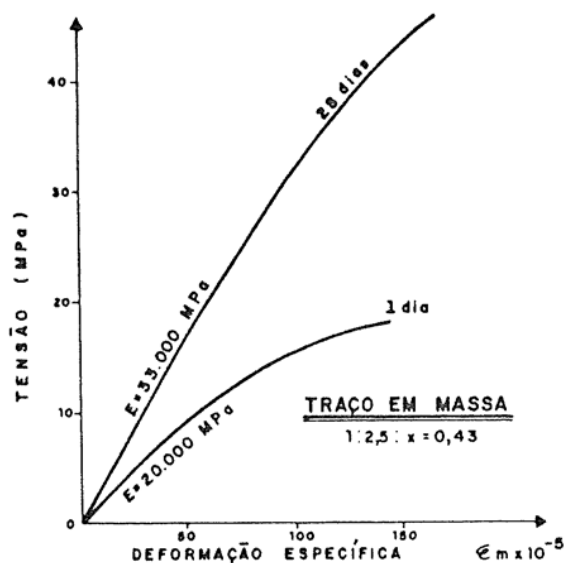


Figura 7 - Diagrama Tensão x Deformação - Argamassas Dosagem das com CPV-ARI-RS

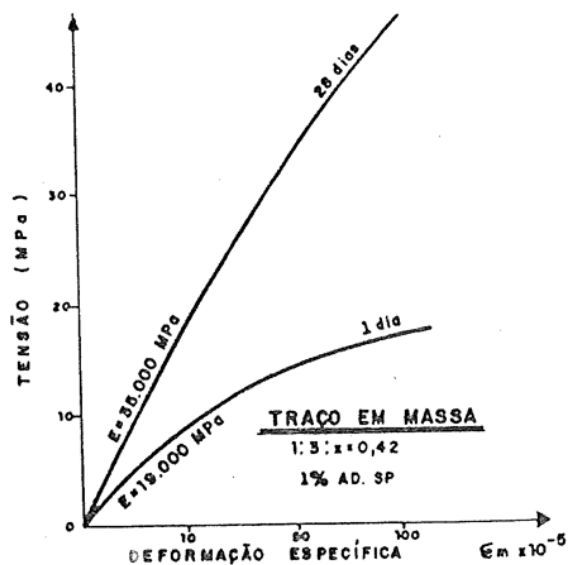


Figura 8 - Diagrama Tensão x Deformação - Argamassas Dosadas com CPV-ARI-RS e Aditivo SP

Para o presente trabalho serão apresentadas algumas ilustrações com o cimento CPV-ARI-RS, embora outras pesquisas com outros cimentos, relacionadas com outras hipóteses associadas à durabilidade e desempenho do material frente a diversos meio-ambientes e micro-regiões já estejam em andamento.

Na Tabela V são ilustrados alguns resultados já processados, para "argamassas" com os seguintes traços em massa: 1:2:x=0,38 com cimento CPV-ARI-RS e CPII-E-32; 1:1,2:0,8:x=0,38 (cimento:areia:brita 0:a/c) com cimento CPV-ARI-RS e CPII-E-32, com ciclos de vapor de 4 horas, 5 horas e 7 horas e 30 minutos.

Ressalte-se também que não se observaram nesses ensaios quaisquer alterações, como expansões, fissuras térmicas e desagregações superficiais.

Tabela V - Resultados de Cura a Vapor para cimentos CPV-ARI-RS e CPII-E-32

Traço (massa)	Cimento	Ciclo de vapor (hs)	f_{ci} (MPa)	f_u (MPa)
1.2:x=0,38	CPV-ARI-RS	4	24,5	3,0
	CPII-E-32	4	22,9	2,6
	CPV-ARI-RS	5	28,6	3,8
	CPII-E-32	5	25,1	3,1
	CPV-ARI-RS	7:30	36,6	4,9
1:1,2:0,8:x=0,38	CPV-ARI-RS	4	22,8	2,8
	CPII-E-32	4	24,0	2,6

Em outros ensaios, com o cimento Portland CPV-ARI-RS, quando se procurou estabelecer tempos mínimos para desmoldagens, através do desenvolvimento de ciclos mínimos, com simples elevação controlada de temperatura até o patamar de 70 °C e posterior resfriamento até a temperatura de equilíbrio, tal que o ciclo de vapor fosse de 3 (três) horas.

Para essa condição estabeleceram-se as dosagens 1:2:a/c=0,38; 1:2,5:a/c=0,43 e 1:3:a/c=0,49, tal que fossem mantidas a mesma consistência ($k=180\text{mm} \pm 5\text{mm}$).

Também, de outra forma procurou-se verificar a influência da aplicação de aditivo superplastificante em dosagem de 1% com relação às massas de cimento e tal que a consistência nesses casos resultasse $k > 230\text{mm}$, mantendo-se a relação água/cimento, situação possível na prática naqueles casos de peças densamente armadas ou onde o caminho da argamassa a percorrer fosse obstada por grande quantidade de armadura em função do planejamento adotado em argamassagens dessa natureza.

Outra situação interessante e passível de análise se refere à possibilidade de se empregar traços mais pobres que os originais, com economia de cimento, porém compensado-se com uma diminuição da água de amassamento tal que não se observassem prejuízos no resultado final da resistência à compressão, porém ainda assim considerando uma

consistência igual à inicial ($k = 180\text{mm} \pm$). Assim estabeleceram-se os seguintes traços em massa com 1% de superplastificante em relação à massa de cimento: 1:2,5:a/c=0,37, 1:3,0:a/c=0,42, 1:3,5:a/c=0,49.

Após o ciclo de 03 horas de cura térmica (vapor), atingiram-se os seguintes resultados constantes da Tabela VI.

Em continuidade ao processo de cura, agora sob as condições normais, para verificação do ganho de resistência, até a idade de 7 dias, foram observadas as seguintes resistências para os traços a seguir:

$$\begin{aligned} 1:2,0:a/c=0,38 &\rightarrow f_{cj} = 46\text{MPa} \\ 1:2,5:a/c=0,43 &\rightarrow f_{cj} = 36\text{MPa} \quad j=7 \text{ dias} \\ 1:3,0:a/c=0,49 &\rightarrow f_{cj} = 31\text{MPa} \end{aligned}$$

Da mesma forma, para as argamassas dosadas com 1% de superplastificante com consistências $k > 230\text{mm}$, na idade de 7 dias observaram-se os seguintes resultados:

$$\begin{aligned} 1:2,0:a/c=0,38 &\rightarrow f_{cj} = 46 \text{ MPa} \\ 1:2,5:a/c=0,43 &\rightarrow f_{cj} = 32 \text{ MPa} \quad j=7 \text{ dias} \\ 1:3,0:a/c=0,49 &\rightarrow f_{cj} = 26 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabela VI - Resistências mecânicas de argamassas com e sem superplastificante, curadas termicamente (vapor) com ciclo de 3 horas.

Traço em massa	f_{cj} (MPa) j= 7hs	f_h (MPa) j= 7hs
1:2,0:a/c=0,38	18,0	2,1
1:2,5:a/c=0,43	13,7	1,5
1:3,0:a/c=0,49	9,9	1,2
com 1% SP		
1:2,0:a/c=0,38	20,7	2,1
1:2,5:a/c=0,43	14,7	1,6
1:3,0:a/c=0,49	9,4	1,0
com 1% de SP		
1:2,5:a/c=0,37	20,7	2,3
1:3,0:a/c=0,42	15,4	1,3
1:3,5:a/c=0,49	8,6	1,1

6- CONCLUSÕES

Apresentam-se a seguir algumas conclusões iniciais, quanto à utilização do cimento CPV-ARI-RS para o preparo de argamassas hidráulicas:

- obtenção de elevadas resistências à compressão, em traços usuais

(C=685kg de cimento/m³) atingindo-se cerca de 70 MPa aos 28 dias (Tabela III);

b) obtenção de elevadas resistências à tração, nas mesmas condições anteriores, obtendo-se aproximadamente 6 MPa aos 28 dias (Tabela III);

c) empregando-se o aditivo superplastificante pode-se, sem prejuízo da resistência final ($f_{c28} = 73$ MPa e $f_{t28} = 6,0$ MPa), obter-se uma economia substancial no consumo de cimento (C=685kg de cimento/m³ para C=607kg/m³ - Tabela III);

d) traços com relações água/cimento até 0,45 l/kg, valor máximo indicado pela NBR-11173, resultam em elevadas resistências mecânicas após 1 dia (Tabela III e Figura 2);

e) o emprego de aditivo superplastificante não interfere significativamente nas resistências mecânicas para argamassas com 1 dia de idade, dosadas com relações a/c até 0,45 l/kg, e consumos inferiores de cimento (Tabela III e Figura 4);

f) a cura térmica se adequa perfeitamente ao emprego do cimento CPV-ARI-RS, obtendo-se resistências nas primeiras horas que permitem a reutilização de formas na produção seriada de pré-moldados em até 3 ciclos diários (Tabela VI);

g) as resistências à compressão, observadas quando da retomada da cura normal após a cura térmica (vapor), não foram significativamente inferiores aos valores determinados nos ensaios de caracterização;

h) o cimento CPV-ARI-RS surge como mais uma opção na especificação de cimentos para meio ambiente ou regiões viciadas onde se faz necessário uma maior resistência química, sem prejuízo das resistências mecânicas iniciais e finais

7 - BIBLIOGRAFIA

- AGNESINI, M.V.C. & LIBORIO, J.B.L. *O Emprego do Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, Composto com Escória Granulada de Alto Forno (CP-ARI/E), para Execução de Pré-Moldados de "Argamassa Armada"*. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 34ª, CURITIBA-PR, junho de 1992
- LIBORIO, J.B.L. & AGNESINI, M.V.C. *A Importância da Análise Histórica na Evolução da Tecnologia da "Argamassa Armada"*. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 34ª, CURITIBA-PR, junho de 1992