



CONCRETO

& Construções



IBRACON

Instituto Brasileiro do Concreto

Ano XXXVI | Nº 51
Jul. • Ago. • Set. | 2008
ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br

ACONTECE NAS REGIONAIS



Maior evento técnico da construção comemora as bodas de ouro

ENSINO DE ENGENHARIA



Obras simples, porém engenhosas

TECNOLOGIA

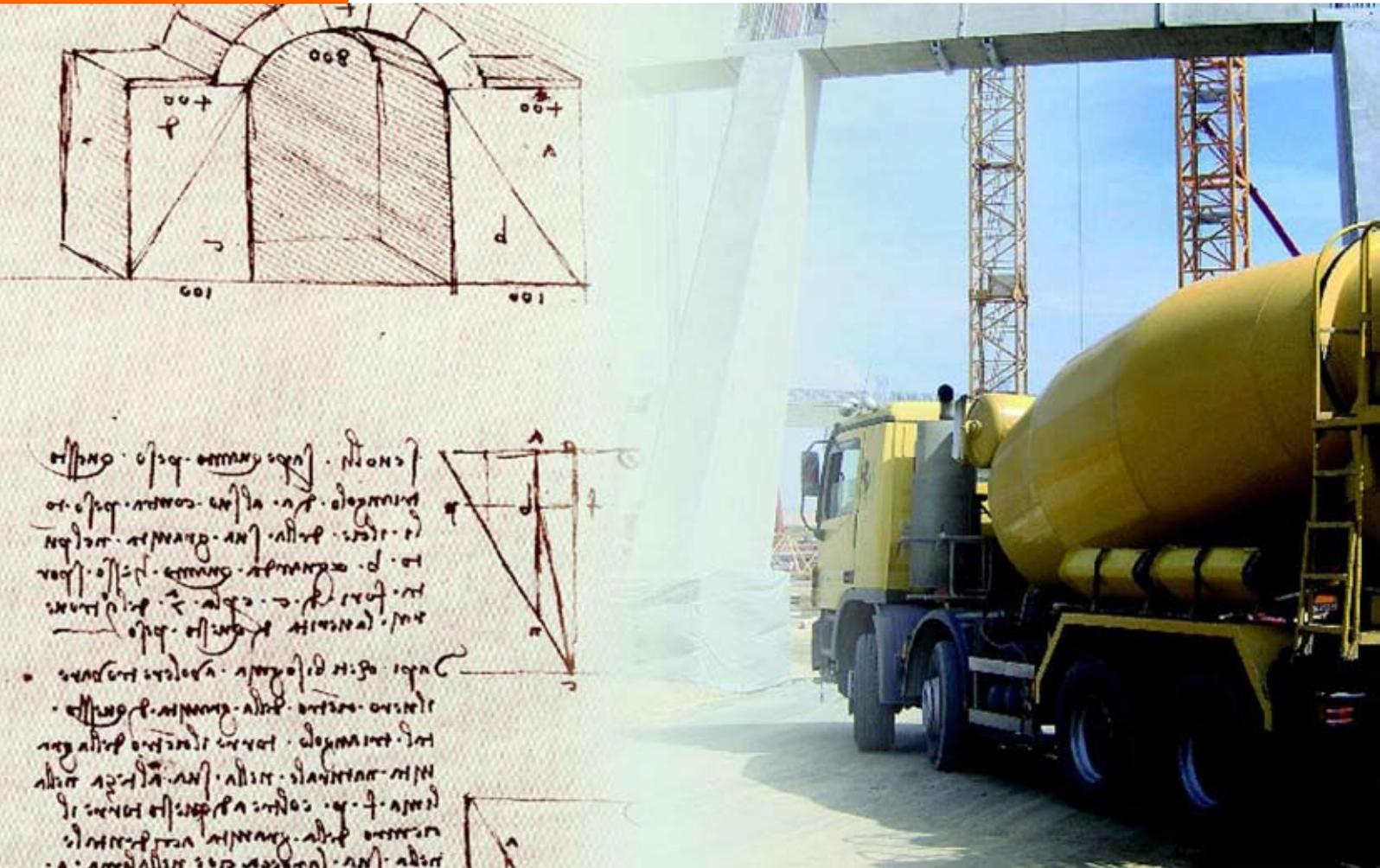


Ensaio de aderência aço-concreto para controle de qualidade

CIMENTOS/CONCRETOS: MATERIAIS CONSTRUTIVOS EM CONTÍNUA EVOLUÇÃO



Sem idéias e inovação não existe futuro



MC-PowerFlow

MC-PowerFlow é o resultado do desenvolvimento contínuo dos aditivos a base de Éter de Policarboxilato (PCE). Trata-se de uma nova linha com formulações originais baseadas em

Nova geração de superplastificantes matérias-primas desenvolvidas exclusivamente pela MC, e oferecem inúmeras vantagens em comparação aos aditivos a base de policarboxilato

existentes no mercado. Tempo de trabalhabilidade prolongado e estabilidade em sua aplicação otimizam o seu custo-benefício – a nova linha de aditivos MC-PowerFlow é a resposta para os desafios enfrentados atualmente na produção e lançamento do concreto.

MC-PowerFlow



Innovation in building chemicals

www.mc-bauchemie.com.br

Telefone (11) 4159-3050

Instituto Brasileiro do Concreto
Fundado em 1972
Declarado de Utilidade Pública Estadual
Lei 2538 de 11/11/1980
Declarado de Utilidade Pública Federal
Decreto 86871 de 25/01/1982

Diretor Presidente
Rubens Machado Bittencourt

Diretor 1º Vice-Presidente
Paulo Helene

Diretor 2º Vice-Presidente
Mário William Esper

Diretor 1º Secretário
Nelson Covas

Diretor 2º Secretário
Sonia Regina Freitas

Diretor 1º Tesoureiro
Claudio Sbrighi Neto

Diretor 2º Tesoureiro
Luiz Prado Vieira Júnior

Diretor Técnico
Carlos de Oliveira Campos

Diretor de Eventos
Túlio Nogueira Bittencourt

Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento
Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Diretor de Publicações e Divulgação Técnica
José Luiz Antunes de Oliveira e Sousa

Diretor de Marketing
Alexandre Baumgart

Diretor de Relações Institucionais
Wagner Roberto Lopes

Diretor de Cursos
Juan Fernando Matias Martin

Diretor de Certificação de Mão-de-obra
Júlio Timerman

SUMÁRIO

Cimentos e Concretos

Conheça o que há de
mais avançado nessas
tecnologias construtivas



14

Acontece nas Regionais

Veja as principais atrações
do 50º Congresso Brasileiro
do Concreto

18



REVISTA CONCRETO & CONSTRUÇÕES
Revista Oficial do IBRACON
Revista de caráter científico, tecnológico
e informativo para o setor produtivo da construção
civil, para o ensino e para a pesquisa em concreto

ISSN 1809-7197
Tiragem desta edição 5.000 exemplares
Publicação Trimestral
Distribuída gratuitamente aos associados

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO
Arlene Regnier de Lima Ferreira
arlene@ibracon.org.br

EDITOR
Fábio Luis Pedrosa – MTB 41728
fabio@ibracon.org.br

DIAGRAMAÇÃO
Gill Pereira (Ellemento-Arte)
gill@ellemento-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO
office@ibracon.org.br

Gráfica: Ipsis Gráfica e Editora

Preço: R\$ 12,00

As idéias emitidas pelos entrevistados ou em
artigos assinados são de responsabilidade de seus
autores e não expressam, necessariamente, a
opinião do Instituto.

Copyright 2008 IBRACON. Todos os direitos de
reprodução reservados. Esta revista e suas partes
não podem ser reproduzidas nem copiadas, em
nenhuma forma de impressão mecânica, eletrônica,
ou qualquer outra, sem o consentimento por escrito
dos autores e editores.

PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL
Túlio Bittencourt, PEF-EPUSP, Brasil

COMITÊ EDITORIAL
Ana E. P. G. A. Jacintho, UNICAMP, Brasil
Joaquim Figueiras, FEUP, Portugal
José Luiz A. de Oliveira e Sousa, UNICAMP, Brasil
Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, UFRGS, Brasil
Paulo Helene, PCC-EPUSP, Brasil
Paulo Monteiro, UC BERKELEY, USA
Pedro Castro, CINVESTAV, México
Raul Husni, UBA, Argentina
Rubens Bittencourt, IBRACON, Brasil
Ruy Ohtake, ARQUITETURA, Brasil

IBRACON
Rua Julietta Espírito Santo Pinheiro, 68
Jardim Olímpia – CEP 05542-120
São Paulo – SP



E MAIS...

- 4 Editorial
- 5 Converse com o IBRACON
- 7 Personalidade Entrevistada. Selmo Kuperman
- 14 Aditivos para cimento
- 22 Calorimetria e controle de materiais
- 27 Panorama da indústria de cimentos no Brasil
- 29 Aditivos superplastificantes PCEs
- 35 Obras simples da engenharia
- 38 Pisos industriais com CRFA
- 43 Paredes de Concreto
- 45 Nano-concreto: desafios
- 52 Ensaio de aderência aço-concreto
- 58 Pisos industriais com CAA
- 63 Impermeabilização de lajes
- 65 Sustentabilidade na indústria de cimento
- 73 Trabalhabilidade do CAA
- 86 Engastamento em viga protendida
- 97 Recordes da Engenharia em Concreto



Créditos Capa:
Niederlaussem Cooling Tower
MC-Bauchemie Müller GmbH Co

Ouvir, sentir e entender a estrutura

A Diretoria Técnica do IBRACON almeja lançar questionamentos e, se possível, debates em torno de alguns temas, tais como, por exemplo: é significativo ou não a decimal no resultado do ensaio à compressão do corpo-de-prova? Questionar a repetitibilidade do resultado de determinação do módulo de elasticidade. Estes questionamentos se baseiam, principalmente, nos últimos resultados de ensaios em corpos-de-prova do Programa Interlaboratorial de Concreto, coordenado pelo INMETRO, realizado com a elite dos laboratórios no Brasil. Os resultados fornecidos no programa indicam, dentro da mesma classe de concreto, para estes ensaios, uma variação de quase 100%.

Questionar por que não se resolveram os problemas estruturais das áreas de coberturas de uma edificação alta, habitacional ou comercial. A frequência da patologia de trincas, rachaduras e infiltrações são muito altas.

Ainda dentro dos questionamentos e reflexões, propor uma discussão de como projetar visando durabilidade, ou mesmo eternidade. Será possível analisar uma estrutura? Não uma análise numérica, mas, comportamental? Será possível analisar o conforto estrutural? Analisar a plenitude do equilíbrio de tensões naturais relativas à construção e à ocupação, bem como as impostas pela natureza como o sol, a chuva e os ventos? Ouvir, sentir e entender uma estrutura em concreto armado, isto será possível?

Geralmente, a estrutura incomodada se manifesta. Cabe ao engenheiro manter e entender esta comunicação. Uma estrutura entendida no seu ser, equilibrada, no lugar certo ou adequada ao uso, não reclama, não grita, não se manifesta e se comporta como eterna e alheia ao entorno ou ao uso a que se destina.

O Panteão de Agripa e o Coliseu, em Roma; aquedutos de Segóvia e de Nimes; a Barragem de Cornalbo; pontes, pirâmides e um número significativo de grandes e eternas obras estão pelo mundo afora para exemplificar os materiais, a forma e, acima de tudo, a concepção estrutural destas obras. São obras harmoniosas, sem grandes reentrâncias ou saliências. Percebe-se o equilíbrio de formas e dimensões. São eternas dentro dos ciclos da natureza.

Por que ouvir, sentir ou entender uma estrutura? Porque a mesma tem frio, calor, desconforto estrutural e nem sempre se sente segura no solo em que se apoia.

Os modernos e práticos programas para calcular uma estrutura estão simplificando tanto as tarefas que o projetista de estrutura se esquece de conceber o comportamento estrutural. A arte de projetar passa a ser calcular esforços e carregamentos, e não analisar as interferências que existem em um projeto de forma global.



O desconforto das estruturas se caracteriza em balanços arrojados, sem contrapartida dimensional, são balanços em desequilíbrio, salientes em relação ao corpo principal; pilares esbeltos, lajes engastadas ou confinadas em todo perímetro e expostas às intempéries; lajes de coberturas de altas torres residenciais ou comerciais totalmente expostas a ventos, chuvas, frio e calor. O coeficiente de dilatação térmica do concreto armado existe e atua de acordo com as variações de temperaturas. Segue a lei da natureza, que é a de procurar e direcionar a dilatação pelo caminho mais fácil, sem obstáculos, para se manifestar. Geralmente, a laje se dilata para a periferia da torre.

O pilar, no centro da edificação, protegido, na sombra, se comporta diferentemente do pilar da periferia, que recebe os raios solares do nascer ao por do sol e, provavelmente, ou, na maioria dos casos, a única diferença de dimensionamento para estes são as solicitações de esforços por peso próprio ou carregamentos. Quem ocupa um apartamento de cobertura conhece estas manifestações pela presença das fissuras e infiltrações.

O projeto deve contemplar o conforto estrutural, evitar tensões desnecessárias. A estrutura deve estar em repouso, precisa dormir. Deve estar preparada para as variações e manifestações de frio e calor. Uma estrutura em repouso não incomoda o usuário, não requer manutenção excessiva, não se manifesta.

As obras milenares de engenheiros anônimos estão espalhadas por todos os cantos do mundo, são marcas de civilizações, impérios ou regiões, são exemplos de como projetar e construir. Na atualidade, surgem as obras do gênio Oscar Niemeyer. São obras-primas, únicas, verdadeiras obras de arte. Citando apenas duas: vejam a harmonia de formas na Catedral de Brasília e no Museu de Arte Contemporânea de Niterói. A catedral, original, única, plantada, apoiada e eterna. Já, no museu, a originalidade se manifesta de forma invertida, a obra parece pronta a alçar vôo, é um equilíbrio sustentável, bem distribuído, circular, perfeito.

Hoje, como há dois ou quatro mil anos, temos construído e sabemos fazê-lo, não podemos esquecer as lições da natureza e exemplos antigos de obras milenares.

CARLOS CAMPOS
Diretor Técnico IBRACON

Converse com o IBRACON

Cimento pozolânico

Bom dia. A nossa empresa atua no ramo da Construção Civil e Rodoviária no Estado do Tocantins e de Goiás. Estou a procura de Cimento Vulcanizado para compra. Gostaria de saber onde encontrar.

Caso tenha algum representante que venda este produto em Goiás ou Tocantins, favor nos informar. Obrigado pela atenção. (62) 3257-5044

Joaquim Moreira Barbosa
ETASA

Caro Joaquim,

Os tipos de cimentos normalizados no Brasil são:

CP I – Cimento Portland Comum

CP II, E, F ou Z – Cimento Portland Composto

CP III – Cimento Portland de Alto Forno

CP IV – Cimento Portland Pozolânico

CP V ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

No Estado do Tocantins, há forte presença de agregados reativos, daí a indicação para se usar no concreto os cimentos CP III ou CP IV.

Talvez a indagação seja sobre cimento POZOLÂNICO, uma vez que não existe cimento vulcanizado. Neste caso, os fornecedores são a Votorantim, de Sobradinho, ou a Nassau, de Belém.

Carlos Campos – Diretor Técnico IBRACON

Artigo para Revista

Caro Fábio,

Sou professor do curso de Engenharia Civil da Unesp, em Bauru.

Estou te enviando anexo um artigo sobre traços de concreto. Pensei que talvez ele pudesse ser publicado na revista "Concreto & Construções".

Se tiver que colocá-lo numa outra formatação, por favor, me comunique.

Aguardo sua resposta.

Grato pela atenção. Felicidades.

Paulo Sérgio dos Santos

Caro Prof. Paulo Sérgio,

Como não consegui que a mensagem encaminhada por e-mail chegasse ao senhor, nem tenho seus contatos, respondo-lhe por meio desta seção. Espero que não se importe. Aproveito para esclarecer ou

troos profissionais que tenham interesse em publicar artigos na revista CONCRETO & Construções.

Segue a resposta:

O artigo encaixa-se na seção Artigo Científico da revista CONCRETO. Mas, precisa ser completado com abstract e key-words. Por favor, envie-me essas seções com o mesmo tamanho do resumo e das palavras-chaves.

Após recebê-lo, vou encaminhá-lo para o Comitê Editorial da revista. Aprovado, ele entra na lista de artigos. A previsão é que seja publicado no começo de 2009.

Para quem deseja publicar artigos na revista CONCRETO & Construções, os artigos devem ser enviados para o e-mail: fabio@ibracon.org.br.

Atenciosamente,

Fábio Luís Pedroso – Editor

Exponorma 2008

Vencido o desafio do primeiro Exponorma, em 2007, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) investe na segunda edição, marcada para os dias 27 a 29 de outubro, em São Paulo, com a expectativa de inserir o evento, definitivamente, no calendário da indústria nacional. Normalização, Sustentabilidade e Globalização é o tema escolhido para este ano e o cenário será outra vez o ITM Expo, onde acontecerão um congresso, palestras técnicas e uma exposição.

O principal objetivo do Exponorma, na versão 2008, é conscientizar a sociedade da importância das normas técnicas para a sustentabilidade e a globalização. Idealizado para marcar o encerramento das comemorações do Dia Mundial da Normalização, celebrado em 14 de outubro, o evento visa ainda estimular o envolvimento da sociedade na normalização, promover a discussão da contribuição das normas técnicas para a sustentabilidade e para a defesa do consumidor.

A escolha do tema resulta do cenário imposto pela globalização, no qual empresas nacionais passaram a competir com as estrangeiras nos mercados interno e externo, usando como ferramentas não só diferenciais de qualidade e preço, mas também sociais e ambientais.

"Nos países mais desenvolvidos, que são os principais mercados do Brasil, é comum a exigência

de certificação para produtos, para assegurar que o processo produtivo contempla a proteção do meio ambiente, aplica normas de segurança do trabalhador e não utiliza mão-de-obra infantil, por exemplo”, justifica o presidente da ABNT, Pedro Buzatto Costa.

O Exponorma manterá em 2008 o mesmo formato da edição de estréia, reunindo um congresso, uma exposição e eventos paralelos, como palestras, reuniões setoriais e mini-cursos. Em 2007, recebeu 1.800 visitantes, mobilizou 400 pessoas no congresso e outras 200 nos eventos paralelos. Foram parceiros da ABNT na iniciativa a Eletrobrás, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), o Ministério da Ciência e Tecnologia, o Ministério do Turismo, a Petrobras, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) e Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai).

Assessoria de Imprensa

Comunidades Virtuales de Construccion, Arquitectura e Ingenieria Colombia – Sur America

A continuación les relacionamos la Información en Internet de las Comunidades Virtuales de Integración del Portal INCIARCO, en las cuales pueden Registrarse Libremente y Participar para Integrarse con otras Personas del Mundo Hispano que Comparten sus mismos Gustos Personales y Profesionales. Registrarse, Activar su Cuenta y Participar es Muy Fácil y Libre de Cualquier Costo, pudiendo hacer uso de nues-

tros Recursos en Internet para Presentar sus Productos y Servicios, así como Conocer a otras Personas y Compartir con las mismas Información y Esparcimiento.

inciarco.com/foros

Desde los Enlaces presentados en el Portal INCIARCO, podrán acceder a las Comunidades, así como a otros Servicios de Información y de Herramientas, que les serán de Mucha Utilidad.

inciarco.com

De manera adicional, les compartimos la Información de otro Servicio que Ofrecemos, de Programación de Proyectos con Microsoft Project, así como el Desarrollo de Soluciones con Microsoft Excel que se integran con Microsoft Project y con Programas como ConstruPlan/ConstruControl y CIO, para generar Información Útil en el Presupuesto y Control de Proyectos.

arturo.inciarco.com

Sean Miembros de las Comunidades del Portal INCIARCO, las cuales han sido creadas para Beneficio de Ustedes, y Complementenlas con sus Aportes de Información y Comentarios, en los Temas y Mensajes que Ustedes Deseen Compartir. Un Saludo Muy Especial. Cordialmente, con Aprecio y Respeto.

*Arturo Antonio Dacosta Soler –Ingeniero Civil
Administrador de las Comunidades del Portal INCIARCO* ♦



Cursos Master PEC – Master em Produção de Estruturas de Concreto

Programa de cursos de atualização tecnológica ministrado pelo IBRACON



“PRÁTICAS DE PROJETO E EXECUÇÃO DE EDIFÍCIOS PROTENDIDOS”

05 de Setembro de 2008

50º Congresso Brasileiro do Concreto, Centro de Convenções da Bahia, Salvador – Bahia

OBJETIVO

Discorrer sobre as vantagens da adoção de lajes protendidas para a arquitetura e para a engenharia. Apresentar as particularidades do projeto e da execução destes tipos de obras. Apresentar os novos conceitos, materiais e equipamentos utilizados. Analisar o estado da arte no Brasil e as perspectivas de desenvolvimento.

PROGRAMA DO CURSO

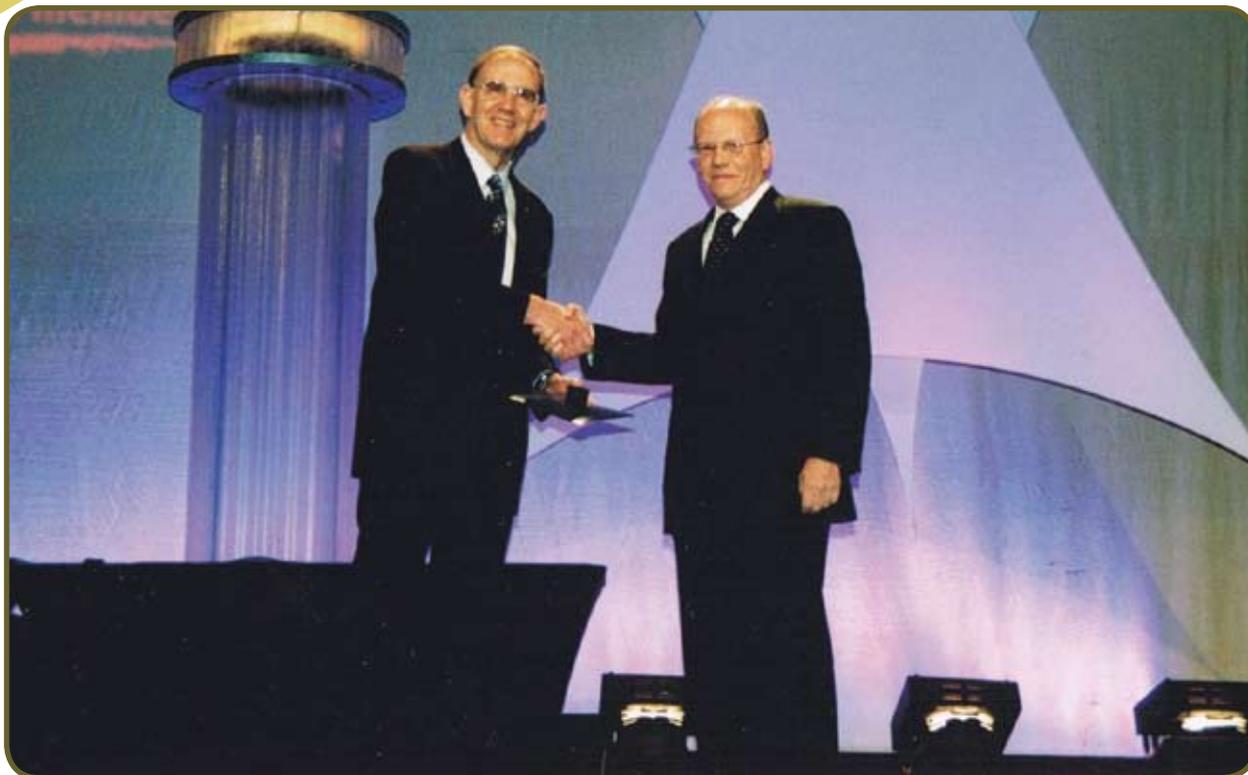
- Introdução, conceitos básicos, vantagens da protensão
- Características do projeto em concreto protendido
- Diferentes tipos de estruturas – modelagem e análise
- Dimensionamento e traçado dos cabos
- Detalhes construtivos
- Características e requisitos das obras para protensão
- Materiais, equipamentos e operação
- Fabricação e instalação dos cabos
- Concretagem
- Protensão e variações nos alongamentos
- Acabamentos

PROFESSORES

Engº Eugenio Luiz Cauduro, CAUDURO CONSULTORIA LTDA – Especialista em Concreto Protendido, participou da protensão de mais de 200 edifícios. Gerente da Freyssinet. Gerente da Belgo Mineira em protensão.
Engº Marcelo Silveira, MD ENGENHEIROS ASSOCIADOS – Especialista em Estruturas Protendidas. Projetou mais de 58 edifícios protendidos de mais de 15 andares, já construídos, comerciais e residenciais.

PATROCINADOR





Selmo Chapira Kuperman

Selmo Kuperman iniciou sua carreira profissional em 1970 no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. Pouco tempo depois, ingressou como engenheiro tecnologista na Themag, trabalhando principalmente com obras de túneis e barragens. Suas contribuições nesta área renderam-lhe, em 2002, o Prêmio IBRACON Ary Torres.

Formado na Escola Politécnica da USP, onde obteve seus títulos de mestre e doutor, Kuperman é professor visitante da escola desde 1990, ministrando a disciplina de pós-graduação “Tensões de origem térmica – barragens e outras estruturas”. Ele é autor e co-autor de, aproximadamente, 100 artigos técnicos e de livros. Suas áreas de interesse são: concreto compactado com rolo; reações álcali-agregado; manutenção de barragens; instrumentação; e segurança de barragens.

Muito atuante no meio técnico, Kuperman é membro do *American Concrete Institute* – ACI por mais de 30 anos, servindo aos Comitês de Concreto Massa, de Concreto de Retração Compensada, Concreto Projetado, dentre outros. É também membro da *ASTM International* e da *Association of State Dam Safety Official* – ASDSO. Foi presidente do IBRACON na gestão 1997-99.

Atualmente, Selmo Kuperman é diretor-presidente da Desek, empresa de consultoria em engenharia e construção.

IBRACON – No início de sua formação em engenharia civil, o senhor fez estágio no escritório de cálculo estrutural Júlio Kassoy e Mário Franco. Que recordações e experiências traz consigo dessa época?

Selmo Chapira Kuperman – Após ter trabalhado durante dois anos como estagiário de uma construtora, fiquei alguns meses estagiando em cálculo estrutural. Foi uma época boa, pois o cérebro do estudante é como uma esponja que absorve conhecimentos; por isso, a busca pelo saber no escritório Julio Kassoy e Mário Franco foi muito rica.

IBRACON – Logo que concluiu sua graduação, o senhor foi para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) trabalhar como pesquisador na área de tecnologia de concreto. Como explica seu interesse por essa especialidade?

Selmo Chapira Kuperman – Como eu já havia cumprido estágios em construção e cálculo, achei que a parte da pesquisa tecnológica poderia ser interessante, principalmente pelo desafio que representava. Na época, meus conhecimentos sobre o assunto eram parcos e tive de começar praticamente do zero, estudando tudo o que fosse possível sobre concreto e ensaios de laboratório. Aos poucos, compreendi que a tecnologia de concreto envolvia muita arte e criatividade, não havia fórmulas mágicas que pudessem ser aplicadas, sendo cada dosagem diferente das outras, pois mudavam completamente os materiais. Notei que era muito importante nesta área o fator humano: na escolha dos materiais, nas dosagens de concretos, nos ensaios, nas interpretações. Creio que a paixão pelo assunto começou ali.

IBRACON – Você participou do início do processo de construção das grandes barragens brasileiras, como as usinas de Ilha Solteira e Jupia. Quais foram as principais mudanças, em termos de projeto, pesquisa e construção de barragens, ocorrida de lá para cá? Que mudanças foram positivas? Quais as negativas?

Selmo Chapira Kuperman – Realmente, tive a sorte de estar no lugar certo, na hora certa. O chamado “milagre brasileiro” estava no princípio e a Themag, projetista de barragens, preci-

sava de alguém para trabalhar com tecnologia de concreto e instrumentação para as usinas hidrelétricas Jupia, em final de construção, e Ilha Solteira, que estava sendo iniciada. Era o ano 1970 e fui contratado. Aquelas duas obras foram uma verdadeira escola, não só para mim, mas para toda uma geração de barrageiros. Em cada projeto havia tempo suficiente para estudar as melhores alternativas de solução para qualquer problema, era possível pesquisar novos materiais e técnicas construtivas, e os projetos eram tão bem detalhados que quase não havia espaço para erros ou enganos.

As mudanças daqueles tempos para os atuais foram enormes. Em termos de projeto, houve o advento do computador e das inúmeras consequências benéficas trazidas por esta ferramenta. Os programas de computador permitem tomadas de decisão mais abalizadas, pois é muito mais fácil e rápido estudar alternativas e efetuar simulações paramétricas. Outro ponto positivo foi a introdução da necessidade de estudos ambientais e

a necessidade de adoção de medidas mitigadoras nos vários projetos, além da obrigatoriedade de construção de eclusas em várias novas usinas.

As pesquisas passaram a ser consideradas importantes, inclusive sob o aspecto institucional - a verba destinada pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL para pesquisas tem permitido significativos avanços no conhecimento da engenharia, propiciando soluções mais seguras e econômicas. A globalização trouxe também melhorias, pois a competição passou a ser internacional e o fato de empresas estrangeiras entrarem no país obrigou as nacionais a evoluírem mais rapidamente para enfrentar a concorrência.

Por outro lado, o fato do país ter ficado paralizado por quase 20 anos causou uma significativa desagregação das empresas brasileiras de projeto e construção no que diz respeito às obras de barragens. Perdeu-se boa parte de cérebros bem treinados e competentes, que migraram para outros ramos ou se aposentaram, não tendo havido reposições, pois os egressos das faculdades de engenharia civil não viam futuro neste mercado e preferiram migrar, principalmente, para as áreas de bancos e mercado de capital.

A globalização trouxe melhorias, pois a competição passou a ser internacional, obrigando as empresas nacionais a evoluir mais rapidamente para enfrentar a concorrência.

Outro fato negativo foi a imposição de licitações de projetos e construções decididas pelo menor preço, seja por parte de órgãos governamentais, seja pela iniciativa privada, o que leva à contratação, o mais das vezes, de empresas de projetos e de construtores que não têm o *know-how* para a construção de uma barragem. Ou, se o tem, não dispõem de recursos suficientes para as investigações geológicas e de tecnologia do concreto que irão embasar o projeto básico. O resultado pode ser um projeto básico mal formulado, que pode vir a acarretar custos inesperados e, às vezes, extraordinários, durante a construção ou na fase de operação: as investigações geológicas indicam um tipo de solo, mas, na fase de escavação, foi constatada composição diferente; ou, no projeto está especificado um tipo de concreto, mas, por inexistência de estudos adequados, este pode vir a ser composto de agregados reativos com os álcalis do cimento, etc. E isso num contexto em que o contratante quer receber o produto pronto, conforme as especificações, mas não fiscaliza, ficando a produção e o controle de qualidade a cargo do construtor, o que representa um conflito de interesses: se o controle for rigoroso, a produção cai, os custos aumentam e corre-se o risco de atrasos e multas; se o controle não é adequado, cai a qualidade da obra.

A sensível redução nos investimentos para os estudos de viabilidade, para os projetos básicos, nos controles tecnológicos de obra e, finalmente, nas fiscalizações de campo leva, em determinados casos, a situações onde algumas barragens construídas passam a apresentar defeitos congênitos, às vezes irreversíveis, como resistências não confiáveis, fissuras causadas por tensões de origem térmica e problemas relacionados com reação álcali-agregado, o que pode inclusive vir a causar danos ao funcionamento das peças eletro-mecânicas. Os investidores ainda não perceberam que, em muitas obras, acabam gastando mais dinheiro nos consertos do que despenderiam se tivessem investido mais em "qualidade" quando do projeto e da construção.

A meu ver uma das saídas para mitigar estes problemas está em:

- ◆ Primeiro: obrigatoriedade de contratação, por parte dos proprietários, de empresas de

engenharia competentes que possam fazer nos projetos o chamado *peer review*, ou seja, revisar de modo independente seus pontos importantes;

- ◆ Segundo: obrigatoriedade de contratação do controle da qualidade da construção diretamente pelo proprietário.

IBRACON – *Quais as tecnologias usadas nessas usinas?*

Selmo Chapira Kuperman – As usinas de Jupia e Ilha Solteira foram pioneiras em uma série de novas tecnologias introduzidas no país no que diz respeito à área civil. Entre os inúmeros aspectos novos no campo da tecnologia de concreto encontram-se:

- ◆ ensaios especiais de laboratório para as determinações de calor específico, coeficiente de dilatação térmica, difusividade térmica, elevação adiabática de temperatura, fluência, capacidade de deformação, coeficiente de permeabilidade;
- ◆ uso de corpos de prova de até 45cm de diâmetro e 90cm de altura, entre outros;
- ◆ estudos de tensões de origem térmica através do método dos elementos finitos e, com isso, a fixação de alturas de camadas, intervalos

- de lançamento entre camadas e temperaturas de lançamento;
- ◆ utilização ampla de concretos

refrigerados e lançados a baixas temperaturas, chegando em muitos casos a 7°C;

- ◆ estudos profundos sobre reação álcali-agregado e uso de materiais pozolânicos para mitigar a reação, assim como construção de fábrica de pozolana artificial para suprir as obras;
- ◆ métodos de dosagem específicos para concreto-massa;
- ◆ uso de novas metodologias construtivas, tais como: formas deslizantes, esteiras transportadoras, uso de caçambas de grande capacidade (cerca de 3m³) de concreto;
- ◆ controle completo de qualidade de todos os materiais utilizados nas obras além dos concretos, tais como elastômeros, aços, etc; este sistema, aliado à intensa fiscalização de campo e liberações de concretagens foi, em

A sensível redução nos investimentos para os estudos de viabilidade, para os projetos básicos, nos controles tecnológicos de obra e, finalmente, nas fiscalizações de campo leva, em determinados casos, a situações onde algumas barragens construídas passam a apresentar defeitos congênitos.

seu tempo, um precursor do denominado "sistema de qualidade total";

- ◆ utilização intensa de instrumentação nas estruturas de concreto e suas fundações com as finalidades de segurança, verificação do atendimento aos critérios de projeto e também como pesquisa;

- ◆ uso de idades superiores a 28 dias para os controles de resistência dos concretos: 90, 180 e até 360 dias; com isso, a economia de cimento foi marcante e as fissurações térmicas minimizadas;

- ◆ para que tudo isso fosse viável, houve necessidade da construção de um laboratório de primeira grandeza e, na época, foi o da CESP considerado o mais avançado do país, em tecnologia do concreto - este mérito cabe, atualmente, ao laboratório de Furnas, em Goiás.

IBRACON – *Você participou também dos projetos de barragens de Itaipu e Tucuruí. Quais as principais diferenças, em termos de pesquisa, projeto e tecnologias construtivas desses empreendimentos em relação aos anteriores? Quais foram os desafios?*

Selmo Chapira Kuperman – Os grandes desafios de Itaipu estavam ligados à grandiosidade do empreendimento. A logística teve papel fundamental, assim como a garantia da qualidade. Afinal, numa obra de 12.600.000m³ de concreto, onde se chegou a volumes de concreto mensais próximos de 300.000m³, não poderia haver falta de materiais de qualidade, testados previamente e aprovados, caso contrário o ritmo construtivo poderia ser afetado, bem como a qualidade do produto final. Da mesma forma, o projeto deveria prever, muito tempo antes, os possíveis problemas e estudar suas soluções! Novas técnicas foram desenvolvidas, tais como: os primeiros estudos e aplicações de concreto compactado com rolo no Brasil, graças ao apoio de um laboratório de primeira grandeza de tecnologia de concreto e de estruturas (inclusive com laje de reação) construído especialmente para a usina de Itaipu.

Esta obra utilizou quase todos os tipos de concreto conhecidos e métodos construtivos para que a qualidade fosse a melhor, os prazos, obedecidos, e os projetos, rigorosamente

seguidos. Entre as técnicas utilizadas estavam o concreto bombeado, concreto transportado por esteiras, espalhamento do concreto com trator de lâminas, vibração com bateria de vibradores, formas deslizantes abrangendo áreas enormes, concreto expansivo, concreto com fibras, concreto poroso, concretos-massa variados e concretos estruturais de elevadas resistências à compressão para época (cerca de 50MPa), entre vários outros aspectos. Os aspectos logísticos de Itaipu foram tão complexos que, em meados da década de 1990, engenheiros do Brasil foram a China para explicar aos chineses como havia sido o planejamento construtivo, aspectos do projeto e outros detalhes que pudessem ser por eles aproveitados para construção da famosa hidrelétrica de Três Gargantas.

Em Tucuruí, os problemas logísticos eram de outra ordem de grandeza, pois os grandes desafios estavam ligados à distância da obra aos grandes centros e ao fato de se trabalhar pela primeira vez num grande empreendimento hidrelétrico na região amazônica. Boa parte dos profissionais que trabalharam em Tucuruí veio de outros grandes empreendimentos que havia sido construídos na década de 1970 pela CESP, Furnas e Cemig. Desta forma, a mão de obra do projeto e da construção era experiente e, apesar da distância, pôde resolver de maneira bastante adequada todos os desafios impostos.

Foi utilizada refrigeração no concreto, a partir de vários estudos térmicos realizados, inclusive com variações significativas das temperaturas de lançamento nas diversas estruturas. A reatividade dos agregados foi combatida com uso de pozolana artificial e, posteriormente, com cimento pozolânico. Novas técnicas construtivas foram empregadas, como a ponte de concretagem, na primeira etapa, e concreto compactado com rolo, na segunda etapa. Pode-se dizer que os 8.000.000m³ de concreto lançados estão impecáveis. Além de tudo, tanto Tucuruí quanto Itaipu, contam com um esquema de instrumentação de auscultação de primeira grandeza.

Foi utilizada refrigeração no concreto, a partir de vários estudos térmicos realizados, inclusive com variações significativas das temperaturas de lançamento nas diversas estruturas. A reatividade dos agregados foi combatida com uso de pozolana artificial e, posteriormente, com cimento pozolânico. Novas técnicas construtivas foram empregadas, como a ponte de concretagem, na primeira etapa, e concreto compactado com rolo, na segunda etapa. Pode-se dizer que os 8.000.000m³ de concreto lançados estão impecáveis. Além de tudo, tanto Tucuruí quanto Itaipu, contam com um esquema de instrumentação de auscultação de primeira grandeza.

Foi utilizada refrigeração no concreto, a partir de vários estudos térmicos realizados, inclusive com variações significativas das temperaturas de lançamento nas diversas estruturas. A reatividade dos agregados foi combatida com uso de pozolana artificial e, posteriormente, com cimento pozolânico. Novas técnicas construtivas foram empregadas, como a ponte de concretagem, na primeira etapa, e concreto compactado com rolo, na segunda etapa. Pode-se dizer que os 8.000.000m³ de concreto lançados estão impecáveis. Além de tudo, tanto Tucuruí quanto Itaipu, contam com um esquema de instrumentação de auscultação de primeira grandeza.

IBRACON – *Quais são os fatores determinantes na construção de grandes barragens no Brasil e no mundo?*

Selmo Chapira Kuperman – Uma das

O controle completo de qualidade de todos os materiais utilizados nas obras, além dos concretos, tais como elastômeros, aços, etc, aliado à intensa fiscalização de campo e liberações de concretagens, foi, em seu tempo, um precursor do denominado "sistema de qualidade total".

primeiras grandes barragens de concreto construídas no mundo foi a Barragem de Hoover, construída na década de 30, nos Estados Unidos. Boa parte do que se faz ainda hoje é, em termos de construção de grandes barragens, originada daquela obra. Claro: aperfeiçoado inúmeras vezes. Houve mudanças: novos equipamentos e novos materiais. Mas, os princípios construtivos são ainda os da Barragem de Hoover.

Uma inovação significativa para a construção de barragens foi o advento do concreto compactado com rolo (CCR), em 1970, nos Estados Unidos e no Japão, porque reduziu custos e prazos. No Brasil, as primeiras experiências com esta tecnologia foram realizadas em Itaipu. Em seguida, ele foi usado em São Simão, em Tucuruí, e muitas outras. De 1986, quando se construiu a primeira barragem brasileira com CCR, até hoje, foram construídas aproximadamente 50 barragens no país com essa tecnologia.

O CCR, diferentemente do concreto convencional, não necessita de vibradores de imersão para realizar o adensamento do concreto, pois este é feito por meio de rolos compactadores. Com eles, não há necessidade de paradas na construção: o concreto é lançado continuamente, agilizando o processo construtivo. Outra vantagem: o concreto pode ser lançado em tempo chuvoso. O resultado é um produto de alta qualidade que propicia rapidez de construção e significativas reduções de custo da obra.

Outro fator que vem contribuindo para a construção de barragens é o desenvolvimento de aditivos, componentes que melhoram a aplicabilidade do concreto e suas características, trazendo também economia e de uso em todo mundo.

No Brasil, podemos citar ainda a evolução na fabricação de cimentos desde a década de 70. Hoje em dia, a indústria cimentícia fornece ao mercado diversos tipos de cimentos, o que permite que, para cada tipo de estrutura, se utilize um tipo especial de cimento.

Pode-se ainda citar o uso de softwares sofisticados para cálculos nos projetos de barragens, pois possibilitaram melhorar os dimensionamentos com impactos na economia. Vários

softwares baseados no método dos elementos finitos possibilitam estimar com maior realismo as variações de temperaturas nas barragens e, conseqüentemente, melhorar o controle da fissuração.

IBRACON – O CCR é ainda a tecnologia mais avançada na construção de barragens? Quais suas expectativas para o Simpósio Internacional “Concreto Compactado com Rolo”?

Selmo Chapira Kuperman – O CCR está hoje no estágio de uma convergência de idéias, advindas do uso dessa técnica e de sua pesquisa no mundo todo. O Brasil, pelo número de obras construídas em CCR, teve a oportunidade de testar e aplicar essa técnica vinda do exterior, contribuiu para seu aprimoramento. Durante todo esse tempo, houve uma troca muito frutífera entre os engenheiros brasileiros e os de outros países.

Atualmente, seja pela facilidade construtiva, pelo seu desempenho e pela economia de custos, nos estudos de viabilidade de projeto de construção de barragens, o CCR é uma das primeiras alternativas construtivas a ser consideradas.

O Simpósio CCR visa justamente trazer para o Brasil o diálogo que vem acontecendo sobre o concreto compactado com rolo no

mundo, em simpósios e em congressos realizados na China, na Espanha, nos Estados Unidos. No Brasil, o último evento sobre o

CCR aconteceu há dez anos, sendo patrocinado pelo IBRACON e pelo Comitê Brasileiro de Grandes Barragens. Por isso, o atual presidente do IBRACON, Rubens Machado Bittencourt, viu como oportuna a realização de um Simpósio sobre o CCR no 50º Congresso Brasileiro do Concreto, a ser realizado em Salvador, em setembro.

Apesar do pouco tempo que tivemos para organizar o evento, procuramos convidar *experts* de diferentes países, de diferentes áreas do globo, para que dessem seus depoimentos do que ocorre com o CCR em cada continente. O objetivo é conhecer os diferentes parâmetros usados na aplicação do CCR, gerando um ambiente de debate que contribua para o aperfeiçoamento ainda maior do material, para que as construções tenham seu desempenho melhorado e seu custo minimizado.

Atualmente, por sua facilidade construtiva, seu desempenho e pela economia de custos, nos estudos de viabilidade de projeto de construção de barragens, o CCR é uma das primeiras alternativas construtivas a ser considerada.

IBRACON – Qual é a participação da academia no desenvolvimento da construção de grandes barragens?

Selmo Chapira Kuperman – No Brasil, a contribuição da academia para a evolução construtiva de barragens é muito reduzida. Seja porque sua função principal é a formação de engenheiros, não é dar apoio à construção de usinas e barragens. Seja porque a formação do professor não busca a aproximação da academia com o mercado, devido à dedicação exclusiva. Acredito que deveria se abrir uma brecha para que os profissionais não-doutores pudessem contribuir com a formação dos engenheiros, por meio de cursos especiais, pois os engenheiros saem da graduação sabendo muito pouco sobre a estrutura de uma barragem.

Praticamente, todo o conhecimento se desenvolve em campo. Os desafios de campo impõem a busca de alternativas construtivas obtidas por meio da contratação de empresas de consultoria e de engenheiros com larga experiência na construção de barragens.

No início da construção das grandes barragens brasileiras, os engenheiros responsáveis foram tutelados por especialistas estrangeiros. Quando começaram a ser construídas Jupuíá, Ilha Solteira, Itumbiara e São Simão, não havia ainda um *know-how* inteiramente nacional, então as empresas trouxeram vários consultores estrangeiros, que vinham aqui periodicamente, sugerindo diversas soluções baseadas em suas experiências. Mesmo no controle de qualidade por meio de ensaios e laboratórios, na área de tecnologia do concreto, onde a academia poderia ter contribuído, o que se observava é que os laboratórios de campo das grandes barragens eram muito melhor equipados que os laboratórios das universidades.

Hoje, não há mais essa necessidade de trazer especialistas de fora, pois vários especialistas brasileiros tornaram-se consultores internacionais no campo da hidráulica, da geotecnia, da tecnologia de concreto, entre outros. Por outro lado, recentemente tem havido uma cooperação entre as empresas de geração de energia elétrica e as universidades no campo

da pesquisa de problemas que afetam barragens e outras estruturas, como, por exemplo, nos estudos sobre as reações álcali-agregados, que afetam barragens, mas também edifícios, pontes, viadutos, túneis e por aí fora. Essa cooperação vem de uma regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL que obriga as empresas de energia a investirem parte de seu faturamento anual em pesquisa e desenvolvimento. Parte dessas pesquisas resulta em melhoria na própria construção de barragens ou na manutenção de barragens existentes.

IBRACON – O Governo Lula decidiu por aproveitar o potencial hídrico da Amazônia.

Dois projetos de usinas hidrelétricas já foram licitados no rio Madeira – Santo Antônio e Jirau – e o próximo será a usina de Belo Monte, no rio Xingu.

Qual sua expectativa em relação à qualidade dessas construções e ao seu impacto ambiental na Amazônia?

Selmo Chapira Kuperman – São duas usinas hidrelétricas portentosas, que demandarão volumes enormes de concreto, e com impactos ambientais grandes, porém já perfeitamente equacionados, e que estão sendo estudadas há muitos anos.

Acredito que elas tenham os estudos geológicos, geotécnicos e de concreto necessários para um bom projeto básico. E, além disso, as empresas que ganharam os leilões são grupos com grande experiência em construção de usinas, sabem como as obras devem ser tocadas. Por isso, não tenho o menor temor quanto à qualidade da construção e da operação dessas usinas.

Com relação aos impactos ambientais, creio também que estão bem dimensionados e minimizados. Tenho acompanhado a construção de outras usinas de porte em outras regiões do país e noto que os impactos ambientais dessas usinas foram minimizados, tudo o que foi pedido para mitigar o impacto, nas populações vizinhas, na saúde, na navegação, na educação, em relação às populações indígenas, foi cumprido. Os grupos que irão construir Santo Antônio e Jirau têm tradição em lidar com a questão do impacto ambiental.

Deveria se abrir uma brecha para que os profissionais não-doutores pudessem contribuir com a formação dos engenheiros, por meio de cursos especiais, pois os engenheiros saem da graduação sabendo muito pouco sobre a estrutura de uma barragem.

IBRACON – *Tão importante quanto construir barragens é ter o controle de operação e de manutenção delas. Esse controle e manutenção são satisfatórios no país? O que precisa ser feito para melhorar o programa de manutenção de barragens pelo país?*

Selmo Chapira Kuperman – É preciso fazer uma divisão: as barragens de usinas hidrelétricas e as barragens para outras finalidades. As barragens das usinas hidrelétricas, na grande maioria dos casos - eu não conheço todas - ao menos, as UHEs (Grandes Usinas Hidrelétricas) têm programas de manutenção de primeiro mundo, que são exemplos mundiais, como o caso das usinas de CESP, de FURNAS, da ELETRONORTE, da CHESF, da COPEL, da CEMIG, entre outras. Isto porque a ANEEL exige que o proprietário apresente todo ano, se não me engano, um relatório sobre as condições dessas barragens, assim como envia inspetores para avaliar as condições dessas barragens. O mesmo não ocorre para as PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas): para parte delas, principalmente as antigas, os programas de manutenção são rudimentares e deixam a desejar.

Por outro lado, nas barragens para outros usos - para abastecimento de água, principalmente - a realidade é calamitosa em partes do país. Todos os anos ocorrem rupturas de barragens de pequeno porte ou açudes no Brasil, em número muito alto. Esses dados são compilados e divulgados por uma "comunidade" de barrageiros, na Internet, chamada *Dam Safety*. Uma das soluções para essa situação pode estar na aprovação de um projeto de lei em tramitação no Congresso Nacional sobre Segurança de Barragens, porque vai obrigar os proprietários a cuidar das barragens sob pena de multas e crimes ambientais. É o projeto de lei 1181 de 2003. Ele estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens, cria o Conselho Nacional de Segurança de Barragens e o Sistema Nacional de Informações de Segurança de Barragens. Atualmente, Minas Gerais possui uma lei estadual que pune os proprietários de barragens que não cuidarem adequadamente de sua propriedade. Essa lei foi implantada depois do rompimento

de diversas barragens de rejeitos minerais no estado e das situações calamitosas que provocaram.

IBRACON – *Você foi presidente do IBRACON. Qual a importância do instituto para o setor de construção civil, especialmente nessa época de retomada do setor no Brasil?*

Selmo Chapira Kuperman – O IBRACON é fundamental para o setor nacional de construção civil porque é o fórum onde o conhecimento sobre o concreto é debatido, onde os engenheiros podem recorrer para buscar *know-how*. Ele é o pólo concentrador de informações técnicas e tem prestado este serviço há muitos anos, a duras penas. Como

hoje as obras estão sendo geridas por engenheiros recém-egressos das faculdades e a transmissão de conhecimentos da antiga para a nova geração não foi satisfatória no passado (o campo das barragens é um exemplo deste problema, embora exista uma quantidade enorme de publicações a respeito), o IBRACON é fundamental para os profissionais jovens, pois é onde devem buscar as referências para não cometer os erros que nós cometemos quando estávamos no início de carreira. Por isso, o IBRACON deveria receber um maior

apoio das empresas, que assim estarão investindo na qualidade e na economia das construções e na formação adequada dos engenheiros mais jovens.

IBRACON – *O senhor recebeu recentemente o título de sócio honorário do American Concrete Institute (ACI). Como foi receber a homenagem? Qual é seu valor simbólico em sua carreira profissional?*

Selmo Chapira Kuperman – Receber a homenagem foi emocionante. Foi um título que não esperava e que presta uma homenagem não somente a mim, mas, principalmente, à engenharia nacional e ao IBRACON, porque o Instituto Brasileiro do Concreto internacionalizou-se, passou a ter mais interação com as entidades congêneres mundiais e, especialmente, com o ACI. Receber a homenagem me diz, especialmente, que estou na direção certa, no caminho certo, e que devo prosseguir. ♦

Todos os anos ocorrem rupturas de barragens de pequeno porte ou açudes no Brasil, em número muito alto. Uma das soluções pode estar no projeto de lei 1181.

Cimento: mais, melhor e mais barato com uso de aditivos

Manfredo Belohuby
Sika Brasil S/A

Resumo

A indústria de cimento vem apresentando um rápido crescimento em todo o mundo. Em 2005, a produção mundial alcançou a marca de 2,27 bilhões de toneladas, distribuídos conforme o gráfico 1.

A produção de cimento vem apresentando um ritmo de crescimento bastante intenso, considerando dados mundiais. O crescimento verificado entre 1998 e 2005 foi de, aproximadamente, 80%. Os maiores produtores mundiais de cimento são, pela ordem: China, Índia, EUA, Japão, Coréia e Espanha.

No Brasil, vivemos um período bastante produtivo até 1999, ano em que superamos os

40 milhões de toneladas. Em virtude da recessão vivida logo após, a produção de cimento no Brasil apresentou declínio, chegando a registrar somente 33 milhões de toneladas em 2003/2004, voltando a crescer após 2005. Em 2006, a produção voltou ao nível de 41,6 milhões de toneladas, o que coloca o Brasil novamente no patamar dos maiores produtores mundiais de cimento.

Como toda atividade econômica, principalmente aquelas ligadas com a extração e beneficiamento de recursos naturais, as preocupações da indústria do cimento voltam-se para as questões de sustentabilidade, procurando formas de racionalizar a expansão da produção com os cuidados relativos ao meio-ambiente. Dessa forma, a produção de cimentos compostos ganha cada vez mais importância, uma vez

Gráfico 1 – Distribuição da produção de cimento (fonte: CEMBUREAU)

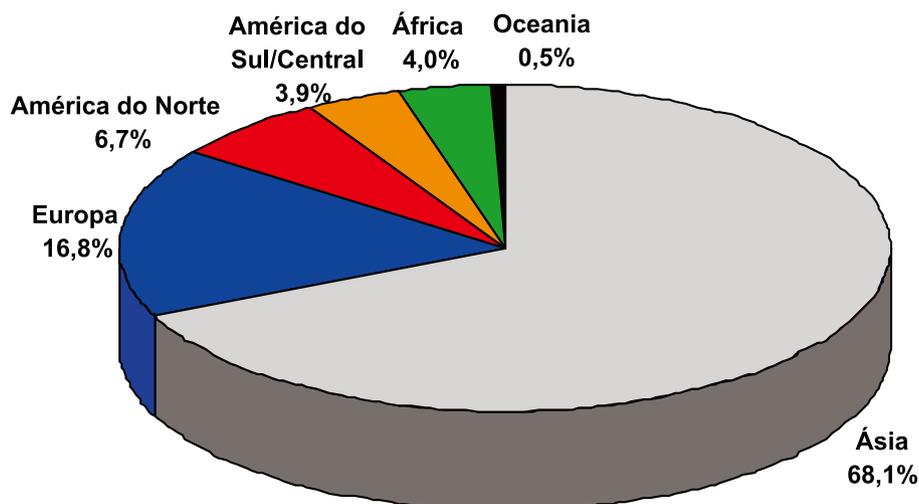
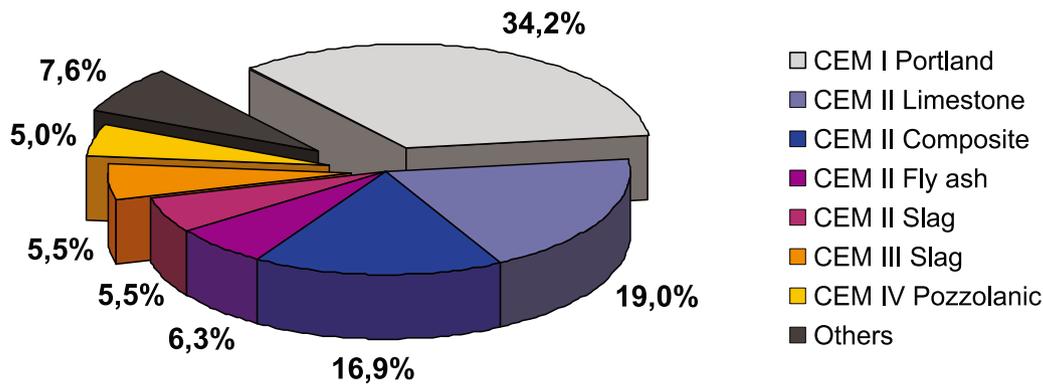


Gráfico 2 – Produção de cimento por tipo – 2005 (fonte: CEMBUREAU)



que procura reduzir a necessidade de extração de minério, bem como diminuir a emissão de CO₂ resultante do processo de produção do clínquer, substituindo-o por alternativas como escória de alto-forno, cinzas volantes ou filler.

A produção de cimentos compostos em nível mundial pode ser observada no gráfico 2.

Verifica-se, pelo gráfico 2, que somente 34% da produção mundial de cimento são cimentos puros, sendo que esta proporção encontra-se em ritmo de queda acelerada. Por outro lado, 66% dos cimentos produzidos são compostos, cimentos estes que apresentam quase sempre a necessidade de algum produto complementar para atingir a performance requerida.

A produção de cimento tipo I vem diminuindo na Europa e em outros mercados, e esta queda será intensificada pelos próximos anos até 2012, com a implementação do “European Union Greenhouse Gas Emission Trading Scheme”, de acordo com o Protocolo de Kyoto.

Esta tendência também se observa no Brasil, onde os cimentos Portland tipos I e V representam menos de 8% da produção total, e os cimentos compostos tipos II, III e IV representam ampla maioria (fonte: SNIC – 2006).

Cimentos produzidos com uma elevada substituição de clínquer estão continuamente ganhando participação no mercado. Isto vem ocasionando maiores desafios, no que concerne à produção, desenvolvimento de resistências do produto final e cuidados com o meio-ambiente, traduzindo-se por uma pressão interna sobre a indústria cimenteira para

a redução gradual do uso de matérias-primas nobres, redução de custos e uso sustentável das fontes energéticas, somada a uma pressão externa para o aumento da qualidade do produto e cuidados ambientais.

Aditivos para moagem

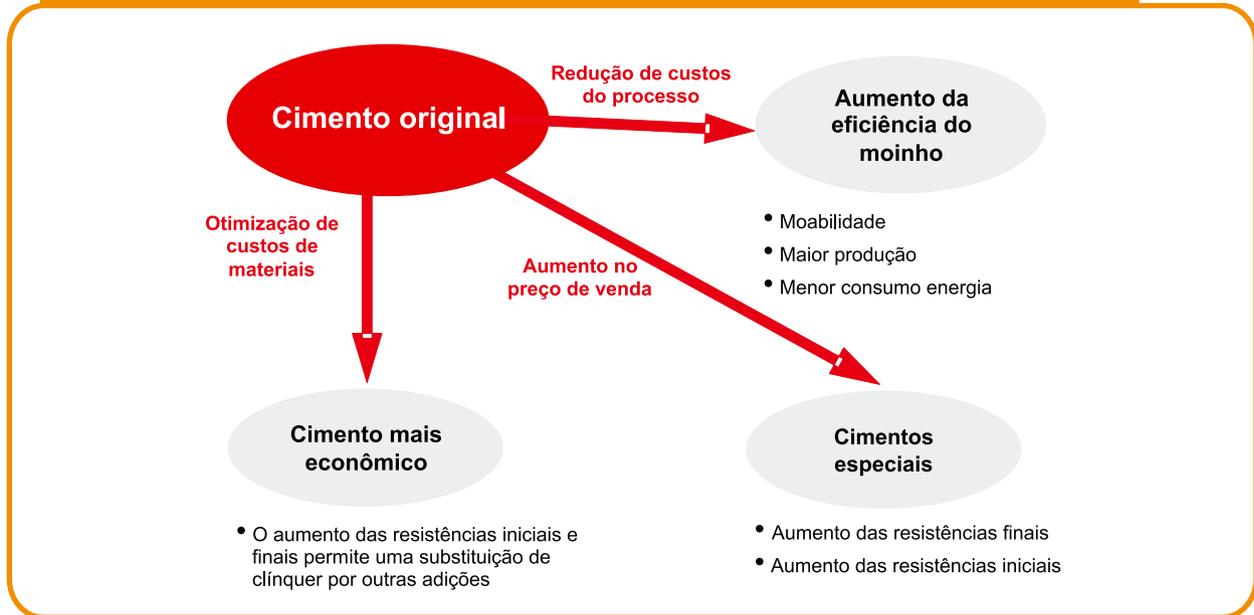
Cerca de 36% do consumo energético total de uma planta de produção de cimento é destinado à moagem, enquanto 30% destina-se à produção de clínquer.

O uso de aditivos para moagem por parte da indústria cimenteira é uma tentativa de agir justamente nestes pontos críticos, contribuindo decisivamente para a produção de cimentos de elevada qualidade, de forma rentável e, ao mesmo tempo, atendendo às necessidades de proteção ambiental.

Os aditivos para moagem atuam em três frentes principais, quais sejam:

- ◆ melhorando a eficiência do processo de moagem, resultando em aumento do volume de produção e conseqüente redução no consumo de energia;
- ◆ melhorando a qualidade do produto final, originando novos produtos e permitindo um aumento na substituição de clínquer;
- ◆ satisfazendo necessidades específicas relativas a ecologia e meio-ambiente, pela redução da energia necessária à moagem e redução do consumo de energia necessário à produção de clínquer, reduzindo

Figura 1 – Efeitos da utilização de aditivos de moagem



também as emissões de CO₂ resultantes destes processos.

A figura 1 ilustra as oportunidades resultantes para os fabricantes de cimento através do uso de aditivos para moagem.

Os aditivos para moagem atualmente em uso têm como principais características:

- ◆ permitir ganhos de produtividade (t/h), através da facilitação do processo de moagem e do controle da re-aglomeração das partículas finamente moídas;
- ◆ proporcionar ganhos de resistências iniciais, finais ou ambas;
- ◆ proporcionar redução dos tempos de pega do cimento.

Alguns aditivos para moagem oferecem como característica adicional uma melhora na fluidez do cimento. Isto torna-se importante,

sobretudo, porque facilita o transporte do cimento, evitando entupimentos e obstruções de tubulações, e para a estocagem do produto acabado, possibilitando um aumento da capacidade de estocagem dos silos através da melhor acomodação do cimento.

Tipos de aditivos

Os aditivos para moagem são tradicionalmente divididos em duas categorias principais: os agentes de moagem propriamente ditos e os melhoradores de performance.

Basicamente, os aditivos de moagem propriamente ditos agem de forma a impedir a re-aglutinação das partículas finamente

Figura 2 – Melhoria da fluidez do cimento com uso de aditivos de moagem



Figura 3 – Melhoria da eficiência de moagem com uso de aditivos



Corpos moedores cobertos de partículas de cimento (coating): eficiência de moagem reduzida



Corpos moedores limpos com a utilização de aditivos: eficiência de moagem garantida



Interior de moinho com revestimento interno coberto de partículas: menor eficiência de moagem

moídas, aumentando assim a capacidade do separador e impedindo que as partículas moídas e re-aglutinadas retornem ao moinho como partículas grossas ou não devidamente moídas. Além disso, os aditivos previnem a formação do “coating” dos corpos moedores e do interior do moinho, ou seja, a fixação de pó de cimento finamente moído nas superfícies que promovem a moagem, aumentando assim a eficiência do sistema.

O aumento da eficiência do sistema como um todo se reflete de forma direta no aumento da produtividade (t/h) e, conseqüentemente, na redução do consumo energético.

Os aditivos de moagem proporcionam ganhos de produtividade em torno de 10 a 20%, mantidas as características do cimento e dos equipamentos de moagem.

Já, os aditivos melhoradores de performance reagem quimicamente com o cimento, de forma a melhorar características como: resistências iniciais, resistências finais, início e fim de pega. Alguns aditivos melhoradores de performance proporcionam ganhos de até 5 MPa nas resistências iniciais (1 a 3 dias) ou finais (28 dias), para cimentos com mesma finura Blaine. Os tempos de pega podem ser diminuídos drasticamente, o que resulta extremamente importante para cimentos com altos teores de escória, como os do tipo CP-III.

Estes aditivos permitem a produção de cimentos especiais a partir de cimentos básicos. Permitem, também, a substituição

de uma quantidade maior de clínquer por adições de custo menor, proporcionando ganhos expressivos, tanto no que se refere a custos de matéria-prima, assim como menores emissões de CO₂, dada a menor necessidade de produção de clínquer.

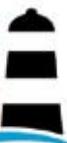
Conclusão

Os aditivos de moagem são largamente utilizados em todo o mundo e passam a ser cada vez mais procurados também no Brasil. As pesquisas avançam na busca por produtos cada vez mais eficientes, de forma a atender um mercado cada vez mais exigente, chegando inclusive à produção de matérias-primas específicas para esta finalidade por parte das indústrias químicas.

Dadas as características muito diferentes encontradas em nosso país, tanto no que concerne a matérias-primas, jazidas e equipamentos disponíveis, o desenvolvimento de aditivos especiais, feitos sob medida para atender os requisitos de cada produtor, torna-se, sem dúvida, um diferencial importante. Know-how específico e assistência técnica contínua são diferenciais a serem analisados pelo produtores de cimento na escolha de seus fornecedores.

O objetivo final da indústria do cimento e dos fornecedores de aditivos é a mesma: produção de mais cimento, de melhor qualidade, e da forma mais econômica, preservando sempre o meio-ambiente. ♦

50º CONGRESSO
BRASILEIRO
DO CONCRETO
IBRACON 2008



IBRACON vai comemorar o 50º Congresso Brasileiro do Concreto em Salvador

O Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON realiza a Cinquentenária edição do Congresso Brasileiro do Concreto, em Salvador, Bahia, de 4 a 9 de setembro de 2008. Maior fórum nacional e latino-americano de debates sobre o concreto e suas aplicações em obras civis, o evento objetiva discutir e difundir as pesquisas e tecnologias construtivas para a cadeia da construção civil.

A marca do Congresso Brasileiro do Concreto é a diversidade de acontecimentos técnico-científicos realizados simultaneamente. Estão previstas para o 50º CBC 2008:

- ◆ **413 palestras técnico-científicas**, onde as pesquisas em andamento nas universidades e institutos de pesquisa nacionais e latino-americanos são apresentadas aos participantes;
- ◆ **2 Painéis de Temas Controversos**, que debaterão temas atuais e polêmicos do mercado de construção;
- ◆ **11 Conferências Plenárias**, proferidas por renomados especialistas de empresas e universidades nacionais e estrangeiras, sobre seus ramos de atuação;
- ◆ **Workshop sobre Pavimentos de Concreto (PAV 2008)**: apresentará as técnicas nacionais e internacionais para a execução, controle e manutenção de pisos industriais e pavimentos de concreto;
- ◆ **3 Concursos Estudantis**: competições entre os estudantes de engenharia e arquitetura em torno da elaboração de um pórtico e de uma bola de concreto e de um pré-projeto arquitetônico;
- ◆ **Cursos de Atualização Profissional sobre as tecnologias construtivas**, ministrados por profissionais diretamente envolvidos com o assunto;
- ◆ **Simpósio sobre Concreto Compactado com Rolo (RCC 2008)**: apresentará as pesquisas e aplicações com o RCC nos cinco continentes;
- ◆ **IV Feira de Produtos e Serviços para a Construção**, onde os participantes podem



Elevador Lacerda – Salvador, Bahia

se atualizar sobre os produtos e serviços oferecidos pelas empresas do setor;

- ◆ **Palestras Técnico-Comerciais**: apresentações formais dos produtos e serviços expostos na Feira;
- ◆ **Visitas técnicas programadas**: congressistas têm a chance de conhecer obras emblemáticas de Salvador;
- ◆ **Reuniões Institucionais**: diretores do Instituto reúnem-se para planejar suas atividades anuais.

Uma maratona do saber, onde participam estudantes, pesquisadores, professores, técnicos, projetistas, tecnólogos, vendedores técnicos, engenheiros em geral, marqueteiros, empresários, construtores, fornecedores, funcionários públicos e outros agentes da cadeia da construção.

As inscrições estão abertas. Valores promocionais para quem se inscrever pelo site até o dia **20 de agosto**.

Mais informações: www.ibracon.org.br

FEIBRACON

Num espaço de 28,4 mil m², a **Feira Brasileira das Construções em Concreto (FEIBRACON)** vai trazer ao público as novidades em termos de produtos, equipamentos, tecnologias e sistemas construtivos à base de concreto. Serão 70 estandes de exposição, onde as empresas têm a chance de estreitar seu relacionamento com os clientes, pela apresentação técnica de seus produtos e serviços e pela realização de demonstrações práticas.

A IV FEIBRACON será aberta ao público e acontecerá no 2º piso do **Centro de Convenções**

da Bahia, considerado o melhor centro de convenções do Nordeste brasileiro. A participação na feira permite às empresas patrocinadoras e expositoras a dedução no Imposto de Renda, pois o evento se enquadra no programa do Fundo de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **Informe-se sobre os espaços de venda: 11-3735-0202.**



Farol da Barra – Salvador, Bahia

Palestrantes Internacionais

Estão confirmadas as presenças e palestras nas Conferências Plenárias Internacionais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto:

- ◆ **Brian Forbes (GHD, Austrália):** “RCC – Desenvolvimento e Inovação”
- ◆ **Charles Nmai (BASF, EUA):** “O impacto do uso de aditivos superplastificantes na execução de concretos protendidos e pré-fabricados”.
- ◆ **Daniel Cusson (National Research Council of Canada/ University of Sherbrooke, EUA):** “A cura interna no concreto de alto desempenho de pontes”
- ◆ **Julie M. Vandenbossche (Universidade de Illinois em Urbana-Champaign, EUA):** “Projeto, construção e aplicações em Whitetopping ultradelgado – A experiência dos EUA”
- ◆ **Joaquín Díez-Cascón Sagrado**

- (Universidade de Cantabria, Espanha)
- ◆ **Johann Geringer (Department of Water Affairs and Forestry, África do Sul)**
- ◆ **Kumar Mehta (Universidade da Califórnia em Berkeley; EUA)**
- ◆ **Mark Snyder (Universidade de Pittsburg, EUA):** “100 anos de pavimentação nos Estados Unidos”
- ◆ **Paulo Monteiro (Universidade da Califórnia em Berkeley, EUA):** “Caracterização da Nanoestrutura e Microestrutura do Concreto para a Otimização de sua Durabilidade”
- ◆ **Per Fidjestol (Elkem Materials, Noruega):** “A história da sílica no concreto – da novidade de seu surgimento para tornar-se um componente-chave no concreto de alto desempenho”
- ◆ **Shigeyoshi Nagataki (Instituto de Tecnologia Aichi/Instituto de Tecnologia de Tóquio, Japão)**
- ◆ **Surendra Shah (Center for Advanced Cement-Based Materials/Northwestern University, EUA):** “A aplicação da nanotecnologia para o avanço do concreto”
- ◆ **Theodore Strobl (Universidade de Tecnologia de Munique, Alemanha)**
- ◆ **Timothy P. Dolen (U.S. Bureau of Reclamation, Denver, EUA)**

As palestras contarão com tradução simultânea.

IX Seminário Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil

O setor da construção civil tem desenvolvido ações para minimizar seu impacto sobre o meio ambiente: estudos de comportamento dos resíduos de construção e demolição incorporados ao concreto; adoção de novas tecnologias na linha de produção de cimento, que diminuem o consumo de energia e a emissão de gases do efeito estufa; utilização de concretos de maior resistência e melhor desempenho, que garante a construção de obras com maior vida útil; entre outras.

O IBRACON convida os profissionais a enviarem resumos de trabalhos técnicos e científicos sobre sustentabilidade na construção civil, para sua apresentação no **IX Seminário de Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil**, nos dias 16 e 17 de junho de 2009.

“A sociedade tem mostrado uma visão holística quando se trata de crescer para atender as necessidades básicas da humanidade. Hoje, tanto a iniciativa privada como a academia e o poder público já entendem que o desenvolvimento não pode ter seu foco apenas no aspecto econômico,

afinal de contas, gerações futuras vão se lembrar de nós como a geração que fez a diferença ou como a que destruiu o planeta”, pondera o coordenador do evento, professor Salomon Levy.

Envie seu resumo para o Comitê Meio Ambiente (CTMAB) do IBRACON, até o dia **30 de outubro de 2008**, através do site: www.ibracon.org.br, sobre os seguintes temas:

- ◆ Eco-eficiência e Green Buildings;
- ◆ A contribuição do concreto para o Desenvolvimento Sustentável;
- ◆ Resíduos sólidos e Meio Ambiente: Indústria, Mineração e Construção Civil;
- ◆ Gestão ambiental e Políticas públicas na construção civil;
- ◆ Estudo de caso em Gerenciamento de RCD;
- ◆ Tecnologia dos materiais e a sustentabilidade
- ◆ Aquecimento global e Mecanismo; Desenvolvimento Limpo na engenharia civil

O IX Seminário de Desenvolvimento Sustentável vai acontecer no Instituto de Engenharia, em São Paulo.

III Congreso Internacional de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón

La Asociación Argentina de Tecnología Del Hormigón – AATH realizará su **III Congreso en la Ciudad de Córdoba**, de 29 al 31 de octubre de 2008, con el objetivo de difundir, discutir y poner en conocimiento de la comunidad los nuevos avances y desarrollos sobre tecnología del hormigón, logrados en el ámbito nacional, regional e internacional.

TEMARIO

- ◆ Cementos y hormigones basados en el desarrollo sustentable
- ◆ Hormigones especiales
- ◆ Hormigones destinados a viviendas de bajo costo
- ◆ Prefabricación
- ◆ Nuevas tecnologías aplicadas en la ejecución de obras de hormigón

- ◆ Aseguramiento de calidad y técnicas de evaluación utilizadas en el campo de la tecnología del hormigón
- ◆ Experiencias de obras civiles y de laboratorio desarrolladas con materiales regionales
- ◆ Modelos predictivos de la vida útil de estructuras de hormigón
- ◆ Evaluación de patologías y reparación de estructuras de hormigón y del patrimonio arquitectónico
- ◆ Otros temas de interés del campo de la tecnología del hormigón

Lugar de realización: Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional.

Organización y Secretaría: Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH) Avenida Corrientes 2438, 4to. piso, “D”, Telefax 54-11-49526975 – e-mail: aath@aath.org.ar - <http://www.aath.org.ar>

Setor construtivo discute obras logísticas e industriais

A retomada do crescimento econômico brasileiro fez aumentar a importância das obras logísticas e industriais. Para debater seu mercado, a qualidade e a produtividade, a importância dos pisos nesse segmento e a demanda por capacitação técnica, a LPE Engenharia está organizando o **1º Seminário "Obras Logísticas e Industriais: uma visão de valor"**, em comemoração aos seus 15 anos de atividade.

A abertura do evento acontece dia 6 de julho, no Club Transatlântico, em São Paulo, com participação do vice-presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helene. Estão programadas as seguintes palestras:

- ◆ **Wagner Gasparetto – LPE Engenharia:** Mercado de pisos e marketing de serviços;
- ◆ **Alessandro C. Cezar – Mecalux do Brasil:** Sistemas logísticos de alta produtividade;

- ◆ **Públio Penna Firme Rodrigues – LPE Engenharia:** Evolução das técnicas de projeto e execução de pisos;
- ◆ **Luís Augusto Milano – Matec:** Gerenciamento de obra e garantia da qualidade;
- ◆ **Daniel Fernandez – Sika:** Necessidades das obras industriais;
- ◆ **J. R. Braguim – ABECE:** Qualidade em projetos;
- ◆ **Cláudio Borges – Dumont Engenharia:** Pavimentos de concreto aeroportuários;
- ◆ **Lucio Vitor Soares – WTorre Empreendimentos Imobiliários:** Necessidades e exigências dos clientes – Uso da engenharia para o sucesso em obras.
Mais informações: www.lpe.eng.br.

Regional IBRACON Paraná apresenta panorama sobre concreto auto-adensável

O MC-Fórum Paraná apresentou a realidade nacional e mundial do concreto auto-adensável. O evento, ocorrido em 29 de maio último, contou com a seguinte programação:

- ◆ **Eng. Cesar Henrique Sato Daher (DAHER Tecnologia):** "Parâmetros para Dosagem do Concreto Auto-Adensável";
- ◆ **Eng. Jorge Christófolli (Sita Concrebrás):** "O Concreto Auto-Adensável em Obras Diversas";
- ◆ **Eng. Sandro Eduardo S. Mendes (UTFPR):** "O Concreto Auto-Adensável para Pré-Fabricados";
- ◆ **Eng. Dr. Tomas Sieber (MC-Bauchemie Alemanha):** "Dosagem e Aplicação do Concreto Auto-Adensável nos Padrões Europeus";
- ◆ **Eng. Shingiro Tokudome (MC-Bauchemie Brasil):** "Aditivos para Concreto Auto-Adensável".

Participaram 90 pessoas, entre profissionais e estudantes.



Dr. Thomas Sieber (MC-Bauchemie Alemanha) proferindo palestra sobre a realidade do CAA na Europa.

Organizado pela MC-Bauchemie e pela Diprotec, o evento teve o apoio do IBRACON-PR, do Núcleo de Qualidade do Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), da Concrebrás e da Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR).◆

O uso da calorimetria como uma técnica de controle tecnológico de materiais

P. Sandberg e H. Benini
Grace Construction Products

Resumo

Este artigo discute o uso da calorimetria como teste de rotina no controle da qualidade do concreto recebido e suas possíveis aplicações em campo.

Introdução

O controle de qualidade durante a produção, transporte e aplicação do concreto é crítico para assegurar o desempenho deste material. Inúmeros testes de controle de qualidade foram desenvolvidos e são rotineiramente aplicados para controle em campo da qualidade do concreto lançado, incluindo determinação do abatimento, teor de ar incorporado e resistência mecânica. Contudo, existem atualmente novos métodos de monitoramento da hidratação do cimento realizado nos concretos coletados em campo que podem fornecer informações precisas do comportamento no período crítico correspondente às primeiras horas após a aplicação do concreto.

A hidratação de materiais cimentícios em concretos é resultado de uma somatória de reações químicas exotérmicas

dos compostos do cimento, liberando calor. O monitoramento da hidratação pode ser medido como total de calor acumulado (pela variação da temperatura) ao longo do tempo. Pesquisas utilizando esta técnica, realizadas por W. Lerch, em 1946, já demonstravam que a taxa de liberação de calor pela hidratação depende grandemente da composição química e características físicas do cimento, presença de materiais cimentícios suplementares (SCM) e mais recentemente dos aditivos químicos utilizados. Tanto a dosagem dos materiais quanto as condições de cura são variáveis que devem ser consideradas. Desvios em quaisquer destes constituintes do concreto, quantidade ou característica, são facilmente detectados pelo monitoramento do calor de hidratação nas primeiras idades.

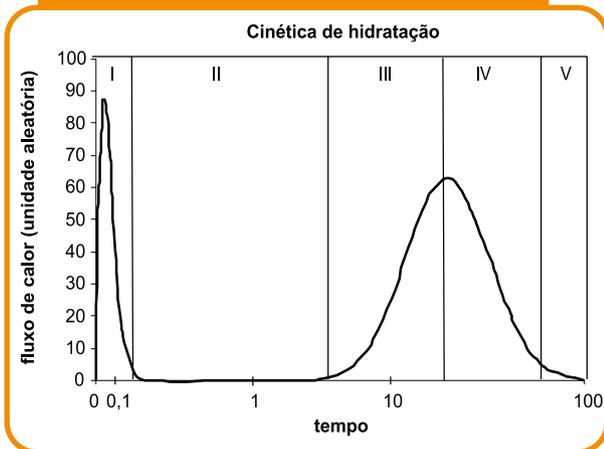
Calor de Hidratação

O calor de hidratação pode ser determinado por vários métodos. Tradicionalmente, é determinado pelo calor de solução segundo ASTM C 186 ou pela determinação do calor de hidratação pela Garrafa de Langavant. Mais recentemente, o uso do teste do calorímetro pelo monitoramento do calor de hidratação

Figura 1 - Calorímetro semi-adiabático para uso em campo



Figura 2 – Curva típica de calor de hidratação pelo tempo



pelo tempo tem sido freqüentemente adotado preferencialmente em laboratórios e centros tecnológicos.

Considerando desde um ponto de vista puramente teórico, existem dois principais tipos de testes de calorimetria: isotérmico e adiabático. Na calorimetria isotérmica, o calor de hidratação é medido pela determinação do fluxo de calor da amostra, enquanto a amostra e o ambiente no qual está inserida são mantidos em temperaturas aproximadamente constantes. Em um teste em calorímetro adiabático, o calor de hidratação é medido pelo monitoramento do fluxo de calor da amostra, enquanto esta é mantida sobre uma condição de isolamento térmico ideal com mínima perda de calor para o ambiente. Na medida em que um sistema isotérmico ou adiabático "perfeito" é quase impossível de se obter sem o uso de equipamento e ambientes bastante delicados e de altíssimo custo, o uso de teste de calorímetro semi-adiabático apresenta-se como uma aproximação adequada para fins práticos de aplicação sendo adotada com sucesso.

Na Figura 1, é mostrado equipamento semi-adiabáticos para uso em campo.

Na Figura 2, é apresentada uma curva típica de hidratação do cimento Portland, dividida em cinco etapas.

Etapa I – Pré-indução (primeiros minutos)

Imediatamente após o contato do cimento com a água, uma rápida dissolução

iônica de íons de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , OH^- , SO_4^{2-} presente no cimento solubiliza completamente nos primeiros segundos com formação simultânea dos primeiros hidratos. O cimento é dissolvido e reage com os íons de Ca^{2+} e SO_4^{2-} presentes na fase líquida, formando a etringita, que também se precipita na superfície da partícula de cimento (1). Este estágio dificilmente é totalmente medido por calorimetria devido ao período muito curto de reação

Etapa II: Período de indução /dormência (primeiras horas)

Durante este estágio até o início do período de aceleração o comportamento dos materiais cimentícios é determinado, particularmente, quanto às suas propriedades reológicas e de pega. A curva de liberação de calor de hidratação nesta etapa é praticamente nula, correspondendo ao estado fresco do concreto. À medida que a dissolução dos íons continua com o tempo, a concentração de C_3S precipitado aumenta, representando o término do período de dormência e iniciando o estágio 3.

Etapa III: Período de aceleração (3-12 h após a mistura)

Neste período, vários hidratos atingem a condição de supersaturação, o progresso da hidratação é acelerado novamente e torna-se controlado pela nucleação e crescimento dos produtos de hidratação, com rápida formação de C-H e C-S-H. A taxa de hidratação do C_3S aumenta e C-S-H, ou "segundo estágio", começa a ser formado. Quantidades significativas são formadas dentro de 3 h e os grãos apresentam-se totalmente cobertos após 4 h. As camadas internas crescem externamente e, em aproximadamente, 12 h possuem a espessura de 0,5-1,0 μm , estágio também conhecido como ponto de coesão, coincidindo com a taxa de liberação máxima, que corresponde aproximadamente ao término da pega. A estrutura interconectada das camadas é considerada importante na definição das propriedades mecânicas e outras propriedades, também dependentes da distribuição de partículas e cimento (2).

Etapa IV e V: Período de pós-aceleração (após 12 h)

Neste período, a taxa de hidratação diminui gradualmente, uma vez que a quantidade de material a reagir diminui e a taxa de hidratação passa a ser controlada pela difusão.

A fase C-S-H continua a ser formada através da contribuição da hidratação contínua de C_2S e C_3S . A contribuição do C_2S aumenta com o tempo e como consequência a taxa na qual o hidróxido de cálcio é formado diminui. Com a contínua diminuição da permeabilidade da camada hidratada formada, C-S-H começa a depositar-se internamente, e o crescimento da superfície em direção ao núcleo anidro ocorre mais rapidamente que a reação da alita (3).

Calorímetro de Campo

Atualmente uma grande quantidade de dados utilizando técnicas de calorimetria é descrita por laboratórios de pesquisa na investigação dos efeitos da hidratação de distintos materiais cimentícios e suas interações/compatibilidade com aditivos químicos (4). Contudo, não são encontrados muitos resultados de testes em aplicações reais em campo medindo o comportamento do material durante o uso.

Uma das justificativas é o fato dos calorímetros em sua maioria serem equipamento de alto custo e complexo para seu uso em obra; adicionalmente, um teste adiabático tradicional pode levar mais de uma semana para ser finalizado, além dos resultados serem de pouca praticidade quanto a sua interpretação. Outra preocupação, já em estudo por comissões de normas nos Estados Unidos, é a padronização de procedimento e equipamentos que permita a realização de testes com repetibilidade e confiabilidade adequada¹. Como forma de popularizar o uso desta técnica como teste de rotina de controle da qualidade do concreto, é necessária a oferta de equipamento de menor custo, robusto e simples para operação em campo e que forneça resultados fácil interpretação.

Uma curva típica obtida em um calorímetro semi-adiabático e a representação do fenômeno físico associado à hidratação do cimento é mostrada na Figura 3.

É possível de uma forma geral interpretar a curva de hidratação da amostra, verificando os pontos assinalados acima, como:

- Início do ensaio, coleta do concreto e adição no porta-amostras;
- Ajustes iniciais de equalização da temperatura do concreto comparado a temperatura do equipamento;
- Temperatura do concreto coletado;
- Período de dormência, estado fresco (é possível a identificação de reação de pega instantânea quando existe deficiência no teor de SO_3 disponível);

Figura 3 – Curva típica obtida em um calorímetro semi-adiabático

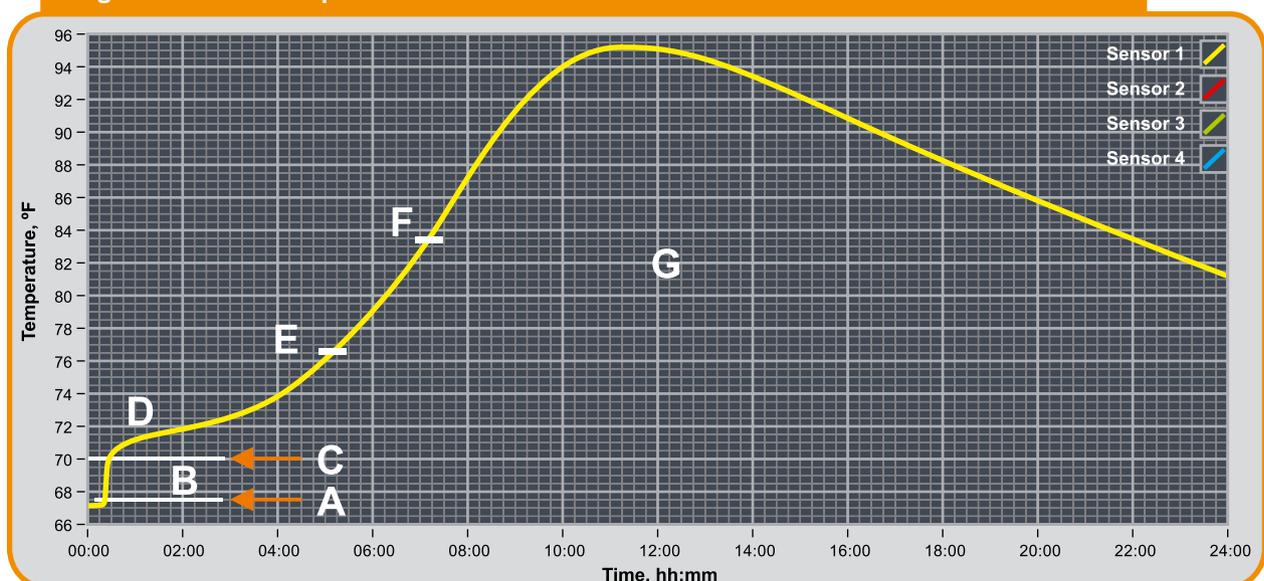
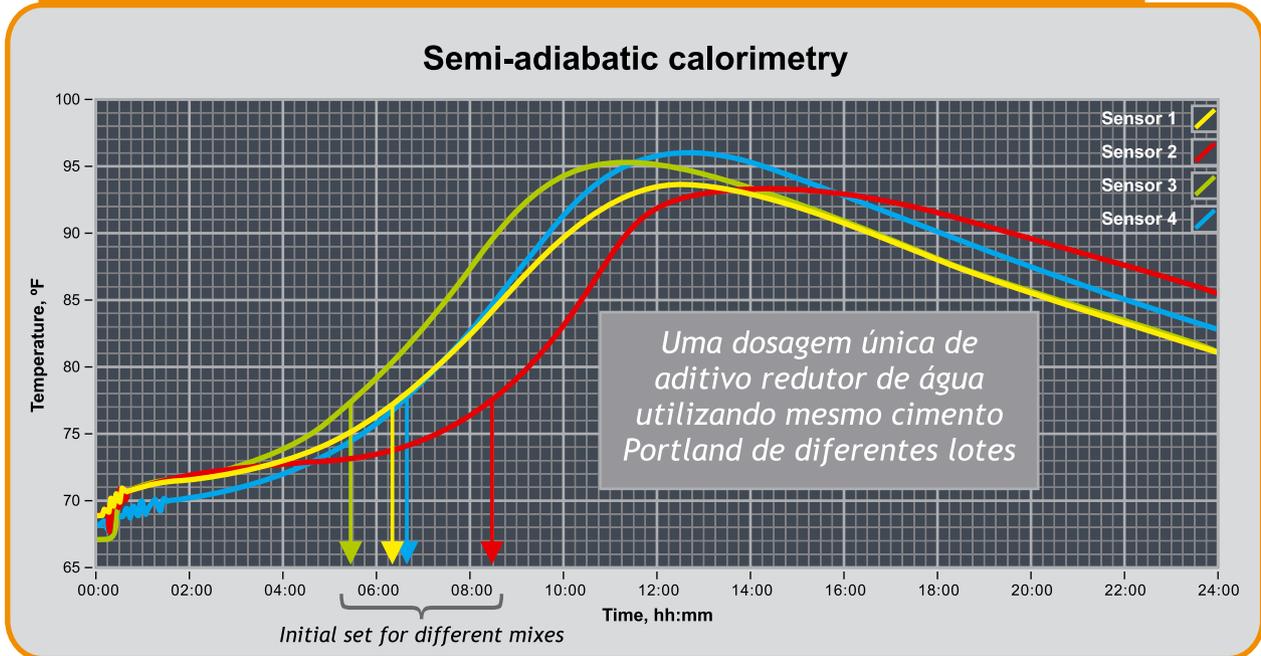


Figura 4 – Calorimetria semi-adiabática em equipamento de 8 canais, sendo utilizado apenas 4 canais. Comparativo do tempo de pega entre cimentos de mesmo tipo com uso de aditivo redutor de água



- e) Corresponde aproximadamente ao tempo de início de pega;
- f) Corresponde aproximadamente ao tempo de fim de pega;
- g) Hidratação dos silicatos responsáveis pelo desenvolvimento da resistência.

O uso de calorímetros em campo como uma ferramenta de controle da qualidade permite o estudo de reatividade de um aglomerante em combinação com os outros materiais (agregados e aditivos), considerando as condições de aplicação, incluindo a condições de mistura e temperaturas do concreto durante o recebimento, sendo útil em uma variedade de aplicações para os produtores de concretos, cimento, aditivo e empresas de controle tecnológico, particularmente na determinação:

- ◆ Interação cimento/aditivo;
- ◆ Seleção de materiais;
- ◆ Previsibilidade do concreto (estado fresco e endurecido);
- ◆ Uniformidade de lotes entregues (caminhões);
- ◆ Liberação para acabamento e corte de juntas de pisos e pavimentos de concreto.

EXEMPLO DE CAMPO 1: COMPARATIVO DE CIMENTOS DE MESMO TIPO PRODUZIDOS EM DIFERENTES FÁBRICAS

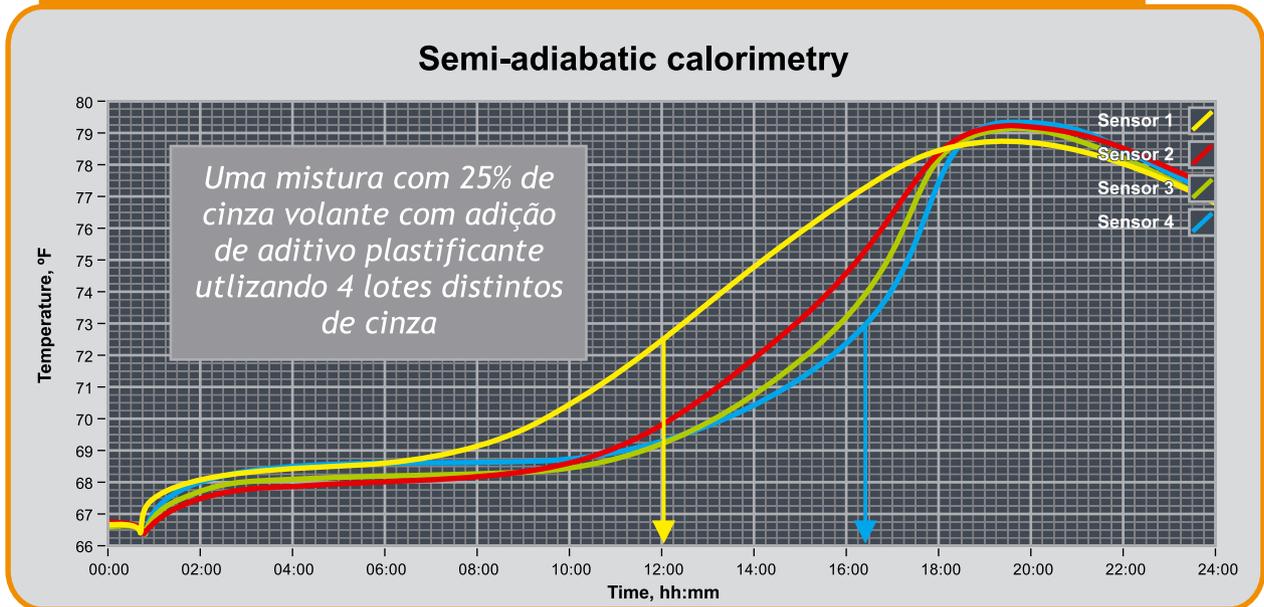
Na Figura 4, são apresentadas as curvas de quatro cimentos de mesmo tipo,

porém produzidos a partir de um mesmo clínquer, utilizando o mesmo aditivo redutor de água. Pode-se notar que a área total do gráfico para as quatro diferentes curvas é similar e, portanto, não é esperado grandes diferenças no desenvolvimento da resistência inicial ou tempo de fim de pega. A curva relativa ao sensor 2 (vermelho) mostra um período de indução prolongado e, portanto, maior tempo de início de pega; enquanto o sensor 3 (verde) mostra uma amostra com tempo de pega sensivelmente menor. Dessa forma, é possível concluir que os cimentos em combinação com os aditivos podem apresentar um comportamento diferenciado mesmo tratando-se de cimentos com composições similares, produzidos a partir de um mesmo clínquer.

EXEMPLO DE CAMPO 2: VARIABILIDADE DE UNIFORMIDADE DA CINZA VOLANTE UTILIZADA NO CONCRETO

Neste exemplo, foram acompanhados alguns recebimentos de cinza volante adicionado ao cimento puro durante a produção do concreto. A variação da cinética de hidratação medida através da estimação do tempo de início de pega, mostrado no gráfico, entre os diferentes lotes, mostra valores de 12 a 16,5 horas em

Figura 5 – Calorimetria semi-adiabática. Estudo de variabilidade de materiais/compatibilidade em uso



uma mesma temperatura de cura e dosagem de materiais. Esta variação representa um risco de desempenho não satisfatório quanto a forma e endurecimento do concreto aplicado, tornando mais sensível às variações de temperaturas baixas e concentração de aditivos.

Conclusão

O uso do calorímetro semi-adiabático em campo permite avaliar em condições reais o comportamento do concreto com seu uso recomendado para:

Seleção de definição de materiais

- ◆ Comparar misturas usando diferentes tipos/fábricas de cimento;
- ◆ Comparar a interação cimento/aditivos utilizado diferente tipos e marcas de produtores;

- ◆ Avaliar reatividade dos cimentos compostos;
- ◆ Determinar dosagem ótima de aditivos com um determinado cimento/traço.

Investigação de Problemas de desempenho

- ◆ Incompatibilidade de materiais;
- ◆ Identificação de super-dosagem de aditivo;
- ◆ Identificação de tendência à pega instantânea;
- ◆ Auxilia na determinação do teor de gesso ótimo para o cimento.

Variabilidade dos Materiais

- ◆ Teste de desempenho in loco do concreto recebido;
- ◆ Variabilidade de materiais (cimento, proporção e mistura);
- ◆ Compatibilidade cimento/aditivo em condições reais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] LAWRENCE, D.; HEWLETT, P.C. Lea's Chemistry of Cement and Concrete , 4th edition, p. 343 - 351. 1998.
- [02] ODLER, I. and SKALNY, J. In Materials Science of Concrete II (ed. Skalny), p. 319. American Ceramic Society, Westerville, OH, 1992.
- [03] TAYLOR, H.F.W. Cement chemistry. Academic Press, London, 2nd, 1990.
- [04] WCZELIK, W.N. Thermal methods and microcalorimetry application in the studies of low energy cements. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. Vol 38. number 4, 1992. pp 771-775.
- [05] SANDBERG, P. Material Compatibility Issues Addressed in New ASTM Concrete Standard, 2004. ASTM C 1689. ◆

Panorama da Indústria Cimenteira no Brasil

Samara Miyagi
All Consulting

A indústria cimenteira tem vivenciado, nos últimos dois anos, um cenário bastante atípico. As vendas de cimento no País, assim como a atividade produtiva das empresas do setor, têm registrado níveis recordes e valores jamais antes alcançados.

Cabe lembrar que, a partir do ano 2000, o setor de cimento sofreu uma queda acentuada no seu desempenho, com destaque para o ano de 2003, quando foram registrados os menores volumes produzidos e comercializados. Levando-se em consideração o fato de que a indústria de cimentos é bastante intensiva em capital e que possui custos fixos elevados de manutenção, a crise registrada no período gerou alta ociosidade das empresas.

A virada desse quadro negativo veio com a recente recuperação da economia nacional, propiciando níveis melhores de renda e emprego da população e, conseqüentemente, possibilitando um maior poder de compra dos consumidores. Somando-se a isso, a alta na disponibilidade de crédito e taxas menores de juros aplicados aos financiamentos incrementaram a demanda no setor imobiliário, refletindo diretamente nas indústrias de materiais de construção, inclusive de cimento.

Analisando-se dados divulgados pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), pode-se notar que, de 2003 para 2007, ocorreu uma alta de 32,1% no volume produzido e de 29,0% no consumo aparente dos produtos do setor.

Os resultados extremamente positivos e o aquecimento na demanda acabaram gerando alguns gargalos na indústria de cimentos. O principal problema que passou a assolar

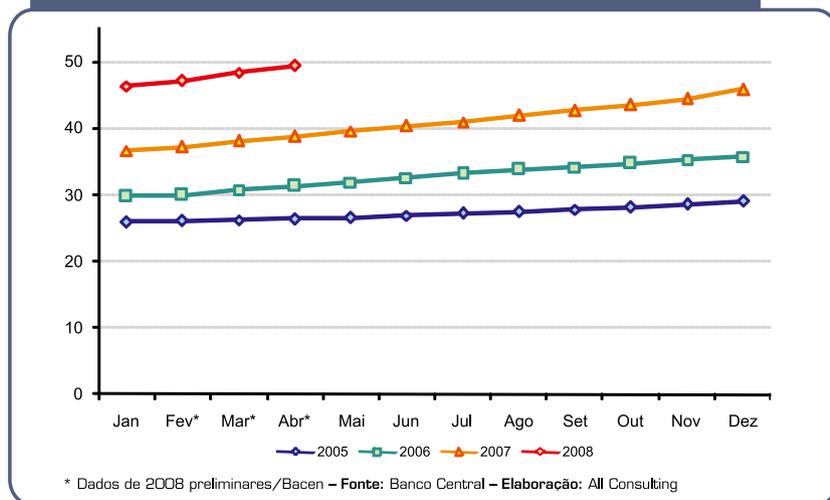
o setor foi a oferta limitada, tendo em vista que as empresas estão com dificuldades em atender à elevada procura.

Além disso, visando aproveitar o bom momento do setor, alguns players estão começando a investir em aquisições e fusões, o que resulta numa maior concentração do mercado – ações estas que estão sendo acompanhadas de perto pelo Conselho Administrativo de Defesa Econômica (CADE), para tentar evitar problemas futuros para o setor.

Na outra ponta da cadeia estão os consumidores finais, que com a oferta restrita, muitas vezes acabam sendo prejudicados pelo aumento nos preços do cimento, gerando custos maiores para o orçamento familiar.

Cabe frisar também que, com a demanda aquecida, muitas cidades localizadas mais distantes dos grandes pólos produtores já chegaram a ter que racionar o volume comercializado, na busca de atender um número maior de consumidores, tendo em vista outro gargalo do setor, o logístico, que acarreta em maior tempo necessário para a reposição dos estoques.

Gráfico 1 – Operações de crédito do sistema financeiro setor privado – habitação (em R\$ bilhões)



Nesse cenário, muitas cimenteiras estão investindo na expansão para outras regiões do Brasil, montando filiais em outros estados que estão apresentando boas perspectivas de desenvolvimento e crescimento do mercado imobiliário e, conseqüentemente, da indústria do cimento.

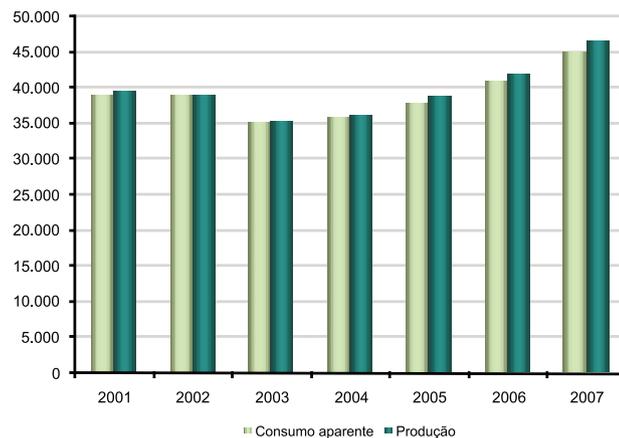
Estima-se que o setor apresente em 2008 resultados ainda bastante favoráveis, principalmente, em virtude das expectativas de continuidade do desempenho positivo da economia. Vale lembrar que, este ano, serão realizadas eleições municipais, fato este que contribui para o setor na medida em que muitas obras são realizadas em caráter de urgência.

As indústrias de cimento, estimuladas pela inserção em novos mercado, deverão ampliar os níveis de produção e comercialização, visto que estão começando a descobrir oportunidades no mercado internacional através

de parcerias com empresas de outros países.

Por fim, alguns setores demandantes das cimenteiras deverão contribuir para a continuidade de crescimento vigoroso das mesmas, com destaque para o imobiliário, o da construção pesada e o de hotelaria e turismo, que deverá ser intensificado nos próximos anos. ♦

Gráfico 2 – Consumo Aparente e Produção de Cimento (em mil toneladas)



* Até Fev/2008 – Fonte: SNIC – Elaboração: AII Consulting



Cursos Master PEC – Master em Produção de Estruturas de Concreto

Programa de cursos de atualização tecnológica ministrado pelo IBRACON



“PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO”
07 de Setembro de 2008

50º Congresso Brasileiro do Concreto,
Centro de Convenções da Bahia, Salvador – Bahia

OBJETIVO

O curso apresenta uma visão sistêmica do sistema construtivo com pré-moldados de concreto, desde a fase de contratação até a montagem das estruturas, incluindo controle de qualidade, normalização e sustentabilidade

PROGRAMA DO CURSO

- Princípios Elementares
- Tipologia e aplicação dos elementos da estrutura
- Projeto, Produção e Montagem
- Normalização
- Controle de Qualidade
- Vantagens

PROFESSORA

- Eng^a Íria Lícia Oliva Doniak
- Engenheira Civil, graduada pela PUC-PR em 1988; atua no setor concreto desde 86, quando iniciou suas atividades em Laboratório de Controle Tecnológico.
- Posteriormente, atuou em central de concreto, em nível de gerência operacional e técnica; atuou também na indústria cimenteira.
- Desde 97, é consultora da D.O. Engenharia e Projetos, com foco principal em construção pré-fabricada.
- Membro do Comitê de Revisão da NBR 9062 – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado.
- Diretora de Qualidade Abcic de 2004 a 2007.
- Atualmente, Diretora Executiva da Abcic – (Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto).

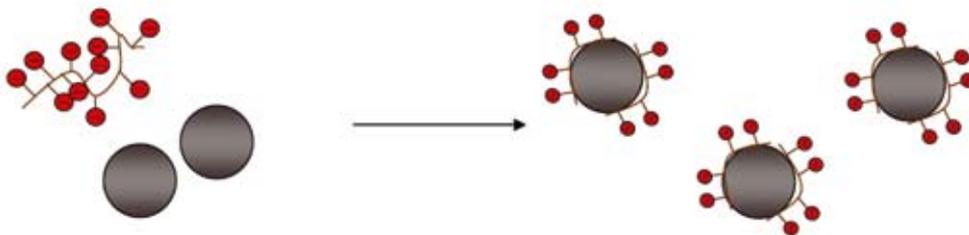
PATROCINADOR



O estudo da adsorção no desenvolvimento de aditivos superplastificantes baseados em éteres policarboxílicos

Thais dos Santos Souza
BASF Construction Chemicals

Figura 1 – Mecanismo de dispersão eletrostática: as moléculas orgânicas negativamente carregadas adsorvem na superfície das partículas, que adquirem carga líquida negativa e dispersam-se umas das outras por repulsão eletrostática



1. Introdução

Os aditivos são compostos químicos adicionados ao concreto, em dosagens de até 5%, a fim de modificar uma ou mais propriedades do seu estado fresco ou endurecido. Em muitas ocasiões, eles são imprescindíveis para a obtenção de um concreto com características previstas.

As propriedades do concreto majoritariamente são governadas por sua consistência (propriedade reológica), que é controlada pela dispersão das partículas de cimento; esta dispersão é alcançada, principalmente, com o uso de aditivos superplastificantes (SPs) de terceira geração, dentre eles os policarboxilatos (PCs).

Se, por um lado, os PCs permitem a produção de concretos com características

de fluidez especiais, como no campo de concretos de alto desempenho (CAD), por outro permitem a utilização de traços com relações água/cimento muito baixos. Assim, CADs com resistências e durabilidade muito altas podem ser fabricados. Os PCs agem adsorvendo nas partículas do sistema (principalmente de cimento), dispersando as mesmas, fazendo com que defloquem e se separem; aplicam-se muito bem na fabricação de CADs com propriedades reológicas bem ajustadas ao método e condições de processamento. Por esse motivo, os estudos da taxa de adsorção e de seu efeito dispersante têm se tornado cada vez mais uma ferramenta poderosa, tanto para o desenho de novas moléculas de éteres policarboxílicos (PCEs*) especiais para cada tipo de cimento, assim como para formulação final de aditivos para concreto.

*linha Glenium®, BASF Construction Chemicals.

2. Adsorção superficial e mecanismos de dispersão dos PCEs

A maioria dos SPs adicionados em concreto exibem uma afinidade com o cimento e com seus produtos de hidratação. As propriedades superficiais das partículas de cimento e sua interação com a solução aquosa são alteradas pela adsorção de compostos. Os SPs, por exemplo, sendo moléculas orgânicas carregadas (por exemplo, com grupos SO_3^- e CO_2^-), adsorvem por atração eletrostática: seus grupos negativamente carregados são atraídos pelas cargas positivas da superfície da partícula de cimento (Ver Figura 1). As cargas negativas das moléculas conduzem a superfície a adquirir uma carga líquida (potencial zeta) negativa. Isto induz ao aumento da dispersão do sistema por mecanismo de repulsão eletrostática (Ver Figura 1).

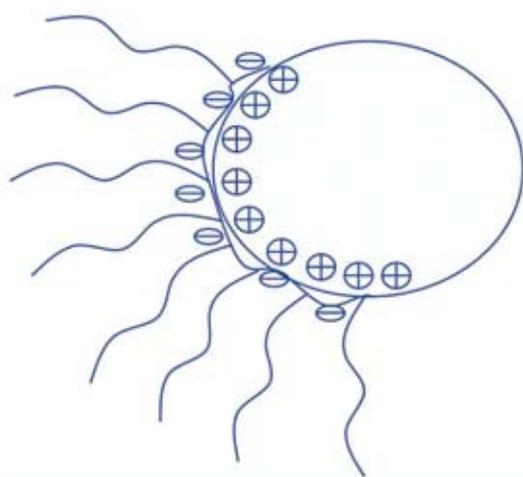
Grupos funcionais das moléculas (por exemplo OH) também podem interagir fortemente com as fases hidratadas polares do cimento, através de interações de pontes de hidrogênio.

No caso de SPs à base de éter policarboxílico (PCEs, do inglês "Polycarboxilic ethers"), aditivo polimérico de alto peso molecular, dotado de grupos hidrofílicos e iônicos, a adsorção também ocorre por atração eletrostática (Ver Figura 2a). A diferença é que sua dispersão é resultante de uma somatória de efeitos. Além da dispersão eletrostática, existe o mecanismo estérico adicional, que gera uma dispersão pronunciada e prolongada. Este mecanismo acontece devido à presença de cadeias laterais prolongadas ou de grande densidade na molécula do dispersante, impedindo fisicamente que as partículas onde estão adsorvidas se aproximem (Ver Figura 2b). O mecanismo estérico desempenha um importante papel, já que dispersantes de baixo peso molecular exibem baixa redução de água e fluidificação.

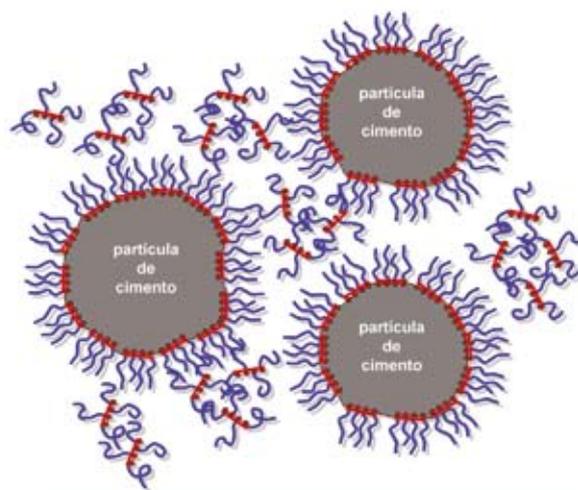
O mecanismo estérico-eletrostático de dispersão acaba tornando-se mais eficaz que o mecanismo eletrostático isolado, basicamente por dois fatores:

- ♦ (i) a repulsão eletrostática é dependente, principalmente, da quantidade de cargas negativas presentes na cadeia principal das moléculas; existe um limite máximo no número de cargas, acima do qual a

Figura 2 - a) Representação de uma molécula de PCE adsorvida em uma partícula de cimento. b) Adsorção e efeito dispersivo de uma molécula de PCE em um sistema cimentício. A adsorção acontece entre as cargas negativas dos terminais carboxílicos presentes na cadeia principal do polímero, que aliadas ao efeito estérico das cadeias laterais, contribuem para a fluidificação eficiente, diminuindo a demanda de água para uma consistência fixada, por exemplo

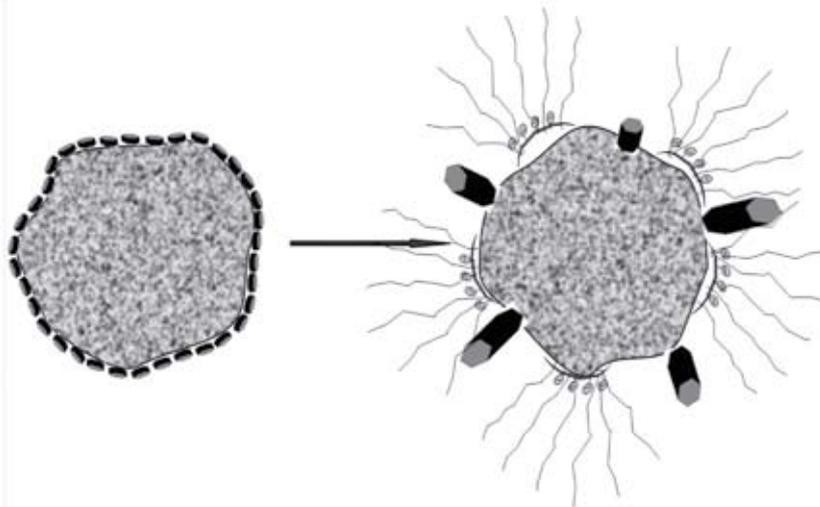


a



b

Figura 3 – O maior alcance espacial das cadeias laterais dos PCEs é um fato importante para um maior efeito dispersivo do mecanismo estérico quando comparado com o eletrostático, assim como pela manutenção da dispersão ao longo do tempo



adsorção da molécula é tão forte que não não restam espécies livres em solução para dispersão no tempo de trabalhabilidade requerido.

- ♦ (ii) a repulsão estérica é dependente da densidade e tamanho das cadeias laterais. Também existe um limite (de tamanho e densidade) de cadeias na molécula; porém este limite permite, em efeitos práticos, uma dispersão muito mais efetiva e/ou duradoura.

O maior efeito dispersivo do mecanismo estérico acontece pelo fato ser de maior alcance (espacial): os hidratos formados nos primeiros momentos de contato entre água e cimento possuem dimensão muito pequena quando comparados com a dimensão das cadeias laterais do dispersante adsorvido; o resultado é um grande afastamento entre as partículas (Ver Figura 3).

A maior durabilidade da dispersão estérica também pode ser explicada pelo tamanho das cadeias laterais diante dos hidratos formados ao longo do tempo (o intervalo de tempo para o recobrimento das cadeias laterais pelos hidratos é estendido), mas não só por isso. O tempo de dispersão também depende da habilidade das moléculas adsorverem nos produtos de hidratação do cimento quer se formam.

Estas características dos PCEs permitem que dois parâmetros possam ser observados e utilizados para o desenvolvimento de novos aditivos: taxa de adsorção e dosagem de saturação de superfície.

3. Influência da taxa de adsorção dos PCEs nas características de trabalhabilidade em CADs

Se, por um lado, a adsorção é dependente da composição química e da estrutura

Figura 4 – Sistema cristalino ortorrômbico: um tipo de sistema cristalino com três eixos cristalográficos perpendiculares entre si, todos com comprimentos diferentes

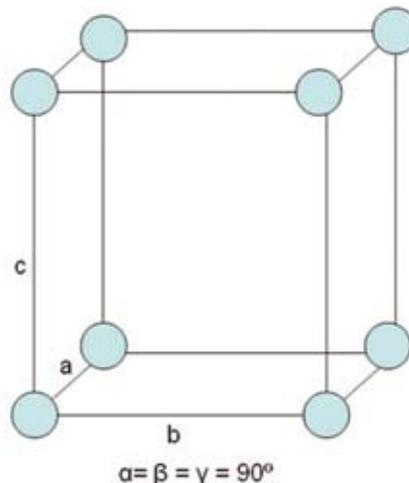
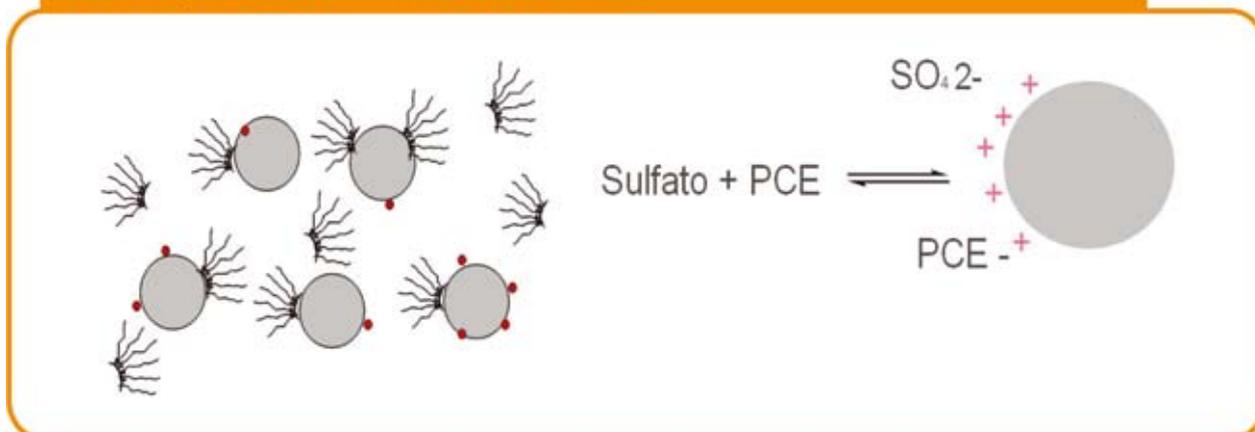


Figura 5 – Esquema de competição entre sulfatos e terminais carboxílicos do PCE pelos sítios de adsorção do cimento



molecular do dispersante, por outro, também é influenciada pela composição química do cimento, sua superfície específica e presença de adições.

É bem sabido que uma área superficial maior (superfície específica) disponível demanda uma maior quantidade de SPs para uma dispersão fixada. Entretanto, a adsorção seletiva nas partículas de cimento, a possível adsorção significativa nas adições e a provável “perda” de aditivo nos poros do agregado também devem ser avaliadas e medidas no projeto de um CAD aditivado.

Primeiramente, a adsorção não ocorre uniformemente na superfície do cimento;

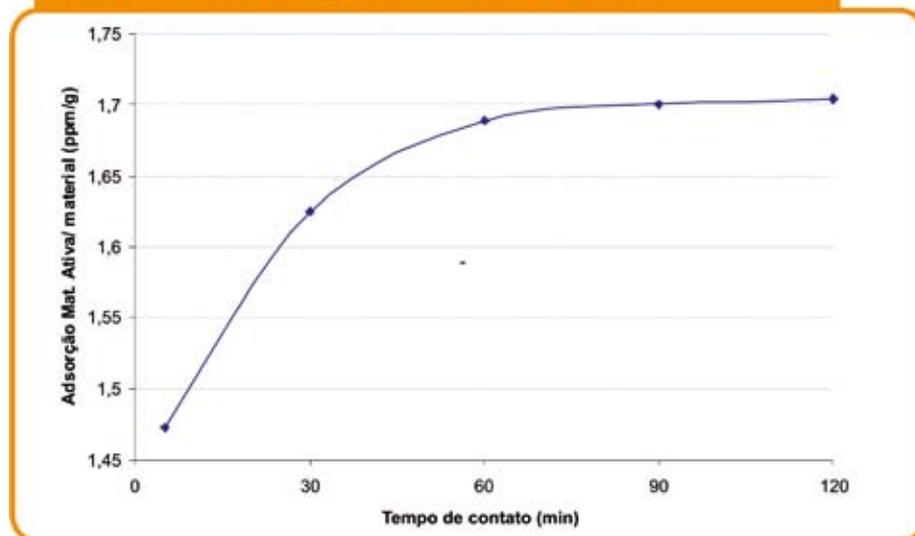
algumas fases cristalinas podem adsorver mais que outras. Estudos demonstram que, por exemplo, a adsorção de PCEs aumentam com a quantidade de C₃A do clínquer e também com sua forma cristalina ortorrômbica (Ver Figura 4).

Outro ponto importante que deve ser considerado é a presença de sulfatos: a quantidade de sulfatos solúveis e seu grau de hidratação também afetam a adsorção, pelo fato de competirem pelos mesmos sítios de adsorção que os PCEs (Ver Figura 5).

Em cimentos compostos ou até mesmo em concretos adicionados, a presença e quantidade de certos componentes (adições) alteram o comportamento de fluidificação. Isto acontece devido alguns PCEs possuírem afinidade maior que o limite esperado por esse tipo de material. Alguns agregados também podem ter o mesmo comportamento, além de contribuírem na “perda” de dispersante por absorção (dos poros).

A fim de se obter uma fluidificação do concreto bem planejada, é útil fazer o estudo de “controle de adsorção” dos PCEs, começando pela

Figura 6 – Taxa de adsorção de um material (cimento): quantidade de PCE1 adsorvido em cimento CPIII 40 ao longo do tempo, a uma dosagem fixa de PCE1 [acima da saturação] sobre massa de cimento



avaliação das taxas de adsorção no cimento, adições e agregados do traço, e depois partindo para a “engenharia de polímeros”, se for o caso.

3.1. AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO DE UM PCE

A medição de carbono orgânico total (TOC, “Total Organic Carbon”), que é feita em solução aquosa diluída, é um método rápido para medir o comportamento de adsorção de dispersantes ao longo do tempo. O teste é feito com a quantificação da redução de PCE em fase aquosa (*pore solution*), antes, após a mistura, e ao longo do tempo, através de um analisador TOC.

Obtém-se um perfil de adsorção tanto dos materiais em separado (que alimenta um banco de dados) e de uma argamassa que simula o concreto em pequena escala: o *fine*

mortar. Cruzando os dados de adsorção e fluidificação em finemortar, é possível fazer uma boa previsão do que pode acontecer em concreto. Os dados obtidos fornecem informações de taxa de adsorção e dosagem de saturação.

A taxa de saturação mostra o quanto o aditivo adsorve na superfície do material (finemortar ou seus componentes separados) ao longo do tempo, a certa dosagem (Ver Figura 6). Este perfil de adsorção reflete na fluidificação do material (Ver Figura 7).

A dosagem de saturação do material é aquela acima da qual não há aumento de adsorção pela superfície do material (Ver Figura 8).

3.2 AVALIAÇÃO DA DOSAGEM DE SATURAÇÃO E TAXA DE ADSORÇÃO: A CHAVE PARA A MANUTENÇÃO DA TRABALHABILIDADE

Os PCEs são completamente ad-

Figura 7 – Fluididez do mesmo material da Figura 6 ao longo do tempo. Cimento CPIII 40, a uma dosagem fixa de PCE1 [acima da saturação] sobre massa de cimento

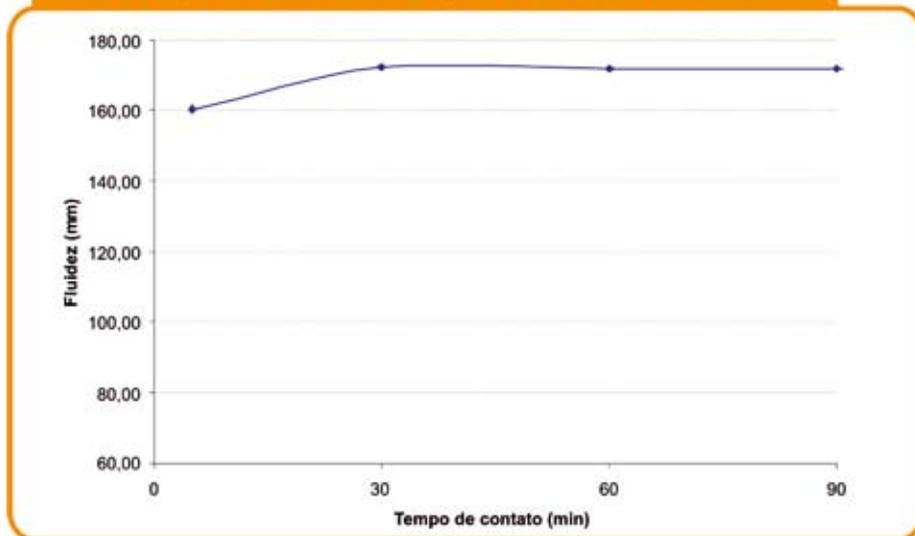
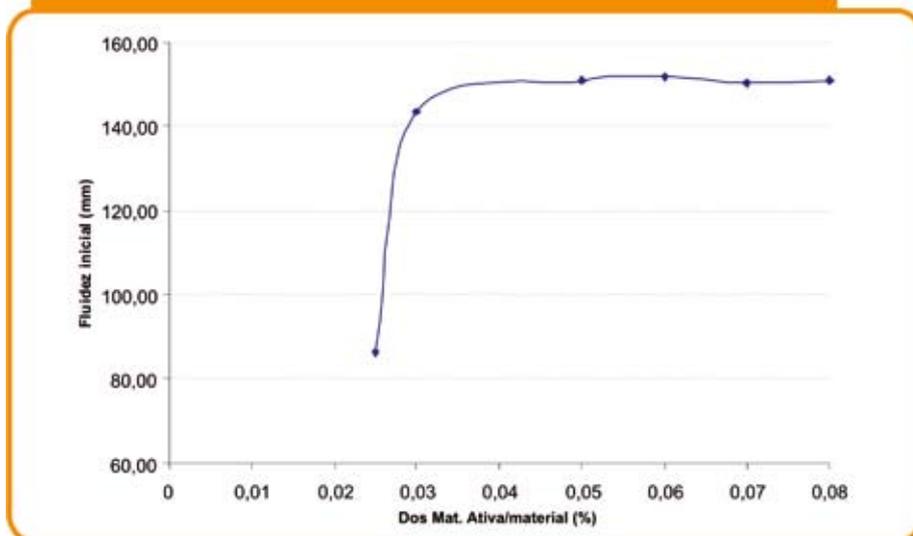


Figura 8 – Dosagem de saturação de um material (cimento): dosagem de PCE1 em cimento CPIII 40 acima do qual não há aumento de fluidificação do material. Acima de 0,05-0,06% de Mat. Ativa sobre peso de cimento, um aumento da dosagem não implica em maior adsorção



sorvidos em dosagens mais baixas que a dosagem de saturação da superfície do cimento. Em baixas dosagens, todo o aditivo adicionado está trabalhando para a dispersão. Acima da dosagem de saturação, não há mais superfície disponível, e consequentemente parte do aditivo permanece em solução. Isto faz com que as moléculas livres sejam capazes de ir adsorvendo ao longo do tempo nos hidratos formados, mantendo a dispersão por um tempo maior, até o seu completo esgotamento. Esta adsorção também deve ter uma taxa (velocidade) compatível com a formação da etringita ($C_3A \cdot 3CSH_{32}$, hidrato resultante da reação entre aluminato tricálcico e gesso). Tal característica é uma vantagem sobre os lignosulfonatos (dispersantes feitos a partir de um subproduto da indústria de celulose) que adsorvem quase que completamente nos primeiros instantes, formando uma multicamada ao redor da partícula.

Trabalhar com um dispersante adequado e com dosagem acima do limite de saturação pode significar ter uma prolongada manutenção de trabalhabilidade no concreto.

A alimentação do banco de dados com estas informações é uma fonte valiosa para o desenvolvimento de moléculas específicas para os materiais, ou até mesmo para

desenvolvimentos futuros de concretos: por exemplo, usando o PCEs disponíveis com adsorção/dispersão adequada no cimento, baixa adsorção nos agregados, etc.

A utilização de superplastificantes base PCE é uma vantagem para a etapa de engenharia de polímeros, pois se tratam de copolímeros dotados de estruturas químicas com potencial de serem modificadas conforme a necessidade. Além do tamanho da cadeia principal, a densidade de cargas, densidade e tamanho das cadeias laterais podem ser montadas para o requerido comportamento de adsorção e dispersão de um projeto de CAD.

4. Conclusão

A habilidade de dispersão de éteres policarboxílicos é significativamente maior que outros tipos de superplastificantes, principalmente por possuir dois mecanismos de dispersão aliados. Seguindo essa linha, o estudo da adsorção destes aditivos químicos nas partículas de cimento torna-se um fator chave no seu mecanismo de ação, controlando a dispersão e, conseqüentemente, a reologia de sistemas cimentícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Roncero, J.; Gimenez, V.; Corradi, M; "What makes more effective Polycarboxylates comparing to Lignosulphonates?. Differences on adsorption mechanisms". BASF Construction Chemicals Espana, S.A.
- [02] Dransfield, J. M.; "Leaching of organic admixtures from concrete". Secretary to the UK Cement Admixture Association (CAA) and EFCA (the European Federation of Concrete Admixture Associations).
- [03] Lim, G.-G.; Hong, S.-S.; Kim, D.-S.; Lee, B.-J.; Rho J.-S.; "Slump loss controlo f cement by adding polycarboxylic type slump-releasing dispersant". Cement and Concrete Research 29 (1999), 223-229.
- [04] Yamada, K.; Ogawa, S.; Hanehara, S.; "Controlling of the adsorption and dispersing force of polycarboxylate-type superplasticizer by sulfate íon concentration in aqueous phase". Cement and Concrete Reserch 31 (2001), 375-383.
- [05] Chandra, S.; Bjornstrom, J.; "Influence of cement and superplasticizers type and dosage on the fluidity of cement mortars – Part I". Cement and Concrete Reserch 32 (2002), 1605-1611.
- [06] Chandra, S.; Bjornstrom, J.; "Influence of cement and superplasticizers type and dosage on the fluidity of cement mortars – Part II". Cement and Concrete Reserch 32 (2002), 1613-1619.
- [07] Golaszewski, J.; Szwabowski, J.; "Influence of superplasticizers in rheological behaviour of fresh cement mortars". Cement and Concrete Reserch 34 (2004), 235-248.
- [08] Li, C.-Z.; Feng, N.-Q.; Li, Y.-D.; Chen, R.-J.; "Effects of polyethylene oxide chains on the performance of polycarboxylate-type water-reducers". Cement and Concrete Reserch 35 (2005), 867-873.
- [09] Winnefeld, F.; Becker, S.; Pakusch, J.; Gotz, T.; "Effects of the molecular architecture of comb-shaped superplasticizers on their performance in cementitious systems". Cement & Concrete Composites 29 (2007), 251-262.◆

Obras simples devem reocupar espaço nobre na engenharia

Álvaro Rodrigues dos Santos

Consultor em Geologia de Engenharia, Geotecnia e Meio Ambiente

Difícilmente um engenheiro brasileiro formado mais recentemente, incluindo aqueles provenientes das escolas de engenharia tidas como as melhores do país, saberá projetar ou construir (ou até nem saberá o que mesmo venha a ser) um “pano de pedra” para proteção superficial de taludes, um muro de contenção de pedras rejuntadas, um revestimento primário em estradas não pavimentadas, paliçadas de pedra para dissipação de energia hidráulica, pequenos aterros/barragem, estruturas simples de vertedouros com pranchas de madeira, uma proteção de margens de córregos com sacos de

solo-cal, uma pequena ponte estorcada de madeira, um dreno “espinha de peixe”, enfim, todo um enorme elenco de obras e soluções de caráter simples, de extrema eficiência e resolutividade e que formidáveis serviços vem prestando ao país ao longo de tanto tempo.

Mas, sem dúvida, esses mesmos jovens engenheiros terão formação escolar suficiente para colaborar em projetos de grandes barragens, usinas nucleares, pavimentos rígidos e flexíveis de autopistas, estruturas atirantadas de contenção, ousadas pontes estaiadas, túneis longos e tantas outras espetaculares e sofisticadas obras de engenharia.

É como se, por um motivo qualquer, a engenharia brasileira (engenharia, arquitetura, geologia, agronomia) tivesse passado a associar o conceito de obras simples, ou, em um sentido mais abrangente, de soluções simples com a imagem de tecnologias ultrapassadas e/ou ineficientes.

Obviamente, não se trata de se pretender ingenuamente que obras tecnologicamente complexas possam ser em qualquer



Proteção de margens com sacos de solo-cal

situação substituídas por obras simples, ambas evidentemente têm seu lugar e hora. E, diga-se de passagem, podem e devem conviver em um mesmo empreendimento. No entanto, o fato real é que, pela perda da memória decorrente da falta do devido registro bibliográfico e pelo já falecimento de quase toda última geração de engenheiros e mestres de obra que dominaram, em grande parte empiricamente, o uso de obras simples no país, assim como pelo desprezo com que hoje escolas de engenharia tratam a questão, ou simplesmente não a tratam, a engenharia brasileira está na prática deixando progressivamente de contar com a possibilidade real de ter essa alternativa como solução de tantos de seus problemas, mesmo nas situações (e são inúmeras) em que ela, a obra simples, constitua a alternativa de engenharia mais adequada técnica e economicamente para a solução pretendida.

Resultado: ou o problema fica sem solução e progressivamente se agrava (o que é mais



Proteção de margens com pano-de-pedra

comum) ou se adota, paradoxalmente por falta de conhecimento, uma solução sofisticada e cara que não seria adequada nem necessária. E que muitas vezes, apesar dos altos custos envolvidos, acaba em frágil e insucesso técnico.

É de se imaginar a gravidade econômica e social dessa conjunção tecnológica para um país, como o Brasil, de dimensões continentais, fisiografia tropical diversificada e crônica escassez de recursos.

Vejam um exemplo didático. A rede brasileira de estradas de rodagem alcança um total de aproximadamente 1.800.000 quilômetros, dos quais cerca de 1.600.000 correspondem a estradas vicinais e rurais de terra. Somente no Estado de São Paulo, o estado mais desenvolvido do país, a rede rodoviária total atinge cerca de 200.000 quilômetros, dos quais perto de apenas 27.000 correspondem a rodovias pavimentadas, ou seja, menos de 15% do total.

Desses números depreende-se de forma clara e inequívoca a importância da rede rodoviária de estradas de terra para a economia nacional e para as economias estaduais e municipais. Grande parte de nossa produção agrícola e agroindustrial é ainda transportada, especialmente nos trechos iniciais de suas rotas, por estradas de terra. Como também, na zona rural, milhões de pessoas utilizam-se diariamente dessas estradas nas suas locomoções para o trabalho, para escolas, para atendimentos de saúde, para vender e comprar mercadorias, enfim para todos os tipos de atividades humanas que exijam algum deslocamento.

Pois bem, a partir especialmente dos anos 60/70 procedeu-se uma mudança radical nas tecnologias de conservação das estradas de terra. Do antigo sistema apoiado na histórica

figura do “conserveiro”, qual seja o funcionário cuja missão permanente estava na correção de pequenos defeitos em um pré-combinado trecho viário (algo como 10 quilômetros por “conserveiro”), impedindo, através de soluções simples e localmente adaptadas, a evolução de problemas por atacá-los logo em seu início, passou-se aceleradamente para a conservação mecanizada, essencialmente baseada na utilização sistemática da “patrol”, qual seja a moto-niveladora. A adoção intempestiva da tecnologia de conservação apoiada na ilusória eficiência da “patrolagem” sistemática implicou na contínua ras-

pagem/remoção da camada de solos de melhor qualidade compactada pelo tráfego e, por decorrência, no progressivo aprofundamento da estrada (pista em caixão), dificultando a drenagem, expondo camadas de solo cada vez menos consistentes e potencializando extraordinariamente os processos erosivos destrutivos. Um verdadeiro desastre tecnológico para nossa



Muro de pedras rejuntadas

rede de estradas de terra, ajudando muito explicar o atual lamentável estado em que se encontram. Agravantemente, com o desaparecimento da figura do "conserveiro" e dos mestres de obra que orientavam seus trabalhos, muita técnica boa e simples se perdeu, uma vez que esses conhecimentos empíricos nunca foram devidamente registrados ou ensinados para o aproveitamento de outras gerações de funcionários.

A estratégia até agora prevalecente do combate às enchentes na Região Metropolitana de São Paulo, pela qual se privilegia as grandes obras hidráulicas de alargamento/

aprofundamento/canalização do rio Tietê e tributários e, mais recentemente, a construção de piscinões (verdadeiros atentados sanitários e ambientais no tecido urbano), deixando totalmente de lado a alternativa de se combater a erosão e recuperar a capacidade de infiltração e retenção de águas de chuva através da implementação de um conjunto grande de pequenas intervenções, expõe claramente as graves consequências econômicas e ambientais do abandono cultural e preconceituoso das soluções simples.

Um outro exemplo. Por puro modismo tecnológico o concreto projetado com tela de armação, técnica também conhecida por "tela argamassada", vem sendo atualmente adotado como solução para os mais variados problemas de estabilidade de taludes. Seja o caso de uma suspeita de ruptura profunda, seja o caso do risco de desprendimento de blocos de rocha, seja o caso de uma desagregação ou uma erosão superficial, ou outro fenômeno qualquer, lá está a "milagrosa" solução: tela com concreto projetado, alternativa cara e exigente de equipamentos pesados para sua execução. Pois bem, em grande parte dos casos em que a tela argamassada seria tecnicamente indicada (problemas superficiais de estabilidade), aplicar-se-ia, com muito menor custo, com emprego de materiais e mão de obra locais, o simples e eficiente "pano de pedra" (uma camada de pedras assentadas e rejuntadas solidariamente sobre a superfície do talude). Porém, desgraçadamente, alternativas simples como essa já não estão mais presentes na lembrança de contratantes e contratados.

O mesmo quadro tecnológico se observa na obsessão em se enfrentar os problemas de enchentes urbanas somente através de obras



Pequeno muro de concreto armado com contrafortes

estruturais caríssimas (alargamento e aprofundamento das calhas dos cursos d'água, piscinões, etc.) deixando-se de lado a alternativa de se recuperar a capacidade de infiltração e retenção de águas de chuva na área através da implementação um conjunto grande de obras e providências simples.

É preciso que a engenharia nacional entenda que obras e soluções simples não significam tecnologias ultrapassadas. Pelo contrário, constituem um campo tecnológico ao qual inclusive deve, por sua importância, ser dada uma enorme atenção em pesquisa tecnológica para o desenvolvimento de novas concepções e inovações. Nesse aspecto, recentemente foi desenvolvida pelo autor do artigo a técnica Cal-Jet, prática, barata e simples, capaz de eficientemente proteger um talude de solo da erosão através da pulverização de calda de cal com aditivo aglutinante.

Enfim, um saudável retorno ao princípio básico de sempre aliar-se a busca da eficiência tecnológica com a busca da maior economicidade possível automaticamente implicará em uma convivência virtuosa entre obras simples e sofisticadas. Para tanto faz-se indispensável que nossas escolas de engenharia, como também as escolas de arquitetura, geologia e agronomia, dediquem a atenção devida ao ensino e ao registro bibliográfico dessas soluções de engenharia mais simples, talvez até com a adoção de disciplina específica para tanto. Seria também muito salutar e oportuno que as instituições clássicas da engenharia nacional (Sistema CONFEA/CREAs, Institutos e Clubes de Engenharia, Associações Técnicas...) colocassem o tema *Obras Simples* em pauta e o acolhessem em seus eventos técnicos. ♦

Aplicações práticas para concreto reforçado com fibras de aço: pisos industriais

Ivan Marassatto Masiero
Maccaferri do Brasil Ltda.

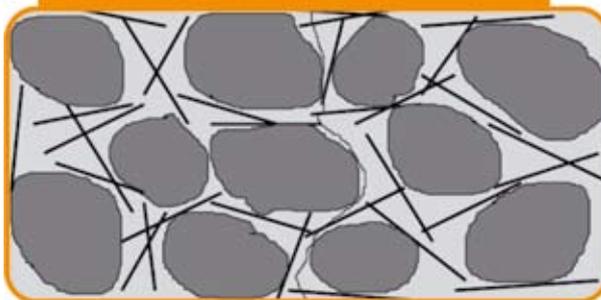
1. Conceito

Sem dúvida alguma, o concreto é o material mais utilizado pelo homem na construção de estruturas civis. São diversas as experiências e pesquisas realizadas para o aperfeiçoamento do mesmo, incluindo os estudos e ensaios relacionados ao uso de fibras para reforço. O CRFA, ou concreto reforçado com fibras de aço, nada mais é que o mesmo composto de concreto ao qual são incorporadas as fibras de aço. Com isso, cria-se dentro na matriz uma armadura tridimensional que promove notável aumento a resistência mecânica pós-fissuração do concreto.

Nos últimos anos, vivemos uma busca intensa pelo aperfeiçoamento de novas tecnologias na execução de estruturas para pisos industriais, sendo o CRFA, do ponto de vista técnico, extremamente competitivo em relação às estruturas tradicionalmente utilizadas.

A parte das modificações que estas fibras proporcionam ao CRFA, são muitos os estudos que visam determinar técnicas corretas quanto a sua

Figura 1 – Situação demonstrando a incompatibilidade entre fibras e agregado graúdo (FIGUEIREDO, 2000)



utilização e garantir o sucesso da aplicação das mesmas. Dessa maneira, torna-se essencial a divulgação das técnicas corretas de dosagem, das características principais do CRFA e suas particularidades. São conceitos bastante simples, porém importantes para o sucesso de uma obra executada em CRFA.

2. O CRFA e suas propriedades – especificações do traço

Antes da definição do traço do concreto, é necessário conhecer qual o seu uso e as propriedades de resistência pretendidas, além de conhecer também as suas condições de aplicação, manuseio e possíveis alterações de comportamento que outros elementos adicionados, no caso as fibras de aço, possam causar ao mesmo.

Em outras palavras, o exposto acima indica que uma boa especificação do concreto não deve apenas basear-se na resistência mecânica pretendida e sim considerar outros fatores, como segue:

Figura 2 – Fibras de comprimento adequado em relação ao agregado graúdo (FIGUEIREDO, 2000)

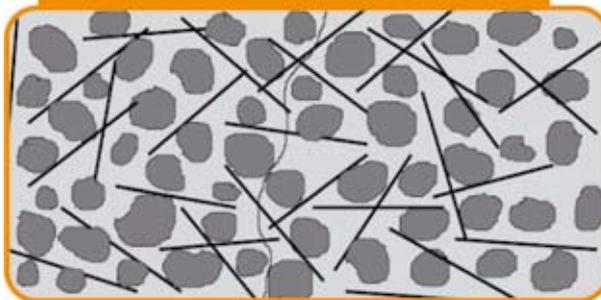


Figura 3 – Relação básica entre os parâmetros que condicionam a mistura



- ♦ **Compatibilidade dimensional com agregados graúdos:** A relação entre o comprimento da fibra e o comprimento característico dos agregados deve ser a seguinte: $L \text{ fibra} > 2L \text{ agregado}$. Esta compatibilidade é determinada uma vez que, com as referidas dimensões, proporcionamos ganhos significativos na interceptação das fissuras, que geralmente ocorrem na interface entre argamassa e o agregado (figuras 2 e 3).
- ♦ **Fator água/cimento:** Menor que 0,55. Para os casos onde não é atingida a trabalhabilidade necessária, indicamos o uso de aditivos plastificantes e não há restrição quando ao uso concomitante às fibras de aço. Além disso, sabemos que o fator água/cimento está diretamente relacionado a trabalhabilidade da mistura, ou seja, se alguma das três varia, então é necessário corrigir as demais para conservar a mesma resistência (figura 1).
- ♦ **Trabalhabilidade:** Entre as principais alterações propostas ao concreto destinado aos pisos industriais, podemos citar a trabalhabilidade como uma das mais importantes. Sem dúvida alguma que a principal recomendação para os pisos industriais fica por conta da utilização de um traço bombeável, conferido por uma medição no abatimento da ordem de 12 centímetros (Slump Test – Fig 4.), com as fibras metálicas já incorporadas à mistura. Normalmente, as fibras são adicionadas ao concreto durante sua confecção na usina; portanto, a especificação de trabalhabilidade geralmente é ajustada pela concreteira. Nos casos onde a adição das fibras será feita na obra, é necessário especificar a compra de um concreto sem fibras que,

em “termos práticos”, possua maior fluidez a ponto de conservar a trabalhabilidade necessária à aplicação quando houver a incorporação das fibras ao mesmo. Este adicional à trabalhabilidade varia conforme o tipo de fibra e quantidade a adicionar.

- ♦ **Teor de argamassa:** Para o concreto reforçado com fibras destinado aos pisos industriais é recomendado teor de argamassa entre 50 a 54%. Com estes teores é possível recobrir a maioria dos agregados presentes no concreto, inclusive as fibras de aço.
- ♦ **Quantidade e propriedades das fibras de aço:** O desempenho do compósito dependerá de diversos fatores, como a qualidade do concreto, quantidade e dimensões das fibras. Outro fator muito importante a ser considerado está relacionado à interação dessas fibras com a matriz, proporcionada pelo efeito de suas ancoragens ou mesmo atrito com o concreto da matriz. Quanto às dimensões das fibras, é conhecido que, quanto maior o fator l/d (comprimento dividido pelo diâmetro), maior será o desempenho dessas fibras; no entanto, existe um comprimento limite. Elementos maiores poderão propiciar um aumento considerável na formação de embolamentos (ourixos) de fibras.

3. Execução de pisos industriais em CRFA

O processo de execução é bastante simples e segue basicamente os mesmos critérios de execução de pisos tradicionais. As etapas de lançamento, adensamento e acabamento superficial deverão ser executadas normalmente. Algumas características gerais podem ser citadas:

Figuras 4 e 5 – Slump test – verificação da trabalhabilidade adequada e aspecto geral de CRFA com distribuição homogênea dos componentes



- ◆ Eliminação da etapa corte, dobra e posicionamento da armadura.
- ◆ Não há necessidade de utilização de espaçadores.
- ◆ Não há necessidade de espaço para estocagem na obra.
- ◆ Redução no tempo de execução.

ADIÇÃO DAS FIBRAS AO CONCRETO

O processo executivo para pisos reforçados com fibras de aço deve seguir alguns critérios que começam a ser observados desde a adição das fibras. Esta adição poderá ocorrer durante a produção do concreto na usina ou no local da obra, lançadas diretamente no caminhão betoneira.

Por ser considerada um agregado adicional na mistura, as fibras de aço devem ser incorporadas ao concreto com velocidade regular, a exemplo do que é feito com os demais componentes do concreto. Na usina, a adição pode ser feita diretamente na esteira; na obra, utiliza-se o processo manual,

direto no balão de mistura do caminhão betoneira. A velocidade de mistura recomendada, em ambos os casos, é de 20 quilos de fibras por minuto.

Esta adição em velocidade regular visa evitar a formação de embolamentos ou “ouriços” na mistura. Os casos de formação de ouriços estão invariavelmente associados à processos inadequados de mistura.

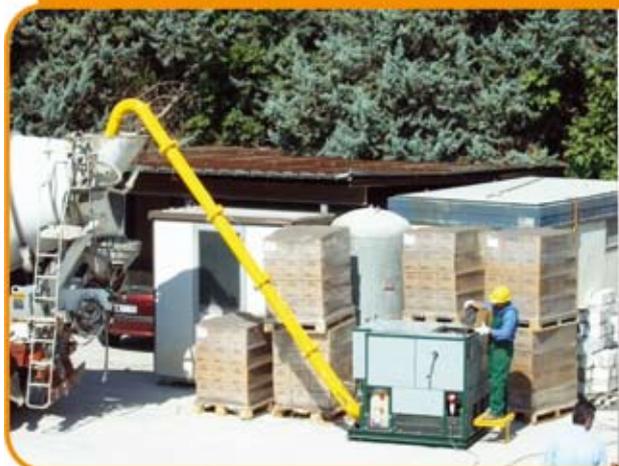
As fibras devem ser adicionadas em conjunto ou após a adição dos demais componentes, a fim de não prejudicar a homogeneidade dos mesmos.

UTILIZAÇÃO DE DOSADORES AUTOMÁTICOS

Para os casos de obras onde temos a necessidade de lançamento de grandes volumes em pequenos intervalos de tempo, é recomendado o uso de dosadores automáticos, encontrados no mercado em duas capacidades de lançamento, como descrito:

- ◆ **DosoBox (fig.6)** – São dosadores leves, de porte médio e de fácil manuseio e

Figuras 6 e 7 – DosoBox em operação e DOSO SF500 instalado em usina para dosagem direto em esteira



Figuras 8 e 9 – Acabamento superficial com régua vibratória e Laser Screed



transporte. São abastecidos com os sacos ou caixas (geralmente com 20 kg) e funcionam basicamente através de um sistema de ar pressurizado que transporta as fibras por meio de um conduto da base até o bocal do caminhão betoneira. Operam a uma velocidade de adição de 40 a 80 kg/minuto.

- ♦ **DOSO SF500, DOSO 2.0, DOSO 1.6 (fig.7)** – São equipamentos fixos destinados a instalação em usinas de concreto. Podem ser abastecidos com até 1.600 quilos de fibras comercializadas em “big bags”. A instalação é personalizada a cada obra e o lançamento das fibras pode ocorrer diretamente na esteira, no caminhão ou mesmo em misturadores automáticos. Seu rendimento atinge 200 kg/minuto.

ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE

Os equipamentos utilizados para o acabamento superficial (régua vibratória

ou laser screed – Figs, 8 e 9) ou para o acabamento mecânico (floating – Fig. 10) são exatamente os mesmos utilizados nos pisos tradicionais. Os tempos para corte de juntas, cura do concreto e liberação do piso para uso também.

4. Particularidades – pisos industriais e o CRFA

Uma das principais preocupações que surgem aos profissionais que começam a utilizar o concreto reforçado com fibras para execução de pisos industriais é sobre o aparecimento de fibras na superfície e seu impacto no resultado final.

Pode-se afirmar que seguindo os critérios e recomendações indicadas anteriormente a ocorrência deste tipo de patologia é mínima. O aparecimento destas fibras pode indicar a necessidade de revisão dos processos envolvidos.

Figuras 10 e 11 – Equipamento tipo “floating” e aspecto geral de pista de concretagem acabada



Estruturalmente, o impacto do aparecimento de fibras na superfície é nulo, uma vez que a quantidade de fibras envolvidas em um metro cúbico de concreto (dosado com 20 quilos, por exemplo) pode chegar a cerca de 90.000 peças; e as poucas fibras que, porventura, aflorarem não comprometerão a qualidade estrutural do mesmo.

No entanto, do ponto de vista estético, isso poderá configurar um problema, de acordo com a finalidade do piso. Como citado, é possível reduzir ou até mesmo eliminar o aparecimento de fibras na superfície adotando as recomendações de traço e demais processos adequados a cada projeto.

Deve ser considerada também a qualidade dos equipamentos envolvidos, além do controle dos procedimentos de execução recomendados aos pisos industriais.

O uso de agregados minerais aspergidos e incorporados na superfície do piso, com a finalidade de aumentar sua resistência a abrasão, poderá auxiliar de forma bastante eficaz possíveis aparecimento de fibras na superfície; no entanto, é perfeitamente possível obter resultados satisfatórios mesmo sem o uso deste artifício.

5. Conclusões

Para garantir o sucesso de um piso industrial executado em concreto reforçado com fibras de aço são necessários alguns procedimentos considerados simples, porém importantes na redução da ocorrência de patologias.

Alguns procedimentos são específicos ao uso de CRFA, porém outros já configuram entre as recomendações gerais para execução de pisos industriais tradicionalmente armados, como é o caso das recomendações de teor de argamassa e trabalhabilidade, citadas anteriormente.

Patologias como fibras afloradas ou perda de trabalhabilidade podem ser perfeitamente controladas ou até mesmo eliminadas. O processo de utilização do CRFA é de fácil aprendizado em todas as etapas de sua execução.

Nos casos onde ocorrem as patologias citadas ou mesmo onde as empresas envolvidas na execução dos pisos (projetistas, executores e concreteiras) ainda não dominam os processos e etapas pertinentes às aplicações de CRFA, cria-se a necessidade de orientação técnica e acompanhamento de profissional habilitado ao desenvolvimento deste tipo de projeto ou solução, porém seu aprendizado é considerado fácil e rápido. ♦



www.allconsulting.srv.br
contato@allconsulting.srv.br

Soluções inovadoras para empresas



ESTUDO SETORIAL - CONSTRUÇÃO CIVIL E PESADA

A All Consulting é uma empresa de consultoria estratégica que monitora e analisa diversos setores da economia brasileira.

Gostaríamos de informá-los sobre o lançamento do estudo setorial de construção civil e pesada 2008.

Além de características do segmento, o estudo apresenta a evolução do desempenho do mesmo e as tendências e perspectivas para os próximos 3 anos.

Trata-se de uma excelente ferramenta para planejamento estratégico corporativo.

Além deste, a All Consulting monitora mais 25 setores, como é possível conferir em nosso site: www.allconsulting.srv.br

Visite nosso site e conheça nossos produtos e serviços

-  All Sectors
-  All Projects
-  All Updates



www.allconsulting.srv.br

Tel.: 11 3565-1701

Projeto Paredes de Concreto – um grande desafio

Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
ABESC

O Brasil tem um grande desafio pela frente: como substituir o déficit habitacional de 8 milhões de unidades. A tendência desse enorme problema é se agravar, pois, segundo o Sinduscon SP, a população aumenta a uma taxa de 1,1% ao ano e o número de famílias aumenta a um ritmo de 2,27%.

A entrada da mulher no mercado de trabalho, o número de divórcios, o envelhecimento da população e a aceleração da urbanização explicam esse crescimento.

Em 2020, teremos 80 milhões de famílias, 21 milhões a mais que 2006! Nessa velocidade o Brasil necessitará 27,7 milhões de novas residências, contando desde 2007 até 2020.

Economistas dizem que, para acabar com o déficit habitacional, serão necessários mais de 260 bilhões de reais, sendo que 108 bilhões em forma de subsídio, seja na forma de doações de terrenos, seja na preparação de infra-estrutura urbana por parte do Estado.

A alternativa que nos parece fundamental, visto o cenário acima, é desenvolver e aplicar métodos construtivos que sejam rápidos, que possam ser aplicados em grande escala, que tenham grande repetibilidade, que sejam confortáveis de habitar, duráveis e econômicos.

A Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem – ABESC entende que uma das soluções são as paredes de concreto, tais como Paredes Moldadas *in Loco* e *Tilt Up*.

Ambos os sistemas já são aplicados há muitos anos em vários países com sucesso e, agora, o mercado brasileiro volta-se para esse tipo de solução.

A ABESC foi verificar se os sistemas construtivos escolhidos atendiam os requisitos desejados, tais como: desempenho térmico acústico; resistência

ao fogo; resistência a vários tipos de impacto; interação entre portas e janelas com as paredes; resistência a cargas ocupacionais; etc.

Para avaliar esses requisitos, foi contratado o laboratório de Furnas, que tem um reconhecimento internacional, para fazer todos os ensaios, não só em peças isoladas, como também em casas feitas na escala 1:1. Todos os ensaios foram realizados e demonstraram que ambos os sistemas eram muito eficientes.

A Universidade São Paulo foi contratada para interpretar os resultados obtidos em Furnas e também concluiu que os sistemas têm as características necessárias para fazer unidades habitacionais com excelente desempenho.

Com a divulgação dos resultados ao mercado, começaram a surgir construtoras que se interessaram em construir casas que usavam paredes de concreto e a alternativa foi usar o Sistema de Paredes Moldadas *in Loco* com fôrmas manoportáteis, com telas soldadas e concreto auto-adensáveis com grande desempenho térmico e acústico.

Não perdemos a oportunidade de fazer ensaios com o IPT nessas casas para conhecer o seu desempenho, cujos resultados atestaram o seu bom desempenho.

Identificamos a oportunidade de criar um Grupo de Trabalho, liderado pela ABESC, IBTS e ABCP, com o objetivo de conhecer, aprimorar e divulgar os sistemas construtivos.

A primeira ação foi descobrir lugares onde eram usados esses sistemas com eficiência e produtividade.

Em seguida, foi organizada uma viagem com várias construtoras para verificar como esse sistema era usado no Chile e na Colômbia. O caso colombiano serviu de benchmarking.



Protótipo de casa usando paredes de concreto

Cargas de serviço, critérios e níveis de desempenho para peças suspensas *

Cargas de Ocupação	Carga de serviço	Critério de Desempenho
Cargas suspensas	80 kgf, sendo 40 kgf em cada ponto	Não ocorrência de falhas Limitação de deslocamentos horizontais $D_{hi} \leq h/500$ $D_{hr} \leq h/2.500$
Sustentação de rede de dormir	110 kgf por suporte de rede	Não ocorrência de falhas Limitação de deslocamentos horizontais $D_{hi} \leq h/500$ $D_{hr} \leq h/2.500$

*Para conferir todos os testes e resultados obtidos, consulte www.abesc.org.br

Também foram criados subgrupos de trabalhos para estudar e acelerar pontos que poderiam ser considerados gargalos no uso dos Sistemas que usam paredes de concreto, tais como: Concreto, Telas soldadas, Normas de Cálculo e de Desempenho, Mão de obra, Fôrmas, Sustentabilidade, entre outros.

Nesses subgrupos trabalham, além de especialistas da ABESC, IBTS e ABCP, projetistas, arquitetos e engenheiros de construtoras.

Já começamos a colher fruto desse traba-

lho, pois mais de 1000 casas foram construídas com essa metodologia!

Até o final de outubro, os trabalhos do Grupo Paredes de Concreto estarão concluídos, disponibilizando ao mercado uma série de ativos de grande valor.

Enquanto isso, as empresas que fazem parte da ABESC continuam investindo e se preparando para atender à demanda que surge, para atender esse mercado que é tão importante para aumentar a qualidade de moradia e de vida dos brasileiros. ♦



Cursos Master PEC – Master em Produção de Estruturas de Concreto



Programa de cursos de atualização tecnológica ministrado pelo IBRACON

“PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES”
06 de Setembro de 2008

50º Congresso Brasileiro do Concreto,
Centro de Convenções da Bahia, Salvador – Bahia

PROGRAMA DO CURSO

- Introdução: patologias das construções
- Características e qualidade do concreto
- O uso de aditivos de elevado desempenho na qualidade do concreto
- Patologia de trincas e fissuras
- Patologia de fachadas revestidas de cerâmica e granito
- Materiais e procedimentos de execução em reparos do concreto
- Reforços de estruturas de concreto com fibras de carbono
- Patologia e sistemas de revestimento de pisos industriais

OBJETIVO

Apresenta e discute patologias das construções e tecnologias de recuperação, reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.

PROFESSOR

Eng^o José Eduardo Granato, 30 anos de experiência nas atividades de impermeabilização, recuperação estrutural, reforço, tratamento de estruturas de concreto, patologias das edificações.

PATROCINADOR



Nano-concreto: obtenção, desafios e estudos recentes

Fábio Albino de Souza
FEC – UNICAMP

1. Introdução

1.1 NANOTECNOLOGIA

Em 1959, Richard Feynman, ganhador de dois prêmios Nobel, propôs que era possível a manipulação átomo por átomo e mostrou que não há razões físicas que impeçam tal prática, embora nenhuma manipulação tenha sido registrada até aquele ano devido a limitações de conhecimento da técnica e de equipamentos apropriados.

Em meados dos anos 70, o pesquisador Norio Taniguchi, da Universidade de Tóquio atribui o nome nanotecnologia ao campo da engenharia e faz uma divisão entre engenharia em escala micrométrica e sub-micrométrica.

Conduzir a uma única definição para o termo nanotecnologia seria algo incomum, porém podemos descrever de uma maneira geral que nanotecnologia é a destreza de manipular estruturas em escala nanométrica com o objetivo de desenvolver materiais com propriedades melhoradas ou totalmente novos.

Com a criação, em 1981, do microscópio de varredura por tunelamento (STM) pelos pesquisadores da IBM, uma barreira foi transposta no campo da nanotecnologia, uma vez que foi possível obter imagens de nanoestruturas bem como iniciar a sua manipulação.

1.2 NANOTECNOLOGIA E O CONCRETO

O tamanho das partículas de cimento é normalmente menor do que 50 microns, sendo que, para micro cimentos, as partículas são de, no máximo, 5 microns. Segundo BALAGURU et al. (2005), o nano-concreto é definido como o concreto feito com partículas de cimento Portland que são menores de 500 nanômetros como o agente de cimentação; portanto, o tamanho das partículas de cimento tem de ser reduzido.

Inúmeras pesquisas estão buscando compreender e contribuir com o estudo do concreto em nano-escala, por exemplo, adição de nano-silica (SiO_2) ao cimento Portland, o comportamento das propriedades mecânicas do cimento Portland com a adição dos nanotubos de carbono (CNT), entre outras.

A nanotecnologia poderia ajudar inclusive a diminuir as emissões de CO_2 produzidas pela indústria global de cimento. A produção de cimento está atualmente próxima de 1,6 bilhões de toneladas por ano e através da calcinação da pedra calcária se produz o óxido de cálcio e dióxido de carbono numa proporção de 0,97 toneladas de CO_2 para cada tonelada de clínquer produzido. Cerca de 900 kg de clínquer é usado em cada 1000 kg de cimento produzido, portanto a indústria de cimento global produz cerca de 1,4 bilhões de toneladas de CO_2 por ano. Isto representa aproximadamente 6% da produção total de CO_2 no mundo produzido pelo homem.

2. Materiais, propriedades e técnicas de investigação

2.1 NANOTUBOS DE CARBONO (CNT)

Em 1991, o pesquisador japonês Sumio Iijima relatou a descoberta dos nanotubos de carbono (CNT), embora alguns pesquisadores atribuam que a primeira descoberta foi feita por acaso em 1952 na Rússia, sendo ignorada por falta de registros. Os nanotubos de carbono (CNT) constituem-se de tubos formados por folhas de carbono grafite enroladas de forma a conectar suas extremidades, na qual os tubos formados variam o diâmetro e comprimento de acordo com o tipo de nanotubo de carbono. Um nanotubo de carbono de parede única tem tipicamente de 1-3 nm (nanômetro) de diâme-

Figura 1 – Esquema de um nanotubo de carbono com paredes de camada única

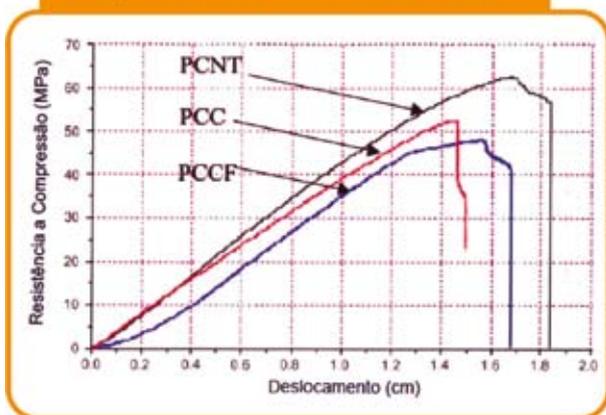


tro e um comprimento de 300 nm a 1 micrón, enquanto os nanotubos de carbono de parede múltiplas tem seu diâmetro variando de 10-50 nm e com comprimentos equivalentes e as vezes superiores aos nanotubos de carbono de parede única. Como a pesquisa com esses materiais é intensa, alguns fabricantes de nanotubos estão produzindo um terceiro tipo, que é o nanotubo de carbono de parede dupla (DWNT), na qual o seu diâmetro é de aproximadamente 4 nm e o comprimento pode chegar a 40 micrón, podendo ser consultado em (www.nanocyl.com)

A figura 1 mostra o esquema de um nanotubo de carbono com paredes de camada única.

Os nanotubos de carbono mostram o comportamento de um material elástico e alguns estudos conduzidos mostraram que o módulo de elasticidade para nanotubos de carbono de paredes múltiplas foi de 1,25 TPa; e o módulo de elasticidade para nanotubos de carbono de parede única foi de 1,09 TPa. Ou seja, os nanotubos mostraram um desempenho 5 vezes maior do que o módulo de elasticidade do aço. Um outro aspecto importante nas propriedades dos nanotubos de carbono é a sua densidade que está em torno de 1,3 a 1,4 g/cm³. Devido a essas fantásticas propriedades

Figura 2 – Típica curva carga x deslocamento das amostras



é que muitos pesquisadores da área da construção civil estão estudando o potencial dos compósitos de cimento/nanotubos de carbono através da nanotecnologia. Um ponto interessante da utilização dos nanotubos de carbono em compósitos de cimento/nanotubos se deve ao fator de forma (L/d) extremamente alto dos nanotubos, que são tipicamente de 1000 e podem alcançar até 2.500.000. O resultado é que as fissuras são interrompidas muito mais rapidamente durante a sua propagação em uma matriz reforçada com nanotubos de carbono; por isso, esperam-se produzir compósitos significativamente melhores que os tradicionais.

G.Y. LI et al. (2005) demonstraram o comportamento mecânico de um compósito de cimento/nanotubos de carbono de paredes múltiplas na qual foram utilizados 3 tipos de misturas com relação água/cimento de 0,45:

- ♦ Pasta de cimento controlada (PCC), Pasta de cimento contendo fibras de carbono (PCCF) e Pasta de cimento contendo nanotubos de carbono de paredes múltiplas (PCNT). Na figura 2 podemos observar a curva resistência à compressão x deslocamento das amostras com idade de 28 dias.

O uso dos nanotubos de carbono de paredes múltiplas aumentou a resistência à compressão do compósito em 19%.

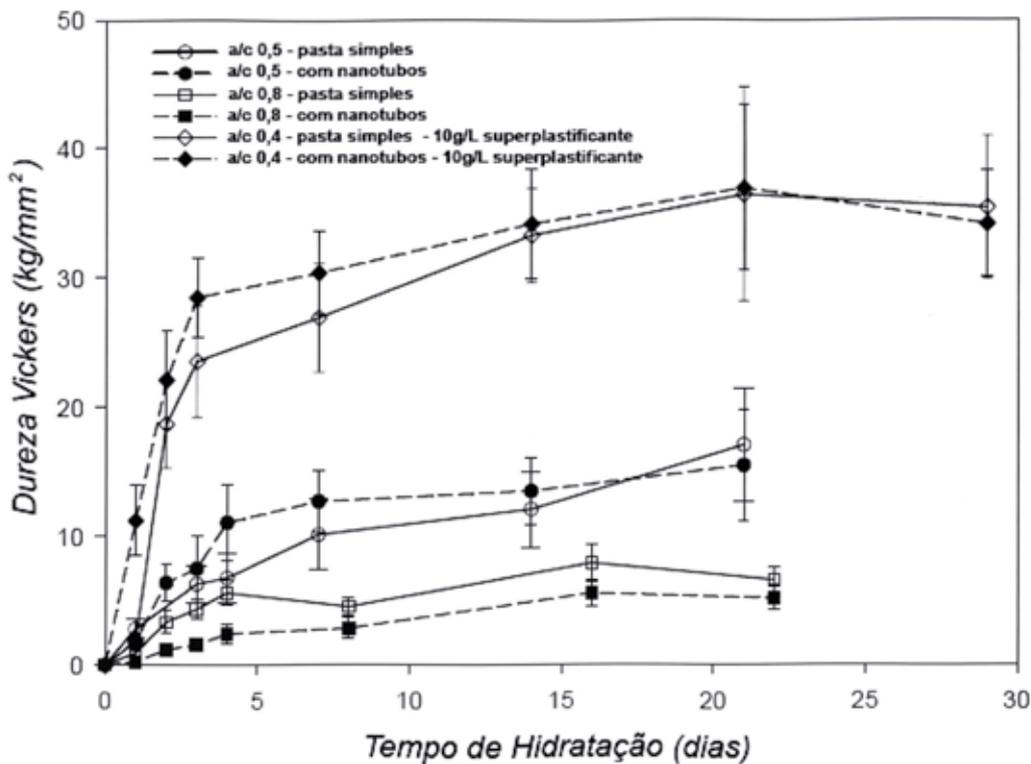
MAKAR et al. (2005) demonstraram um estudo muito interessante envolvendo compósitos de cimento/nanotubos de carbono de parede única, onde a partir de 3 misturas diferentes procurou-se medir a dureza do compósito e da pasta simples na qual o gráfico está reproduzido na figura 3.

No Brasil, os testes de dureza em concreto, argamassas, pastas e até mesmo em compósitos de cimento não são muito comuns, embora o teste de dureza Vickers possa ser correlacionado diretamente ao módulo de elasticidade e resistência à compressão do material. Assim, o teste de dureza torna-se um ensaio importante para se obter o comportamento mecânico de um compósito, sendo um ensaio não destrutivo e que não exige grandes dimensões dos corpos de prova, o que é interessante, pois os nanotubos de carbono são vendidos por grama, na faixa de 80 a 2000 dólares o grama dependendo do tipo, pureza e dimensões.

2.2 NANOPARTÍCULAS (NANO-SiO₂, NANO-Fe₂O₃) E SÍLICA ATIVA (MICROSSÍLICA)

Nanopartícula é uma partícula microscópica cujo tamanho é medido em nanômetros (nm), onde pelo menos uma de suas dimensões

Figura 3 – Comparações de Dureza Vickers



é menor do que 200 nm. As nanopartículas mostram propriedades físicas e químicas diferentes de materiais convencionais e, por isso, vem ganhando atenção e podem ser aplicadas em vários campos da indústria para fabricar novos materiais.

Em geral, a microsilica contém de 85% a 98% de dióxido de silício (SiO_2) no estado amorfo onde as partículas têm formato esférico e são microscópicas, cujo diâmetro médio das partículas está entre 0,10 μm a 0,15 μm , equivalente às partículas sólidas da fumaça de um cigarro. Como conseqüência, a área superficial específica da microsilica pode chegar a aproximadamente 100 vezes a do cimento, variando de 15 a 30 m^2/g .

No caso da nano-silica (Nano- SiO_2), nota-se uma variação importante na composição química, que é a porcentagem de dióxido de silício. A nano- SiO_2 contém de 99% a 99,9% de dióxido de silício, ou seja, um material mais puro, embora a diferença de pureza da Nano- SiO_2 para a microsilica não seja gritante a princípio, mas é notória a dificuldade de se obter um material cada vez mais puro. Outra característica da nano- SiO_2 é o diâmetro médio das partículas que está entre 15 nm a 40 nm e com uma área superficial específica que pode chegar a 60 m^2/g .

Algumas pesquisas com nanopartículas de hematita (Fe_2O_3) foram utilizadas para formar compósitos e também prometem ser competitivas. As nano- Fe_2O_3 têm, em média, diâmetro de 30 nm. No entanto, como se trata de um material novo pouco usado e ainda em estudo, não foi possível obter maiores informações técnicas.

BYUNG-WAN et al. (2006) fizeram um comparativo mostrando a resistência à compressão aos 28 dias de diversas misturas contendo pasta de cimento comum, pasta de cimento com sílica ativa (microsilica) e pasta de cimento com nano-silica. As misturas e as resistências à compressão estão representadas na tabela 1. Foi utilizado também superplastificante a base de policarboxilatos que foi ajustado para cada mistura, variando de 1,2 a 3,3%. H. LI et al (2004) também realizaram misturas com sílica ativa (microsilica) e nano- SiO_2 , porém em algumas misturas foi adicionado o nano- Fe_2O_3 , onde foi possível observar o seu desempenho em separado, e utilizou-se um superplastificante com proporções variando de mistura para mistura. As misturas e as resistências à compressão aos 28 dias estão representadas na tabela 2.

Com relação aos valores apresentados pelos dois autores, pode-se observar uma grande discrepância na qual a princípio não pode

Tabela 1 – Detalhes das misturas utilizadas por BYUNG –WAN. et al 2006

Mistura	Relação água/aglomerante (%)	Água (g)	Cimento (g)	Agregado Miúdo (Areia) (g)	Microsilica (g)	Nano-SiO ₂ (g)	Superplastificante (%)	Res. à compressão (28 dias)
SPC	50%	128	255,00	625,00	—	—	1,20	25,60
SF5	50%	128	242,80	625,00	12,20	—	1,90	35,10
SF 10	50%	128	231,80	625,00	23,20	—	2,10	37,40
SF15	50%	128	221,70	625,00	33,30	—	2,20	38,00
NS3	50%	128	247,50	625,00	—	7,50	1,80	54,30
NS6	50%	128	240,60	625,00	—	14,40	2,40	61,90
NS10	50%	128	231,80	625,00	—	23,20	2,90	68,20
NS12	50%	128	227,70	625,00	—	27,30	3,30	68,80

* SPC = somente Cimento Portland **SF = amostras contendo microsilica (5%,10%,15%)

*** NS = amostras contendo nano-SiO₂ (3%,6%,10%,12%)

ser atribuída à relação água/aglomerante, pois os dois estudos utilizaram a mesma relação. Portanto, pode-se admitir que as variáveis que influenciaram nos resultados estão relacionadas à compatibilidade do cimento com o superplastificante, granulometria da areia (não mencionada com detalhes pelos autores), falta de dados sobre características físicas e químicas da Nano-Fe₂O₃, detalhes do processo de cura, entre outras muitas variáveis que podem ter influenciado no resultado do teste de resistência à compressão. Embora não tenha sido possível comparar misturas com nano-Fe₂O₃ em ambos trabalhos, demonstrou-se que a utilização desta nanopartícula é eficiente para o aumento da

resistência à compressão até um determinado limite ou faixa.

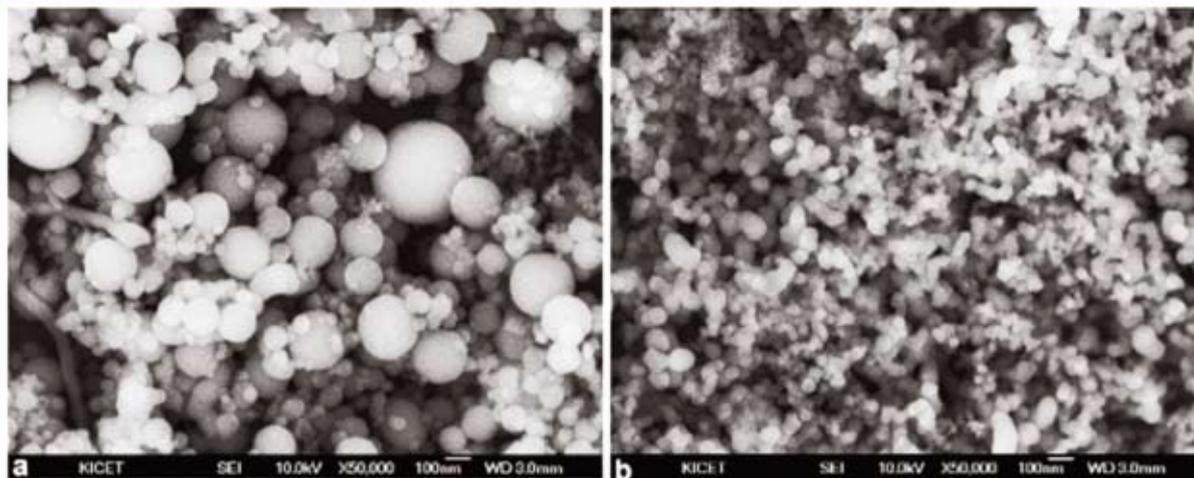
2.3 TÉCNICAS DE INVESTIGAÇÃO

Depois de 27 anos da criação do microscópio de varredura por tunelamento (STM) pelos pesquisadores da IBM, atualmente, existe uma gama de equipamentos bem sofisticada e poderosa, que vão desde o registro de uma “simples” foto (fotomicrografia) chegando até mesmo a indicar a formação de relevo, movimentação de átomos ou manipulação de nano-estruturas. As figuras 4a e 4b mostram uma imagem utilizando a Microscopia eletrônica de Varredura (*Scanning*

Tabela 2 – Detalhe das misturas utilizadas por HUI LI et al (2004)

Mistura	Relação água/aglomerante	Água (ml)	Cimento (g)	Agregado Miúdo (Areia) (g)	Microsilica (g)	Nano-SiO ₂ (g)	Nano-Fe ₂ O ₃ (g)	Superplastificante (g)	Res. à compressão (28 dias)
A	0,50	225	450,00	1350	—	—	—	—	28,90
B1	0,50	225	436,50	1350	—	—	13,50	3,40	36,40
B2	0,50	225	427,50	1350	—	—	22,50	6,50	33,10
B3	0,50	225	405,00	1350	—	—	45,00	11,20	30,00
C1	0,50	225	436,50	1350	—	13,50	—	6,80	32,90
C2	0,50	225	427,50	1350	—	22,50	—	11,20	33,80
C3	0,50	225	405,00	1350	—	45,00	—	22,50	36,40
D	0,50	225	427,50	1350	—	9,00	13,50	7,90	35,40
E1	0,50	225	427,50	1350	13,50	—	9,00	3,00	29,80
E2	0,50	225	405,00	1350	27,00	—	18,00	6,00	34,30
F	0,50	225	382,50	1350	67,50	—	—	3,40	31,80

Figura 4 – Imagem feita com SEM dos seguintes materiais:
a) sílica ativa e b) nano-SiO₂



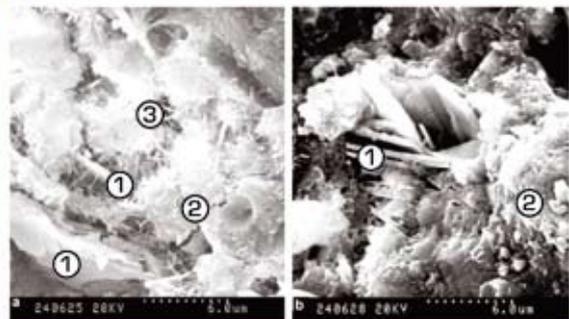
Electron Microscopy-SEM), onde se pode observar claramente a diferença de tamanho entre a sílica ativa e a nano-SiO₂. Com a adição de nanopartículas na pasta de cimento, houve uma mudança no comportamento de hidratação, que poderá ser observado na microestrutura da pasta endurecida, representada pela figura 5. A figura 5a mostra uma imagem de uma pasta endurecida na qual não foi adicionado nanopartículas, e corresponde a mistura A da tabela 5. A figura 5b mostra a imagem de uma pasta endurecida na qual foi adicionada a nanopartícula nano-Fe₂O₃ e corresponde a mistura B1 da tabela 5. A mistura B1 apresentou maior resistência à compressão, sendo que a textura

dos produtos hidratados foram mais densos e compactos, na qual os grandes cristais como o CaOH₂ estavam ausentes.

Através das fotomicrografias, podemos afirmar que as nanopartículas não só apresentaram melhor desempenho frente à pasta de cimento comum, como também promoveram uma melhora na interface entre a pasta e o agregado. A utilização do SEM para analisar compósitos de cimento/nanotubos de carbono tornou-se imprescindível, uma vez que os CNTs mostram uma característica de reforço do compósito, formando “pontes” entre uma face e outra da fissura, melhorando o desempenho do compósito. Isso pode ser observado claramente na figura 6, através de uma imagem obtida através do SEM, onde a microestrutura corresponde a mistura 3 da tabela 2.

Figura 5 – Imagem de SEM dos seguintes materiais:
a) pasta de cimento sem nanopartículas e
b) pasta de cimento contendo Nano-Fe₂O₃

*1-Cristal **2-C-C-H ***3-Poro

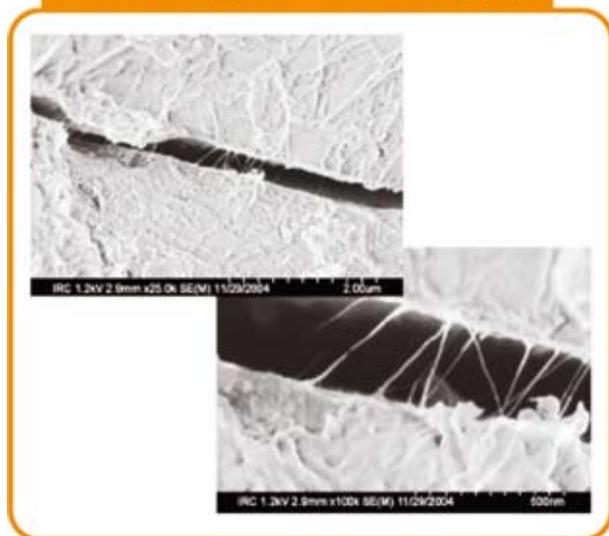


3. Obtenção do nano-concreto e próximos desafios

3.1 NANO-CIMENTO

Uma das primeiras questões é a síntese do nano-cimento. Como mencionado anteriormente, o tamanho das partículas de cimento tem de ser reduzidas a uma ordem de magnitude. Algumas tentativas foram feitas, ou utilizando sínteses químicas ou por separação por meio mecânico, porém não se tem registro de informações publicadas que possam servir como referência. Em consequência do nano-cimento surge outra questão importante, que é

Figura 6 - Imagem do SEM mostrando o sistema de reforço com CNTs (3 dias de hidratação)



a estrutura do cimento hidratado, na qual questões como calor de hidratação, área específica (Blaine) e até mesmo a técnica de fabricação irão desempenhar um papel importante no estudo da nano-estrutura, na qual surgirão novos conceitos e muitas descobertas sem sombra de dúvidas. Algumas perguntas fundamentais precisam ser respondidas, que são:

- ◆ A influência da relação da relação água/cimento para o nano-cimento é a mesma? A capacidade de resistência e deformação utilizando o nano-cimento permanece a mesma? É possível usar fibras nanometálicas?

Realmente são questões que impõem um grande desafio, principalmente por ser um assunto não explorado, mas de extrema importância.

3.2 PRÓXIMOS DESAFIOS

O desafio principal é a fabricação de nanopartículas de cimento Portland, uma vez que a partir daí outras barreiras serão transpostas e irá gerar um sem número de oportunidades.

Um dos motivos que impedem o uso pleno de reforço com fibras de carbono sem restrições é a sua baixa capacidade de resistência ao fogo, ou melhor, a baixa capacidade do adesivo, na qual em temperaturas mais elevadas apresenta queda de desempenho. Isso, sem dúvida, poderá ser estudado mais a fundo com o uso do nano-cimento, onde o cimento poderia ser usado como um adesivo inorgânico com fibras de carbono, que resistiria melhor a altas temperaturas.

Assim, abriria novas oportunidades para a área de revestimentos, que tem enormes campos de aplicação como: abrasão, ataque químico, estético, etc. Com certeza, não podemos esquecer do nano-concreto, na qual espera-se um grande desempenho, seja apresentando maior durabilidade, maior resistência à compressão, maior tenacidade e mais vantagens que os concretos de pós-reativos.

Acredita-se, inclusive, que poderia se desenvolver tanto um concreto ou argamassa com propriedades "hidrofóbicas" (que repelem a água) como também um concreto ou argamassa "hidrofilica" (que atrai a água), sendo o primeiro para proteger as armaduras do concreto e o segundo para pavimentos de estradas. Esses exemplos citados são só uma parte do potencial que pode ser desenvolvido futuramente, ou seja a "ponta de um iceberg" de soluções.

4. Panorama atual da nanotecnologia e a construção

Em outubro de 2006 o Nanoforum.org (*European Nanotechnology Gateway*) emitiu informações imprescindíveis sobre a nanotecnologia e a construção, entrevistando empresas e profissionais. O material que mais está envolvido nas pesquisas é o cimento como podemos ver na figura 7.

5. Conclusão

Neste trabalho, foram apresentados alguns resultados de pesquisas aplicando a

Figura 7 - Cimento é o material mais envolvido em pesquisas



nanotecnologia. Viu-se o grande potencial e as grandes oportunidades que possam surgir com o aprofundamento dos estudos da nanotecnologia na construção civil e, em especial, na fabricação do nano-cimento, que será um dos materiais mais importantes do século XXI. A partir daí muitas perguntas poderão ser respondidas, onde novas pesquisas mostrarão o comportamento da hidratação com

nano-cimento, a utilização de nanopartículas incorporadas ao nano-cimento, e se criará um novo pólo gerador de produtos não só para construção civil, mas para toda uma área tecnológica. Espera-se que num futuro próximo possa se desvendar os mecanismos e técnicas do nano-concreto, para que seja produzido em larga escala e recomendado pelos projetistas nas estruturas de concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] BALAGURU P.N, KEN CHONG AND JORN LARSEN-BASSE. Nano-concrete: Possibilities and challenges., NICOM 2: 2nd International Symposium on Nanotechnology in Construction, pp 233-243, Bilbao, Spain, 2005.
- [02] BYUNG-WAN JO, CHANG-HYUN KIM, GHI-HO TAE , JONG-BIN PARK. Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles. Elsevier Construction and Building Materials, 2005.
- [03] GENG YING LI, PEI MING WANG, XIAOHUA ZHAO.- Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubes. Elsevier Carbon , v 43, pp 1239-1245, 2005.
- [04] HUI LI, HUI-GANG XIAO, JIE YUAN, JIN-PING OU .- Microstructure of cement mortar with nano-particles. Elsevier Composites Parte B, v 35, pp 185-189, 2004.
- [05] MAKAR J., MARGESON J. , LUH J..- Carbon nanotube/cement composites- early results and potential applications. In: 3rd International Conference on Construction Materials: Performance, Innovations and Structural Implications, Vancouver, Canada, 2005. ♦



SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR) Evento paralelo ao 50º Congresso Brasileiro do Concreto 5 A 7 DE SETEMBRO DE 2008

O **Brasil** é um dos países que possuem maior quantidade de obras construídas com **CCR** no mundo. Já são mais de **50 barragens** para **abastecimento de água** e **geração de energia**.

O **simpósio** é uma excelente oportunidade para **conhecer** este **desenvolvimento**, para saber das **últimas novidades** em termos de **projetos, construções** e **controle da qualidade**, bem como para interagir com **especialistas internacionais** sobre o assunto.

LÍNGUAS OFICIAIS DO EVENTO

Português e inglês

TEMAS

- Barragens de CCR – Planejamento e Projeto
- CCR para Pavimentação
- Práticas em CCR em Diferentes Países
- Materiais para CCR e Controle de Qualidade

Controle de qualidade dos concretos estruturais: ensaio de aderência aço-concreto

Michel Lorrain
INSA Toulouse, LaSaGeC ISA-BTP Anglet

Mônica P. Barbosa
Departamento de Engenharia Civil-UNESP/Iha Solteira

Resumo

Para a elaboração dos elementos estruturais calculados em concreto armado, a normalização em vigor no Brasil e no exterior exige o conhecimento da resistência à compressão do concreto. Neste procedimento, existe a necessidade de contar com serviços e infraestrutura de laboratórios cadastrados, algumas vezes distantes dos canteiros de obra e equipados de prensas modestas ou obsoletas, e de custo relativamente elevado. Entretanto, tão importante quanto, é conhecer a resistência da ligação armadura-concreto.

Propõe-se aqui uma alternativa de ensaio de compressão simples: o ensaio de aderência entre o concreto e a armadura de aço. Conhecido e praticado desde o início das construções em concreto-armado, este ensaio permite estabelecer uma correlação inconteste entre a resistência do concreto e a ligação armadura-concreto.

Propõe-se utilizar esta correlação para assegurar a qualidade do concreto estrutural a partir dos resultados dos ensaios de aderência, ou seja, através de uma proposta de um ensaio de aderência que pode ser realizado de maneira simples e econômica, com respostas confiáveis, e factíveis, que pode ser efetuado em canteiros de obras e que forneça informações sobre a resistência e o comportamento do concreto.

Para os ensaios ora realizados, em locais cujas condições técnicas são consideradas bem rudimentares, os resultados obtidos são bastante satisfatórios, conforme mostra a curva

que correlaciona esses resultados e outros de ensaios encontrados na bibliografia, o que poderá vir a confirmar a capacidade do ensaio de aderência de se tornar um ensaio universal de qualificação do concreto armado.

Introdução

O controle da qualidade dos materiais utilizados em obras de construção civil, elaboradas em concreto armado, é uma etapa indispensável para a verificação da conformidade da execução das mesmas, tendo em vista os memoriais de cálculo do projeto a ser construído.

A qualidade da execução dos trabalhos e, em particular, dos materiais colocados em obra dentro dos canteiros, é, sem dúvida, uma condição necessária para se garantir a segurança da estrutura em função dos riscos naturais que podem atingi-la e torná-la imprópria à sua destinação. A cobertura dos riscos pelas companhias de seguro se apóia sobre a exigência da qualidade.

Quando este controle é devidamente praticado, em um primeiro momento, ele permite evitar que sinistros graves, particularmente os desmoronamentos, ocorram. Ele pode também, num segundo momento, permitir a otimização da planificação da empreitada, possibilitando uma desfôrma rápida, uma desmontagem antecipada dos andaimes, uma exploração parcial dos espaços, etc.

Se a conveniência do controle de qualidade não pode e não deve ser colocada em

questão, pode-se, entretanto, se interrogar sobre a eficácia efetiva dos procedimentos atuais, em função dos numerosos e espetaculares sinistros que afetam os canteiros de obras de construção em concreto armado há anos, aos quais é conveniente se somar as grandes e maciças destruições que ocorrem devido às catástrofes naturais, em algumas regiões do mundo.

Desse modo, este artigo tem como meta fazer uma abordagem geral sobre a situação e propor um novo procedimento, como uma solução alternativa às praticas atuais obrigatórias de segurança empregadas nos canteiros de obra de construção civil.

Na primeira parte desse artigo, é apresentado e discutido o controle de qualidade dos concretos estruturais da maneira como é praticado atualmente. Na segunda parte, é feito uma análise crítica dos ensaios de aderência como uma alternativa ao ensaio de qualidade atual.

O estudo da viabilidade técnica e econômica desta solução alternativa é tratado com a exposição de um caso concreto na terceira parte.

Controle de qualidade atual

CARACTERÍSTICAS DO CONTROLE DE QUALIDADE ATUAL

O controle de qualidade atual elaborado nas obras, na maioria dos países, repousa exclusivamente sobre ensaios de ruptura de corpos de prova cúbicos ou cilíndricos moldados no canteiro de obra, assim que o concreto é colocado nas fôrmas. Para tanto, na maioria das vezes, são contratados laboratórios de engenharia civil cadastrados, que dispõem de materiais apropriados, suficientemente capacitados para testar, conforme as normas em vigor, os concretos, cuja resistência à compressão pode variar de 15 a 50 MPa [1], [2].

Em 1904, a Associação Germânica de Arquitetos e Engenheiros juntamente com a Associação Alemã do Concreto iniciaram o projeto preliminar de normalização para dimensionamento, execução e ensaio de estruturas de concreto armado, que se tornaram base para a regulamentação que, logo depois, foi promulgada pelo governo da Prússia.

Na França, através da circular ministerial de 20 de outubro de 1906 [3], fixando as

instruções relativas ao emprego do concreto armado, foi introduzido o limite de “trabalho e de fadiga” para a compressão do concreto armado, definido como sendo “28 centésimos da resistência à ruptura adquirida pelo concreto após (90) noventa dias de pega”, estando esta resistência “medida sobre os cubos de 20 centímetros de aresta”.

A partir desta data, normalizações de calculo se sucederam [3] sem, entretanto, mudar o princípio de avaliação da qualidade do concreto estrutural pela sua resistência à compressão simples, mesmo se as modalidades do concreto evoluíram notadamente quanto à forma e a idade dos corpos de prova.

As primeiras Normas Brasileiras foram de cimento, publicadas por decreto do então presidente da República Getúlio Vargas, tendo sido elaboradas nas reuniões de Ensaio de Materiais, realizadas no IPT, com a presença de ícones da Engenharia Brasileira como Ary Torres, Lobo Carneiro, Hipólito Van Langendonk, etc. Em 1940, na terceira reunião desse grupo, foi fundada oficialmente a ABNT e publicada a primeira Norma Brasileira de Projeto de Execução de Obras de Concreto Armado, a NB-1, que, após diversos processos de atualização, é hoje a ABNT NBR 6118:2003, reconhecida internacionalmente pela ISO 19338, e que preconiza o mesmo princípio da avaliação da norma francesa. Assim sendo, pode-se observar que o controle de qualidade do concreto repousa, atualmente, quase que exclusivamente, sobre os ensaios de ruptura à compressão de corpos de prova cilíndricos ou cúbicos, emoldurados nos canteiros de obra quando o concreto é colocado em fôrma.

Se o número de corpos de prova moldados é suficiente, os resultados podem ser tratados estatisticamente e conduzidos a uma avaliação da resistência característica do concreto. Na ausência disso, poderia se dispor de resultados que permitiriam, ao menos, avaliar uma resistência média, utilizada para julgar a conveniência do material da estrutura.

VANTAGENS E INCONVENIÊNCIAS APARENTES DO ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES DO CONCRETO

As vantagens desse ensaio de compressão simples são múltiplas e permite ser compreendido facilmente, o que o coloca a favor das comissões de regulamentos e de normali-

zações. Entre as vantagens existentes podem ser citadas:

- ◆ 1 – As correlações satisfatórias que são estabelecidas entre a resistência à compressão simples e as outras resistências, à tração, ao cisalhamento, a resistência da ligação armadura-concreto. Estas correlações permitem a determinação de expressões algébricas regulamentares correspondentes [2], [4];
- ◆ 2 – A resistência à compressão do concreto é diretamente explorada para calcular os valores das solicitações resistentes sobre ação normal que constituem o membro resistente das inequações de segurança:

solicitação ativa \leq solicitação resistente

1

- ◆ 3 – O ensaio de compressão simples é aparentemente fácil de ser feito;
- ◆ 4 – O ensaio de compressão simples é aparentemente fácil de ser interpretado.

O procedimento regulamentar de controle de qualidade pelo ensaio de compressão simples apresenta também alguns inconvenientes aparentes: o ensaio em questão não é assim tão fácil de ser executado e de ser interpretado. São elas:

- ◆ 1 – A interpretação do ensaio não é tão evidente, exceto de maneira convencional, pois as condições aos limites reais são aquelas de um ensaio de deslocamento imposto as faces de apoio, o que não cria um campo uniforme de tensão imposta as faces para um material heterogêneo, que é o caso do concreto;
- ◆ 2 – A obrigatoriedade de se servir dos serviços de laboratórios cadastrados, algumas vezes distantes do canteiro de obra, equipados de prensas modestas quando não obsoletas, ou muitas vezes com a superfície das faces de apoio apresentando problemas de resquícos de enxofre, usados no processo de capeamento;
- ◆ 3 – A demora para se ter a restituição dos resultados, o que reduz fortemente a possibilidade de agir rapidamente no pátio do canteiro de obras;
- ◆ 4 – Com o aumento da resistência ligada, por sua vez, somente a certas sugestões de manuseamento, caso dos concretos bombeados, os esforços de colocar o concreto em obra são cada vez mais importantes e crescentes e as máquinas de ensaio se tornaram sofisticadas;

- ◆ 5 – O custo, que pode ser muito elevado, etc.

Tais inconvenientes são ainda mais graves no caso dos canteiros de obra localizados em países economicamente mais pobres, onde normalmente a demanda de construir é maior e urgente. No caso do Brasil, nas regiões mais afastadas dos grandes centros, que não dispõem de laboratórios equipados para esse tipo de ensaio, isto é uma realidade.

Como conclusão, pode-se dizer que embora o ensaio de compressão simples do concreto seja definido como ensaio de referência desde o início das normalizações, o mesmo não possui as virtudes que lhe são geralmente atribuídas. Ele fornece a garantia da qualidade e do dado para o cálculo estrutural, o que é indispensável. Nada justifica, entretanto, seu caráter de referência exclusiva.

Uma alternativa de ensaios de compressão simples: o ensaio de aderência

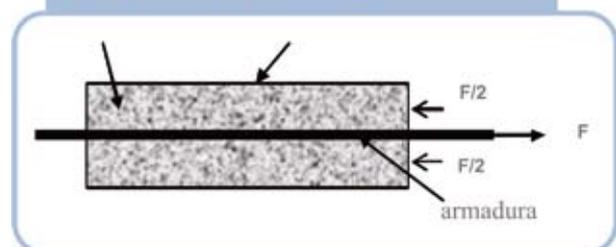
O ENSAIO DE ADERÊNCIA E O CONTROLE DE QUALIDADE DOS CONCRETOS ESTRUTURAIS

O ensaio de aderência conhecido e colocado em prática depois do início da construção em concreto armado é destinado a avaliar a resistência da ligação entre o concreto e a armadura, condição necessária ao funcionamento mecânico correto dos materiais compósitos, caso do concreto armado. Eles também regulam as propriedades e o desenvolvimento das formações das fissuras e de suas aberturas.

Não é, evidentemente, o caso do ensaio de compressão simples, realizado unicamente com o material concreto.

Dentro de seu princípio, o ensaio de aderência consiste em fazer extrair uma barra de armadura de aço, geralmente posicionada no centro de um bloco de concreto (figura 1), arran-

Figura 1 – Esquema do princípio do ensaio de aderência



cando ou puxando sobre ela (ensaio de "PULL-OUT TEST" ou ensaio de "PUSH-OUT TEST").

Uma vez rompida a ligação aço-concreto, a barra se desloca com mais ou menos facilidade dentro do bloco de concreto dependendo da rugosidade da sua superfície envolvida (armadura lisa ou armadura nervurada). O valor do pico de resistência permite calcular convencionalmente a tensão de cisalhamento última da ligação, denominada tensão de aderência pela divisão da força máxima aplicada pela superfície nominal de ancoragem. O resultado típico de um ensaio de aderência é dado como exemplo na figura 2 sobre a forma de curva de variação do deslizamento medido na extremidade livre da barra solicitada, em função da força de arrancamento.

Conhecido e praticado desde o início da construção do concreto armado, este ensaio não é nada mais que um procedimento de laboratório que permite estabelecer uma correlação incontestável entre a resistência do concreto e a da ligação armadura-concreto. É sobre esta correlação que se apóia a prática atual que consiste, desde que os dispositivos construtivos sejam devidamente respeitados, em assegurar a qualidade da aderência a partir de resultados dos ensaios de compressão simples do concreto [4].

Várias maneiras de operação são possíveis, arrancamento, deslizamento, « beam-test », etc. Não existe uma norma relacionada a este ensaio, mas apenas recomendações internacionais emitidas pela RILEM [5] e também pela ASTM C234 (1991), embora o emprego desse método seja recomendado em diversos países. No caso da recomendação RILEM, é preconizado um ensaio de arrancamento sobre um cubo de 20 cm de aresta. Entretanto, salienta-se a importância

da normalização desse ensaio, visto que alguns itens, como forma e dimensão do corpo-de-prova, comprimento mergulhado, comprimento de aderência e direção de concretagem podem alterar substancialmente os resultados.

Vantagens e desvantagens aparentes do ensaio de aderência

Dentre as vantagens do ensaio de aderência, pode-se citar:

- ◆ 1 – Trata-se de um ensaio "real", verdadeiro, sobre o material composto concreto armado. Não é, evidentemente, o caso do ensaio de compressão simples, realizado unicamente com o material concreto;
- ◆ 2 – Os esforços exercidos são moderados, mesmo no caso de concretos de alta resistência;
- ◆ 3 – A correlação entre a resistência à compressão simples é forte. É a mesma que foi anteriormente mencionada no item de vantagens do ensaio de compressão simples. É esta correlação que permite de garantir a resistência à aderência a partir da resistência do concreto à compressão, conforme mostrado na figura 3.

Naturalmente, o ensaio de aderência traz também desvantagens ligadas quer seja à sua execução, quer seja à sua interpretação. Pode-se citar:

- ◆ 1 – As dificuldades ligadas à sua execução;

Figura 2 – Exemplo de curva de ensaio de arrancamento sobre uma armadura nervurada

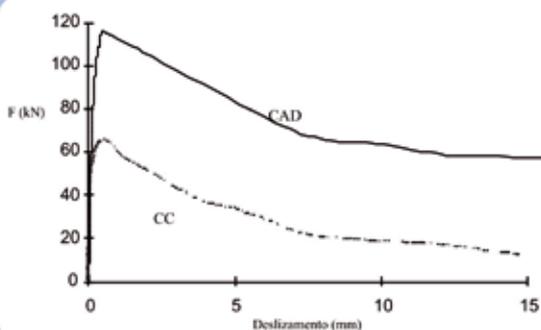


Figura 3 – Correlação entre a resistência à compressão e a tensão última de aderência. Fonte[6]

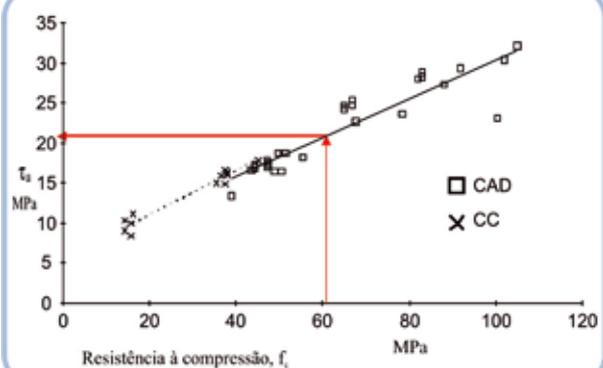
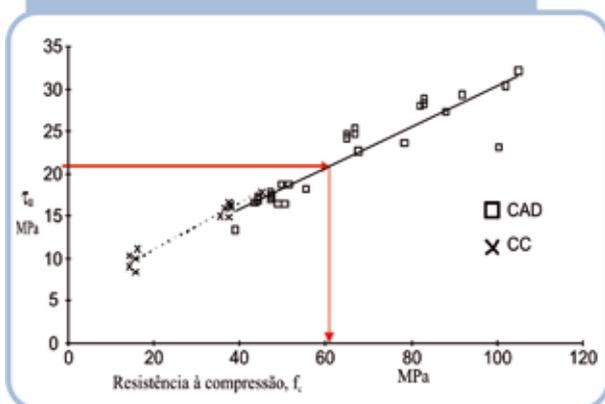


Fig. 4 – Novo princípio de aplicação da lei de correlação entre a resistência à compressão e a tensão última de aderência



- ◆ 2 – A diversidade dos protocolos operacionais possíveis e em estado de validade;
- ◆ 3 – A dependência de resultados vis-à-vis da rugosidade da armadura, normalmente caracterizada pelo coeficiente f_R fornecido pelos fabricantes de armaduras.

Como conclusão sobre o ensaio de aderência pode-se afirmar que ele leva a uma garantia da qualidade e do dado de cálculo, que são indispensáveis para a verificação da conformidade de execução de um projeto. É suficiente para isso, utilizar a lei de correlação entre a resistência à compressão e a tensão última de aderência, mas fazendo um procedimento no sentido inverso, ou seja, assegurando a qualidade do concreto estrutural a partir dos resultados dos ensaios de aderência. A figura 4, traçada a partir da lei de correlação definida sobre a figura 3, ilustra esta maneira de raciocínio.

Como os esforços colocados em jogo para escapar à resistência da ligação armadura-concreto são geralmente 10 a 20 vezes mais fracos que aqueles necessários à fissuração dos corpos de prova de concreto, pode-se facilmente e a um custo menor colocar em operação este tipo de controle de qualidade diretamente no canteiro de

Fig. 5 – Detalhe do preenchimento



obra, o que é uma vantagem não desprezível. Ninguém se opõe a que este tipo de ensaio de aderência venha a ser um ensaio de referência em matéria de controle de qualidade dos concretos estruturais.

Estudo da viabilidade técnica e econômica do ensaio de aderência como ensaio de controle de qualidade

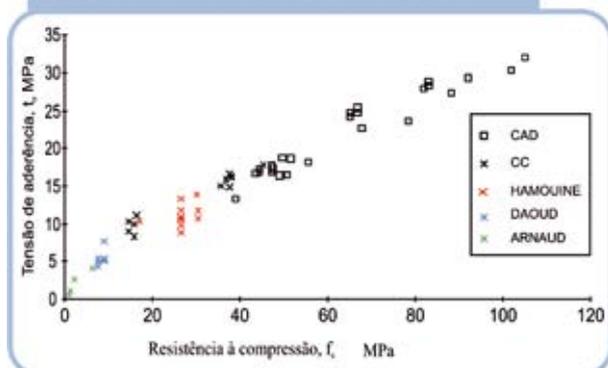
Colocou-se o princípio definido anteriormente, aplicando-o em vários locais, fabricando corpos de prova e os testando por arrancamento para se poder validar a teoria do raciocínio formulado, e para ter certeza da sua viabilidade técnica, além de comprovar a facilidade de fazer este tipo de ensaio e o baixo custo acarretado para a sua execução.

Para tanto, foram fabricadas e submetidas a ensaios de arrancamento corpos de prova rudimentares de concreto moldados dentro do envoltório plástico de garrafa plástica de água mineral, descartadas na natureza, com 8 cm de diâmetro, para armaduras nervuradas de diâmetro igual a 8 mm, envolvidas sobre um

Fig. 6 – Detalhe do ensaio de arrancamento



Fig. 7 – Relação dos resultados dos ensaios de validação sobre a lei de correlação entre a resistência à compressão e a tensão última de aderência



comprimento de ancoragem variando de 10 a 12 cm. O concreto, confeccionado nas mesmas condições do canteiro de obra, foi definido como sendo de classe 40. Os ensaios foram efetuados parte no INSA de Toulouse - França e parte na Escola Nacional de Engenharia de Gabes (ENIG), na Tunísia. A força de arrancamento foi aplicada com a ajuda de um macaco de protensão munido de um manômetro, tal qual utilizado sobre canteiro de obra. Os ensaios permitiram determinar a resistência da ligação (força máxima de arrancamento) de onde foi deduzido, a princípio, o valor da tensão última de aderência. As figuras 5 e 6 ilustram fases dos procedimentos de ensaio realizados.

O tipo de ruptura observada foi, sistematicamente, o deslizamento da barra em relação ao concreto envolvido sem ocorrer fissuração longitudinal do concreto. Os pontos correspondentes aos valores da tensão última de aderência obtidos (ensaios INSAT: Hamouine ; ensaios ENIG : Daoud) podem ser colocados sobre a curva de correlação das figuras 3

e 4 de uma maneira mais do que satisfatória, conforme pode ser observado na figura 7, sobre a qual foram igualmente colocados os resultados do trabalho de ARNAUD[7] sobre as propriedades de aderência do concreto nas primeiras idades.

Conclusão

Os ensaios até agora realizados conduziram aos resultados que confirmam a capacidade do ensaio de aderência de se tornar um ensaio de qualificação do concreto armado. Ademais, a diferença do ensaio de compressão simples, efetuado unicamente sobre o concreto, e o ensaio de aderência é que este último testa, sobretudo, a qualidade do composto concreto armado.

Para reforçar esta conclusão e para dispor de valores de resistência da ligação armadura-concreto para os vários tipos de armaduras de nervuras variáveis, já está sendo realizado um programa de pesquisa sistemática, com vários laboratórios de pesquisas de universidades argelinas, tunisianas e brasileiras. No Brasil, a parceria foi montada com uma pesquisadora da UNESP, esperando que esta colaboração se estenda, sob o teto da UISF e, se possível, da ABNT, para vários outros laboratórios de pesquisa, com a finalidade de se criar em torno do ensaio de aderência uma real e verdadeira dinâmica científica destinada a dar a este ensaio mecânico uma credibilidade incontestável. Espera-se que este ensaio seja homologado por comissões competentes, difundido o mais amplamente possível e adotado por todos, para que, de uma parte, a carência do controle não seja mais aceita como sendo uma falha esmagadora nos sinistros envolvendo o controle do material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Normes NF EN 12390-1 à 12390-7
- [02] ABNT NBR 6118 :2003
- [03] R. LACROIX, « Un siècle de réglementation du calcul des ouvrages en béton », Annales du BTP, série : conception-calcul-normalisation et réglementation, octobre-novembre 1998
- [04] Eurocode 2 Calcul des structures en béton, Partie 1-1
- [05] Recommandations RILEM/CEB/FIP-RC 6, Matériaux et Constructions, n° 32, 1973
- [06] « Association de bétons et d'armatures à hautes performances », PN BHP 2000, Presses de l'ENPC, Paris 2003
- [07] M. ARNAUD, « Résistance au glissement d'aciers enrobés dans un béton au cours de la prise et du début du durcissement », Annales de l'ITBTP Série Béton n°135, janvier 1974 ♦

Propriedades do concreto auto-adensável em pisos industriais

Emerson Cremm Busnello
Antonio Damião dos Santos
Cimpor Concreto

1. Introdução

Os concretos auto-adensáveis (CAA) fazem parte das mais recentes soluções utilizadas na construção civil, permitindo a redução no tempo de concretagem, facilidade na aplicação, redução da quantidade da mão-de-obra e melhora na qualidade final das peças concretadas.

Quanto às suas propriedades, o concreto auto-adensável (CAA) se caracteriza por apresentar reologia diferenciada, resultando em elevada trabalhabilidade e mobilidade, sendo conhecido como concreto reodinâmico. A fim de garantir estas características no estado fresco, os traços destes concretos são diferenciados, geralmente, necessitam de maior teor de finos passantes na peneira # 0,075 mm, restrições à utilização de agregados graúdos superiores a 19mm e apresentam maior teor de argamassa.

Por sua vez, a tecnologia de execução de pisos industriais de acabamento polido vêm sendo aplicada correntemente nas obras mais diversas como garagens, postos de combustíveis, galpões industriais, pavimentos e outros, consolidando este método construtivo, de tal forma que garanta a durabilidade e padrão estético requeridos.

As especificações dos concretos para pisos industriais polidos vêm sendo cada vez mais aprimorada pelos consultores, executores e prestadores de serviços de concretagem, sendo que uma das grandes preocupações é a retração do concreto no estado endurecido, sendo que, por este motivo, restringe-se o teor de argamassa e consumo de cimento, o que limitaria a utilização de concreto auto-adensável para pisos industriais polidos.

2. Objetivo

Este estudo foi desenvolvido visando o fornecimento do concreto auto-adensável pro-

duzido em central dosadora de concreto localizada em Camacari/BA, que permitiu avaliar seu desempenho quanto aos tempos de pega, retração por secagem e módulo de deformação frente às especificações para pisos industriais polidos, possibilitando a viabilização desta solução.

3. Reologia do concreto auto-adensável

O termo reologia foi definido por Bingham em 1929. É originado da palavra grega "rhein" que significa "escorrer" e corresponde ao estudo da deformação e do escoamento da matéria. É o ramo da física que se preocupa com a mecânica de corpos deformáveis, os quais podem estar no estado sólido, líquido ou gasoso.

Segundo Manrich e Pessan, se o corpo em consideração for um fluido, a aplicação de qualquer sistema de forças anisotrópico (diferentes forças aplicadas em diferentes direções) e heterogêneo (diferentes forças aplicadas em diferentes posições), ainda que pequeno, resultará em escoamento. Além disso, a relaxação do sistema de forças não resultará no retorno do corpo ao seu estado não-deformado.

A qualidade do concreto fresco é determinada por sua homogeneidade e pela facilidade com a qual esse material possa ser misturado, transportado, adensado e acabado. Capacidade de escoamento, capacidade de moldagem, coesão e compactabilidade são propriedades da trabalhabilidade que estão associadas à qualidade do material. A capacidade de escoamento está relacionada com a consistência, uma vez que esta determina a facilidade com que um concreto deforma, porém, concretos com consistências semelhantes podem exibir diferentes características de trabalhabilidade.

A coesão, que é uma medida da compactabilidade e da compacidade de acabamento,

Tabela 1 – Características dos traços estudados

Dosagem	Cimento CII F32	Água	A/C	Argam. BO	B1	Aditivo polifuncional	Aditivo hiperplastificante	Slump / slump flow
1	401 kg	200 l	0,499	54,2%	-	100%	-	1,7% 730 mm
2	420 kg	210 l	0,500	60,0%	30%	70%	0,2%	1,5% 630 mm
3	417 kg	196 l	0,470	52,8%	-	100%	0,4%	- 105 mm

é geralmente avaliada pela facilidade de alisamento e pelo julgamento visual da resistência à segregação (MEHTA & MONTEIRO, 1984).

Dessa maneira, a importância da trabalhabilidade na tecnologia dos concretos é muito clara. Independentemente da sofisticação utilizada nos procedimentos de dosagem e de outras considerações, tais como o custo, uma mistura de concreto que não pode ser lançada facilmente ou adensada em sua totalidade, provavelmente, não apresentará as características de resistência e durabilidade inicialmente desejadas.

4. Ensaios experimentais e aplicação do CAA

O estudo experimental foi desenvolvido a partir da especificação do concreto pela obra, que previa $f_{ctm,k} = 6,0$ MPa, slump-flow de 650+-50 mm, utilização de sílica ativa no teor de 11% visando a durabilidade do piso que estará exposto à agentes químicos agressivos quando de sua utilização futura e 1,8 kg de fibra de vidro/m³ para compensação dos esforços de retração.

Os materiais utilizados para as dosagens de laboratório foram o cimento CII F32, areia natural e britas procedentes da região de Cama-

cari/BA, sendo que duas dosagens de concreto auto-adensável, de slump-flow de 650+-50 mm, foram elaboradas com proporcionamentos diferenciados para verificação de suas propriedades no estado endurecido e uma dosagem referência foi elaborada para lançamento através de bomba, a qual é predominantemente utilizada pelo mercado brasileiro com slump de 100+-20 mm. Todos com a finalidade de aplicação em pisos industriais polidos e com as mesmas adições já descritas, sendo que o concreto auto-adensável foi especificado para lançamento convencional.

O consumo de cimento da dosagem referência foi adequado para a mesma faixa de consumo dos concretos auto-adensáveis para que as propriedades do concreto endurecido fossem comparadas.

A Tabela 1 apresenta as características principais das dosagens elaboradas, bem como, o slump/slump-flow obtido.

O aspecto dos concretos elaborados podem ser observadas pelas Figuras 1, 2 e 3, sendo que o concreto da dosagem 1 apresentou maior espalhamento no ensaio de slump flow, bem como, maior mobilidade permitindo um maior escoamento do concreto sobre a superfície.

Para a verificação dos tempos de início e fim de pega, adotou-se a dosagem 2, a fim de compatibilizar o tempo para início das operações de acabamento/polimento do piso, o qual

Figura 1 – Concreto auto-adensável – dosagem 1



Figura 2 – Concreto auto-adensável – dosagem 2



Figura 3 – Concreto plástico – dosagem 3 – referência



é especificado pela maioria das empresas de execução como sendo de aproximadamente 6 horas. Os resultados obtidos no ensaio podem ser observados na tabela 2.

No estado endurecido, os concretos estudados foram submetidos ao ensaio para determinação da resistência à compressão e módulo de deformação secante (Ecs), sendo os resultados apresentados nas tabelas 3 e 4.

Para avaliação do desempenho das dosagens quanto à variação dimensional foram

Tabela 2 – Determinação dos tempos de pega – NBR NM 9

Tempos de pega		
	Início pega (h:m)	Fim pega (h:m)
Dosagem 2	7:45	8:45

realizados os ensaios de retração por secagem através da moldagem de corpos-de-prova prismáticos. Em seguida, os corpos-de-prova foram levados à câmara úmida com umidade relativa maior que 95% e temperatura de 23+2 C até completar 30 minutos. Após este período, os corpos-de-prova foram levados à câmara seca com umidade relativa de 50+4 % e temperatura de 23+2 C. As leituras de variação dimensional foram executadas com relógio comparador, com aproximação de 0,001% nas idades de 4, 7, 14 e 28 dias.

Os corpos-de-prova prismáticos moldados, ainda na fôrma, e os resultados obtidos no ensaio são apresentados através da Figura 4 e Tabela 5.

O piso industrial em questão é composto por placas de concreto com dimensões de

Tabela 3 – Determinação da resistência à compressão – NBR 5739

Resistência à compressão (MPa)			
Idade	Dosagem 1	Dosagem 2	Dosagem 3
7 dias	50,6 / 51,0	47,6 / 47,9	35,3 / 36,8
28 dias	71,3 / 72,7	67,2 / 66,8	43,1 / 45,0

Tabela 4 – Determinação do módulo de deformação – NBR 8522

Módulo de deformação (GPa)			
Plano de Carga	Dosagem 1	Dosagem 2	Dosagem 3
20%	48,1	42,6	41,7
30%	46,8	40,6	39,5
40%	45,7	39,4	37,7
50%	44,4	38,3	35,5
60%	43,2	36,9	32,8
70%	41,3	34,9	29,7
80%	38,9	33,5	24,7

Figura 4 – Corpos-de-prova prismáticos moldados



7,0 x 7,0 m e espessura 16 cm. As placas foram concretadas em faixas de 7,0 m de largura, de maneira contínua, executando a abertura de juntas de retração através de disco de corte a cada 7,0 m.

O momento da concretagem das placas e as placas acabadas podem ser observados através das figuras 5 e 6.

5. Análise de resultados e discussões

No aspecto reológico, a dosagem 1 apresentou, no estado fresco, características auto-adensáveis propriamente ditas, visto que o concreto teve a mobilidade adequada, com slump-flow previsto, garantindo a homogeneidade contínua da mistura, sem exsudação evidente.

Figura 5 – Momento da concretagem



Figura 6 – Piso concretado e polido



A dosagem 1, comparada à dosagem 2, apresenta menor teor de argamassa e curva granulométrica mais descontínua, o que garantiu as propriedades do CAA no estado fresco, compensado pelos finos passantes na # 0,075mm, como o cimento e a sílica ativa.

O tempo de início de pega obtido é compatível com o obtido para os concretos comumente utilizados para pisos industriais polidos.

As resistências à compressão dos concretos auto-adensáveis (dosagens 1 e 2) são

Tabela 5 – Determinação das variações dimensionais – ASTM C 157

Idade	Dosagem 1	Dosagem 2	Dosagem 3
4 dias	-0,016	-0,022	-0,017
7 dias	-0,022	-0,040	-0,029
14 dias	-0,027	-0,052	-0,040
28 dias	-0,036	-0,058	-0,052

superiores à dosagem referência (dosagem 3), mesmo para relações A/C ligeiramente superiores, devido à contribuição da utilização dos aditivos hiperplastificantes à base de policarboxilatos modificados, o que deve ter melhorado a zona de transição matriz-agregado.

Os resultados dos ensaios de módulo de deformação indicam que a dosagem 1 (CAA) apresentou maior módulo de deformação secante Ecs, representando menor deformação, justificado pelo menor teor de argamassa utilizado; entretanto, a dosagem 2 (CAA) apresenta maior teor de argamassa que a dosagem 3, sendo que o módulo de deformação secante Ecs da dosagem 2 é maior que da dosagem 3.

Quanto à retração por secagem até a

idade de 28 dias, a dosagem 1 (CAA) apresenta menor retração; entretanto, a dosagem 2 (CAA) apresenta maior retração, justificado pelo maior consumo de cimento, água e teor de argamassa. A dosagem 1 (CAA) apresenta menor retração que a dosagem 3 (referência).

Em obra, os dois traços desenvolvidos para aplicação de concreto auto-adensável em pisos industriais polidos foram lançados, sendo que, em laboratório, a dosagem 1 apresentou melhor desempenho quanto à retração.

Desta forma, pela dosagem 1, por todos os ensaios de laboratório realizados e pelo desempenho em obra, foi validado o concreto auto-adensável (CAA) para fins de aplicação em pisos industriais polidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ASTM C 157. Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete, adaptado ABCP.
- [02] CASTRO, A. L..Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho, Tese de doutorado – USP, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.
- [03] CHADOUNSKY, M. A. et al.. Pisos industriais de concreto – Aspectos teóricos e executivos. São Paulo, 2007
- [04] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto : estrutura, propriedades e materiais. São Paulo, 1994.
- [05] NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro. 2003.
- [06] NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- [07] NBR 8522. Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão, 2008.
- [08] NBR NM 9. Concreto e Argamassa – Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração, 2003.
- [09] RODRIGUES, P. P. F. et al.. Manual Gerdaul de pisos industriais. São Paulo, 2006. ◆

II WORKSHOP BRASILEIRO SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO



Evento paralelo ao 50º Congresso Brasileiro do Concreto



8 de setembro de 2008
Salvador, Bahia

Temas

- PROJETO E ANÁLISE ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS DE CONCRETO
- MATERIAIS PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO
- GERÊNCIA E MANUTENÇÃO
- CONTROLE DE QUALIDADE DE CONSTRUÇÃO DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO



Mais informações – www.ibracon.org.br

Umidade em laje: o que fazer?

Impermeabilizar as coberturas que ficam expostas às intempéries, como as lajes e outras áreas igualmente não sujeitas ao tráfego de veículos ou pedestre, pede atenção especial: da escolha do produto à sua aplicação.

Para que cada etapa seja cumprida com perfeição, afastando qualquer possibilidade de umidade e vazamentos, a Vedacit/Otto Baumgart preparou um checklist completo. Confira:

- ◆ Escolha o produto, considerando que áreas não sujeitas ao tráfego de veículos ou pedestres devem ser impermeabilizadas com membrana líquida, de base acrílica e aplicação a frio, pronta para uso e para ser moldada no local.
- ◆ Verifique se a superfície a ser impermeabilizada está limpa, seca e regularizada.
- ◆ Caso seja necessário, regularize com argamassa de cimento e areia, com adição do impermeabilizante, realizando um caimento mínimo de 1% em direção aos coletores de águas pluviais.
- ◆ Para aplicar a primeira demão, chamada de imprimação, dilua o produto em 15% de água, para proporcionar uma melhor penetração do produto no concreto. Nas outras cinco demãos, aplicadas com intervalo de seis horas entre uma e outra, o impermeabilizante deve ser aplicado puro.
- ◆ Aqui, cabe uma observação: áreas sujeitas à movimentação, como lajes pré, juntas e trincas, devem receber um reforço entre a primeira e a segunda demão, com tecido impermeabilizante.
- ◆ Tudo pronto, comece a aplicação do impermeabilizante, que pode ser feita com escovão de pêlo macio ou com broxa.



Fase da imprimação: aplicação do produto diluído em água



Outras demãos: aplicação do produto puro



Secagem: intervalo de 6 horas entre as demãos

Espalhe uniformemente o produto sobre a superfície.

- ◆ Considere algumas dicas como: contratar profissionais habilitados para o serviço de impermeabilização, pois requerem conhecimentos específicos; aplicar o produto com tempo estável; cobrir objetos para evitar danos com respingos; estocar o produto em local coberto, fresco, seco e ventilado, mantendo-o fora do alcance de crianças e animais, bem como longe das fontes de calor.

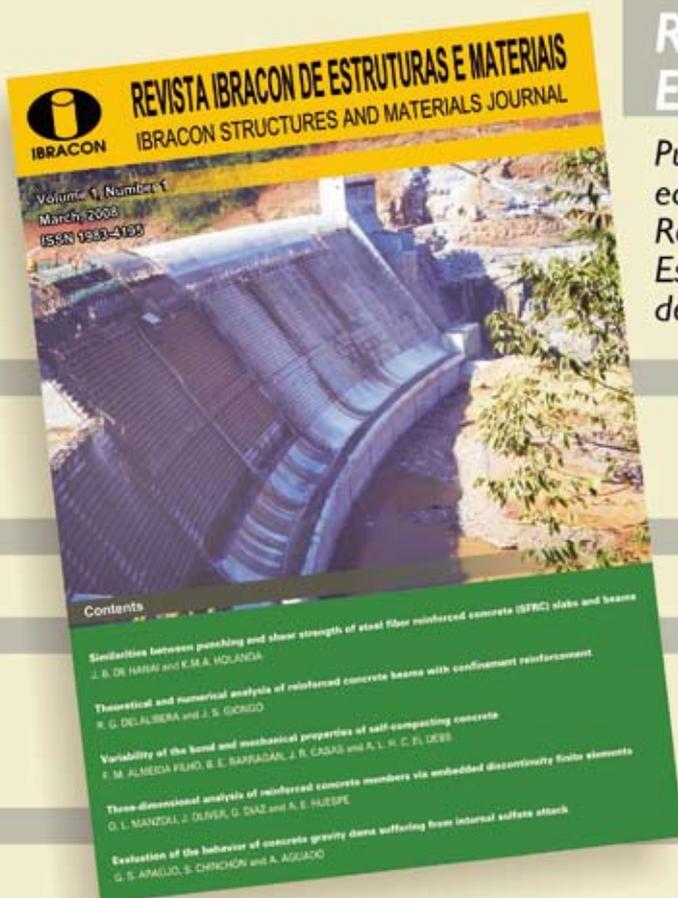
Sobre a Vedacit / Otto Baumgart

A Vedacit/Otto Baumgart, empresa genuinamente nacional com 72 anos de atuação, é reconhecida como líder de mercado em

produtos de alta tecnologia para a construção civil. Mais de 120 itens compõem as linhas de impermeabilizantes, materiais para a recuperação de estruturas e aditivos para concreto, desenvolvidos em laboratório próprio, viabilizando a aplicação constante de tecnologia de ponta e a elaboração de produtos apropriados para obras de diferentes dimensões.

Através de escritórios de apoio técnico e comercial instalados nas principais capitais brasileiras, mais de 100 representantes e uma eficiente logística, os produtos que levam a marca são encontrados em mais de 30 mil pontos-de-venda do país, com cobertura de 94% das lojas de materiais de construção.

Suas linhas de produtos, histórico do Grupo e informações sobre suas fábricas em São Paulo e Salvador estão disponíveis no site www.vedacit.com.br. Os contatos com a empresa podem ser feitos através dos telefones (11) 2902-5555, em São Paulo, e (71) 3432-8900, em Salvador. ◆



Revista IBRACON de Estruturas e Materiais – RIEM



*Publicação técnico-científica online,
editada pelo Instituto Brasileiro do Concreto.
Resultado da fusão Revista IBRACON de
Estruturas (RIEST) com a Revista IBRACON
de Materiais (RIMAT)*

Objetivo

Divulgar as pesquisas sobre o concreto, em seu aspecto estrutural e de material para a construção civil, assim como notas técnicas e discussões sobre estas pesquisas e inovações

Acessibilidade

Acesso livre pela homepage do IBRACON em www.ibracon.org.br

Gerenciamento

Sistema de gerenciamento de periódicos desenvolvido pelo PKP – Public Knowledge Project.
Envie seu artigo para publicação. Consulte as Diretrizes para autores na página da RIEM.

Editores

Américo Campos Filho
José Luiz Antunes de Oliveira e Sousa
Paulo Roberto do Lago Helene

A indústria do cimento e seu papel na redução das emissões CO₂

M. Sumner, G. Gianetti e H. Benini
Grace Construction Products

Resumo

Este artigo discute brevemente o panorama atual do Protocolo de Kyoto e o mercado de créditos de carbono considerando a alternativa da produção de cimentos com menores teores de clínquer pela indústria cimenteira no mundo como forma de contribuir para a redução das emissões de CO₂.

Introdução

CIMENTOS COMPOSTOS E ADITIVOS MELHORADORES DE QUALIDADE

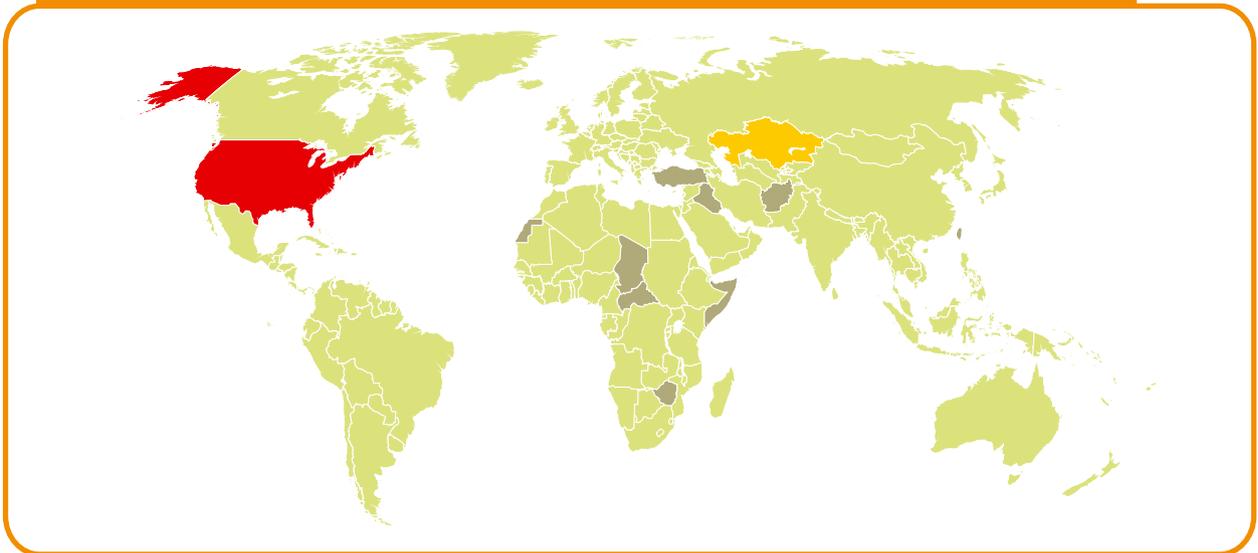
Atualmente, os cimentos compostos representam uma parcela significativa da produção mundial de cimento Portland. Nestes cimentos, parte do clínquer é substituído pelos chamados Materiais Cimentícios Suplementares (*Supplementary Cementitious Materials*) – SCM, que conferem características especiais ao concreto, tal como maior durabilidade. Entretanto, os limites de SCM que podem substituir o clínquer dependem de uma série de parâmetros tais como: tipo de adição mineral e sua reatividade, tipo de cimento, finura, composição do clínquer. Geralmente, as SCM requerem uma maior energia de ativação para hidratação comparado ao clínquer, reconhecida, durante a aplicação dos cimentos compostos, pelo tempo de pega mais prolongado (menor cinética de hidratação nas primeiras horas) e pelas menores resistências iniciais. Por outro lado, com o uso de aditivos melhoradores de qualidade, compostos químicos utilizados em pequenas concentrações durante a moagem do clínquer na produção do cimento Portland, é possível reduzir as diferenças das resistências mecânicas apresentadas pelos cimentos compostos quando comparados ao cimento Portland tradicional ou tipo CP-I.

O Protocolo de Kyoto e o esquema do Tratado de Comércio da União Européia (EU ETS)

O papel dos aditivos de qualidade na produção do cimento tem se tornado cada vez mais importante devido ao potencial aumento dos teores de substituição de clínquer por adições minerais, que pode ser mais intensamente incentivado pela adoção do protocolo de Kyoto e o Esquema do Tratado de Comércio da União Européia (EU ETS).

Países que ratificaram o protocolo de Kyoto estão comprometidos em reduzir as emissões, principalmente do dióxido de carbono (CO₂, é o gás que mais contribui para o aquecimento global) e outros gases de efeito estufa (GHG – *green house gases*): o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), cloro-fluorcarboneto (CFC), hidrofluorcarboneto (HFCs), o perfluorcarbonetos (PCFC's) e também o hexafluoreto de enxofre (SF₆). O acordo estabeleceu a redução para 87,5% dos níveis de emissão medidos em 1990 até o ano de 2012, ou à promoção do comércio dos créditos de gases não emitidos, se estes mantiverem ou diminuir as emissões totais destes gases. O tratado foi negociado em Kyoto, Japão, em 1997 e ratificado em 1999 e definiu legalmente por contrato os limites da emissões dos gases de efeito estufa – GHG – nos países desenvolvidos (referidos como países Annex 1). Estes países devem apresentar um inventário anual de emissão de GHG. Por outro lado, países em desenvolvimento (referidos como países Não-Annex 1) não estão vinculados a nenhuma meta de redução de emissões anuais. Em Janeiro de 2006, mais de 160 países ratificaram o acordo (representando 55% das emissões de GHG). Os países signatários são mostrados na Figura 1.

Figura 1 – Mapa dos países participantes do Protocolo de Kyoto.
Verde: países que ratificaram o Protocolo. Amarelo: países que ratificaram, mas ainda não cumpriram o protocolo. Vermelho: países que não cumpriram o protocolo e Cinza: países que não assumiram nenhuma posição no protocolo



O protocolo de Kyoto inclui os chamados “mecanismos flexíveis”, os quais permitem que economias Annex 1 cumpram com seus limites de redução de emissões pela compra de certificados de GHG (referidos como créditos de CO₂ não emitidos) de qualquer outra parte. Estes podem ser comprados através de bolsas de comércio, como a *EU Emissions Trading*, ou através de projetos que reduzam as emissões em economias Não-Annex 1 signatárias do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo ou CDM, como os países da América Latina.

O Tratado de Emissões da União Européia, aprovado em 2003 e iniciado sua operação em 2005, define um orçamento doméstico a cada estado membro, conhecido como Plano de Alocação Nacional (NAP), que especifica limites de emissões do GHG, segmentando o setor industrial em geração de eletricidade, produção de ferro ou aço, papel e celulose, vidro ou cerâmicas e cimento Portland, entre outros. O NAP resulta de uma análise das capacidades instaladas necessárias nos distintos segmentos, iniciando pelas indústrias de base e, posteriormente, uma análise quanto às reduções necessárias para o cumprimento do protocolo de Kyoto. Os planos de cada Estado-membro são submetidos à Comissão Européia para aceitação (considerando cada fase da aplicação do EU ETS). Cada fábrica recebe um “volume máximo de emissão” “Allowances” considerando:

- ◆ **Primeira fase de 2005-07;**
- ◆ **Segunda fase de 2008-12** corresponde ao

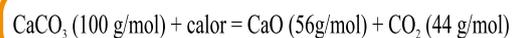
primeiro período do protocolo de Kyoto; todos os GHG, e não somente o CO₂, são incluídos nos créditos de CDM, assim como aqueles produzidos pela aviação;

- ◆ **Terceira fase de 2013-17** corresponde ao segundo período do protocolo de Kyoto, que, em síntese, envolve um sistema de redução e comercialização progressiva com metas mais rigorosas a cada período.

A indústria do cimento: uma fonte importante de emissão de CO₂

A indústria de cimento, consciente do impacto das emissões de CO₂ e considerando seriamente as questões de desenvolvimento sustentável na qual está inserida, tem muitos dos seus maiores produtores mundiais comprometidos publicamente com a redução significativa das emissões de CO₂ até o ano de 2012. Na realidade, a indústria cimenteira é responsável por, aproximadamente, 5% das emissões globais causadas pela ação humana, sendo:

- ◆ 50 a 60% das emissões geradas na reação química do processo de produção do cimento (calcinação do calcário)



1

- ◆ 30 a 40% são devido à combustão dos combustíveis fósseis no forno.

Em média 0,7 ton de CO₂ são produzidas por tonelada de cimento produzido.

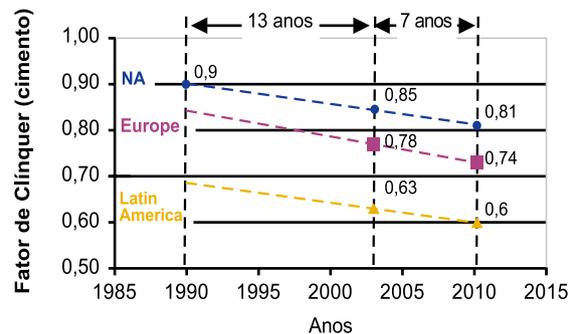
As empresas cimenteiras submetidas ao EU ETS “conhecem” quanto CO₂ foi alocado em cada uma de suas plantas para um determinado período. Ao final do primeiro período (2007), as companhias que excederam suas metas de emissão de CO₂ devem comprar créditos de carbono no mercado aberto e pagar uma multa de 40 euros por cada tonelada de dióxido de carbono emitida. Ao final do segundo período, a multa é aumentada a um valor de 100 euros/ton. Se a planta não utilizar sua alocação total, a companhia pode comercializar este excedente no mercado. Reduções significativas das emissões de CO₂ levarão inevitavelmente a um incremento do custo de energia utilizada (representa aproximadamente 15% do custo variável de uma planta em países desenvolvidos) e a um custo adicional para os produtores com restrição de emissão de CO₂, que terão que comprar créditos no mercado (ETS). No entanto, as emissões podem ser reduzidas, principalmente, pela combinação de:

- ◆ Redução ou (re-alocação) da produção;
- ◆ Melhoria do uso eficiente da energia (investimento em novas plantas mais eficientes, novos fornos de maior capacidade, etc);
- ◆ Substituição dos combustíveis fósseis por biomassa (já que o CO₂ emitido por estes combustíveis não são considerados nas emissões – fontes renováveis);
- ◆ Introdução ou otimização do uso de cimentos compostos (menor porcentagem de clínquer nos cimentos).

Implicações derivadas do comércio de créditos de carbono

O uso de adições minerais ou SCM em cimentos compostos mostra-se como uma potencial contribuição na redução das emissões de CO₂. A maioria destas SMC é adicionada na etapa de moagem do cimento na produção de cimentos compostos. A produção de cimentos compostos é extremamente usual na Europa e América Latina e envolve a moagem do clínquer com uma ou mais adições minerais (calcário, escória de alto-forno, pozolanas), sendo o custo dependente da disponibilidade local e custos associados ao transporte. Atualmente, os custos destes SCM são significativamente mais baixos que o custo do clínquer. O fator clínquer largamente correlacionado com o total de emissão de CO₂ tem caído

Figura 2 – Evolução global do fator de clínquer médio nos cimentos produzidos



drasticamente ao longo da última década, como mostrado na Figura 2. As causas deste decréscimo podem ser apontadas como:

- ◆ Menor custo para a produção dos cimentos compostos
- ◆ Demanda de mercado por cimentos com propriedades especiais (resistentes a sulfatos, menor calor de hidratação, etc.)
- ◆ E mais recentemente:
 - ◆ Processo de produção de cimento Portland com menor emissão de CO₂.

Como resultado desta significativa redução do fator de clínquer ao longo dos anos, é esperado que, em média, se alcance um fator de clínquer de 0,60 na América Latina em 2010, considerando um valor de 0,66 em 2003, adotando-se uma simples correlação linear.

O papel dos aditivos melhoradores de qualidade

Na redução das emissões de CO₂, tem sido de grande interesse a busca por alternativas para maximizar o uso das SCM nos cimentos, mantendo-se as propriedades no estado fresco e endurecido dentro dos parâmetros de uso aceitáveis. Neste sentido, o uso de aditivos de qualidade contribui para um incremento das substituições de clínquer e, conseqüentemente, redução das emissões de CO₂ por tonelada de cimento produzido. Por outro lado, mais do que a redução das emissões por tonelada de cimento produzida, é importante considerar as emissões por m³ de concreto produzido em uma dada classe de resistência, que, para fins práticos, deve ser consideradas na validação do balanço de redução das emissões de CO₂.

Os aditivos melhoradores de qualidade podem também representar uma contribuição econômica adicional na redução dos custos pela redução da energia despendida na moagem do cimento, ou mesmo a produção de cimentos com uma distribuição de partículas com maior diâmetro médio (menor gasto com energia para uma mesma característica de desempenho).

A seleção do aditivo apropriado depende largamente do tipo de SCM e composição do clínquer, além do desempenho esperado para um dado cimento. Por exemplo, escória de alto forno e cinza volante apresentam maior efeito sobre a redução das resistências iniciais e tempo de pega; então formulações apropriadas que reduzam o tempo de pega e aumentem as resistências iniciais são empregadas. Em cimentos compostos com filler calcário, usualmente, o maior efeito está sobre a redução das resistências finais, enquanto em alguns casos são necessários aditivos que reduzam a demanda de água.

O benefício econômico da redução de CO₂ depende essencialmente da redução de CO₂/ton de cimento produzido e do valor dos créditos de carbono no mercado (por exemplo, ETS). Nos exemplos reais analisados abaixo, foi adotado uma geração de 862 kg de CO₂ por ton de clínquer produzido, enquanto as SCM foram consideradas como uma contribuição nula na emissão de CO₂.

EXEMPLO 1 – CIMENTO COMPOSTO COM CALCÁRIO

No primeiro exemplo, como mostrado na Tabela 1, foi considerado o uso de um

aditivo melhorador de qualidade TDA em um cimento tipo composto com adição de filler calcário em uma dosagem de 400 g/ton de cimento. Foi observado um incremento de 8 para 15% no teor de calcário (clínquer foi reduzido de 87% para 80%). A produção horária do moinho foi mantida praticamente constante com 51 ton/h comparado a 49 ton/h quando aditivado e o blaine medido durante o ensaio industrial foi incrementado de 305 para 332 m²/kg, enquanto as resistências mecânicas aos 2, 7 e 28 dias foram, respectivamente, comparadas ao cimento sem aditivo (100%), iguais a 105, 104 e 108%.

Como mostrado na análise de custos, abaixo, assumindo um custo de US\$ 10/ton de CO₂ emitido, o custo do cimento foi reduzido em aproximadamente 4%, já descontados os custos do aditivo e possivelmente gerando uma produção adicional de 35.000 ton/ano.

EXEMPLO 2– CIMENTO COMPOSTO COM CINZA VOLANTE

Neste exemplo, como mostrado na Tabela 2, o uso de um aditivo melhorador de qualidade tipo TDA permitiu um incremento no teor de pozolana de 28 para 34% (o fator clínquer foi reduzido de 67% para 61%). A produção do moinho aumentou a 59 ton/h comparado a 51 ton/h, enquanto as resistências mecânicas, relativas ao cimento sem aditivo (100%), aos 2, 7 e 28 dias, foram, respectivamente, iguais a 105, 106 e 105%, com um incremento do Blaine de 342 a 356 m²/kg.

Tabela 1 – Cimento Portland Composto com calcário (Produção anual de clínquer de 350.000 ton/ano, assumindo 862 kg de emissão de CO₂ por ton de clínquer)

Parâmetro	Sem aditivo	Com aditivo melhorador de qualidade
Custo aditivo (\$/ton) tratada	0	0.68
Dosagem (g/ton)	0	400
% adição	8	15
Produção moinho (ton/h)	51	49
KWh/ton	37.3	38.8
KWh/ton (custo \$)	2.24	2.33
Matérias-primas (custo/ton)	0.40	0.42
Custo total composição (\$/ton)	23.24	21.70
CO ₂ (custo/ton cimento)	7.93	7.33
Somatória (\$/ton)	33.81	31.77
Economia/ton	0	2.04
Volume de cimento produzido	402.299	437.500
Incremento de produção	0	35.201

Considerando-se uma adição de 5% de gesso na composição do cimento.

Tabela 2 – Cimento Portland Composto com cinza volante (Produção anual de clínquer de 275.000 ton/ano, assumindo 862 kg de emissão de CO₂ por ton de clínquer)

Parâmetro	Sem aditivo	Com aditivo melhorador de qualidade
Custo aditivo (\$/ton) tratada	0	0.81
Dosagem (g/ton)	0	1500
% adição	28	34
Produção moinho (ton/h)	51	59.5
KWh/ton	34.7	29.7
KWh/ton (custo \$)	1.74	1.49
Matérias-primas (custo/ton)	0.30	0.26
Custo total composição (\$/ton)	25.0	23.50
CO ₂ (custo/ton cimento)	6.21	5.68
Somatória (\$/ton)	33.24	30.93
Economia/ton	0	2.31
Volume de cimento produzido	410.488	450.820
Incremento de produção	0	40.372

Considerando-se uma adição de 5% de gesso na composição do cimento.

Neste exemplo, considerando o mesmo valor pela redução das emissões de carbono, é possível uma economia de, aproximadamente, 6% sobre o custo de produção do cimento, permitindo um incremento de produtividade de aproximadamente 40.000 ton/ano.

EXEMPLO 3 – CIMENTO COMPOSTO TIPO CALCÁRIO

Neste exemplo, como mostrado na Tabela 3,

o uso de um aditivo melhorador de qualidade tipo ESE utilizado em um cimento com calcário, permitiu um incremento no nível de calcário de 12 para 19% (o fator clínquer foi reduzido de 83% a 76%). A produção do moinho aumentou a 47 ton/h comparado a 45 ton/h, enquanto as resistências mecânicas, relativas ao cimento sem aditivo (100%), aos 2, 7 e 28 dias, foram mantidas em valores comparáveis, com um Blaine de 386 m²/kg nos dois casos.

Neste exemplo, considerando o mesmo valor pela redução das emissões

Tabela 3 – Cimento Portland Composto com cinza volante (Produção anual de clínquer de 300.000 ton/ano, assumindo 862 kg de emissão de CO₂ por ton de clínquer)

Parâmetro	Sem aditivo	Com aditivo melhorador de qualidade
Custo aditivo (\$/ton) tratada	0	1.28
Dosagem (g/ton)	0	800
% adição	12	19
Produção moinho (ton/h)	45.0	47.3
KWh/ton	46.0	43.8
KWh/ton (custo \$)	3.22	3.06
Matérias-primas (custo/ton)	0.40	0.38
Custo total composição (\$/ton)	32.36	30.82
CO ₂ (custo/ton cimento)	2.28	2.09
Somatória (\$/ton)	38.26	36.36
Economia/ton	0	1.90
Volume de cimento produzido	361.446	394.737
Incremento de produção	0	33.291

de carbono, é possível uma economia de aproximadamente 9,5% sobre o custo de produção do cimento, permitindo um incremento de produtividade de aproximadamente 33.000 ton/ano.

Conclusão

Os aditivos melhoradores de qualidade são capazes de permitir o uso de maiores teores de SCM, adições minerais (calcário, escória de alto forno e pozolanas – cinza volante, pozolana natural, argila calcinada, etc), mantendo o desempenho destes cimentos compos-

tos. Com a redução do fator de clínquer por tonelada de cimento produzido são obtidos vários benefícios:

- ◆ Menor custo pela composição das matérias-primas do cimento.
- ◆ Menor emissão de CO₂ por tonelada de cimento.
- ◆ Aumento do volume de cimento produzido por tonelada de clínquer disponível.

Estes benefícios são de grande importância, principalmente em países da América Latina nos quais a demanda doméstica da construção civil pode causar a falta de cimento no mercado até que novas fábricas, já anunciadas, se tornem operativas em um futuro próximo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Gartner, EM and Myers DF. Influence of tertiary alkanolamines on Portland cement hydration. Journal of American Ceramic Society, vol 76, 1993. pp 1521- 1530
- [02] Chiesi, CW. Myers DF and Gartner, EM. Relationship between clinker properties and strength development on the presence of additives. 14th International Conference on cement microscopy. California, 19992, pp 388-401. (International Cement Microscopy Association, Ducanville, Texas, 1992).
- [03] Harder, J. Development of clinker substituton in the cement industry. ZKG International. No. 2-2006 (volume 59). pp 58-64. ◆

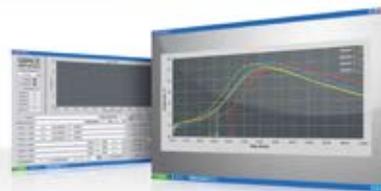
Garanta a qualidade do concreto em qualquer lugar com o AdiaCal™

O AdiaCal™ são calorímetros semi-adiabáticos que medem a evolução da hidratação do cimento em amostras coletadas de concreto. Com ele, é possível verificar a uniformidade das entregas em condições reais, como um ensaio de qualidade de recebimento, utilizando amostras coletadas diretamente dos caminhões. Os resultados do AdiaCal™ podem ser facilmente interpretados através do software de leitura, em qualquer computador ou notebook.

Vantagens AdiaCal™ 4 e 8 Portátil

- Ótima opção de custo/benefício para acompanhamento da qualidade do concreto;
- Unidade portátil para uso em campo, que dispensa outros recursos de laboratório;
- Permite teste em 4 ou 8 canais simultâneos, usando porta-amostras de 10x20 cm;
- Software de fácil uso e interpretação (incluso);
- Plug and Play.

GRACE



O software do AdiaCal™ é amigável e prático, compatível com Windows® e outros sistemas operacionais.

AdiaCal™ 4 | AdiaCal™ 8

Utilização	- Avaliação de traço; - Qualificação de materiais; - Investigação de problemas em campo; - Interação de materiais; - Uniformidade de entregas; - Determinação de dosagem máxima de aditivo.
Condições de teste	Diretamente em campo

Central de Atendimento ao cliente:
(15) 3235 4734 | 3235 4781
sac.gcpbrasil@grace.com

Visite nosso site:
www.graceconstruction.com

AdiaCal™ TC

Utilização	- Otimização do teor de sulfato em cimentos; - Determinação da resposta dos materiais em distintas condições de temperatura; - Predição do comportamento de fissuração do material; - Rápida e precisa investigação de problemas.
Condições de teste	Simulação de diferentes condições de temperatura

Participe do maior evento técnico-científico nacional e latino-americano.



Aproveite o desconto no valor da inscrição até o dia **20 de agosto de 2008**.

INSCRIÇÕES

Valores (R\$)
Até 20/08/2008

Valores (R\$)
No Congresso

SÓCIO INDIVIDUAL	R\$ 650,00	R\$ 700,00
NÃO-SÓCIO INDIVIDUAL	R\$ 800,00	R\$ 850,00
SÓCIO ESTUDANTE GRADUAÇÃO	R\$ 350,00	R\$ 400,00
ESTUDANTES SÓCIOS PÓS-GRADUAÇÃO	R\$ 400,00	R\$ 450,00
ESTUDANTES NÃO-SÓCIOS GRADUAÇÃO	R\$ 450,00	R\$ 500,00
ESTUDANTES NÃO-SÓCIOS PÓS-GRADUAÇÃO	R\$ 500,00	R\$ 550,00

Notas de Empenho serão aceitas se pagas até o dia 20 de agosto de 2008!

Não perca a chance de se atualizar!

Inscruva-se:

http://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/precos_inscricoes_2008.asp

Veja a programação completa em: <http://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc>

Patrocinador
DIAMANTE



Patrocinadores
OURO



Patrocinadores
PRATA



Saiba sobre as cotas de patrocínio e de exposição. Ligue: 11-3735-0202.

50^o CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO IBRACON 2008



Centro de Convenções da Bahia
Salvador | BA

4 a 9 de setembro
de 2008

Destaques da programação

Bruno Contarini – Rio de Janeiro – BRASIL | “Cidade da Música”

Charles K. Nmai – BASF – USA | “Impact of PCE-Based High-Range Water Reducers on Precast/Prestressed Concrete Operations”

Daniel Cusson – IRC/NRC – Canadá | “Internal curing of high-performance concrete bridge decks and its effect on performance, service life, and life-cycle cost”

Kumar Mehta | “Ternary Blended Cements – A Powerful Tool for Sustainable Structures of the Future”

Paulo Monteiro – Universtiy of California Berkeley – USA | “Caracterização da Nanoestrutura e Microestrutura do Concreto para a Otimização da sua Durabilidade”

Per Fidjestol – Elkem Materials South America – Noruega | “The history of silica fume in concrete - from novelty to key ingredient in high performance concrete”

Surendra Shah – Northwestern University – USA | “Recent Advances in Concrete and Application of Nanotechnology”

SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO – RCC 2008

Evento paralelo ao 50^o CBC 2008.



Brazilian International
RCC Symposium



IBRACON/RCC/2008

Destaques

Shigeyoshi Nagataki – Instituto de Tecnologia de Tóquio – Japão

Joaquín Díez-Cascón Sagrado – Universidade de Cantabria – Espanha

Brian Forbes – Dams Projects – Austrália | RCC – Development and Innovations

Timothy P. Dolen – U.S. Bureau of Reclamation – USA

Theodore Strobl – Universidade de Tecnologia de Munique – Alemanha

JohannGeringer – Department of Water Affairs and Forestry – África

SEGUNDO WORKSHOP BRASILEIRO SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Evento paralelo ao 50^o CBC 2008.



Destaques

Mark Snyder – University Pittsburgh – USA | “100 anos de pavimentação em concreto nos EUA”

Julie M. Vandebossche – University of Illinois – USA | “Projeto, construção e aplicações em Whitetopping ultradelgado – A experiência dos EUA”

Trabalhabilidade do concreto auto-adensável: ensaios para dosagem, controle de qualidade e aceitação em obra

Ricardo Alencar
Precast. BU Concrete, Sika Brasil

Paulo Helene
Escola Politécnica da USP

Jane Honda
Ready-mix. BU Concrete, Sika Brasil

Resumo

Neste artigo é feita uma análise crítica dos principais testes disponíveis do concreto auto-adensável (CAA) no estado fresco, apresentando suas vantagens e limitações, correlacionando-os com os parâmetros reológicos fundamentais, bem como com sua aplicação prática na concretagem de estruturas moldadas *in situ* e pré-fabricadas, validando-os para a qualificação do CAA para a dosagem, controle de qualidade e aceitação em obra. Dessa forma, pretende-se contribuir para a discussão atual empreendida para normalização do CAA pelo Comitê Brasileiro CB-18, Comissão de Estudo CE-18:300.03, no âmbito da ABNT.

1. Introdução

Particularmente no ramo de pré-fabricados, o concreto auto-adensável tem emergido de um objeto de estudo teórico para tornar-se muito popular. Em poucos anos, tem sido mais a regra do que a exceção em países industrializados, de forma que, não existe tópico na indústria de pré-fabricados de concreto que tenha ganhado tanta atenção como o CAA, já utilizado em 100 por cento de sua produção em algumas plantas no exterior.

Tudo isso pode ser explicado devido à existência de uma série de melhorias no seu processo de aplicação, entre eles, pode-se citar: a diminuição sensível da necessidade de desempenho e minimização de macro defeitos, bolhas de ar e falhas de concretagem, devido a sua propriedade auto-nivelante; melhoria das condições de trabalho pela redução dos ruído, com a eliminação de vibradores, conseqüente redução de mão de obra, economia de energia elétrica; menor desgaste às fôrmas; além de acelerar o ritmo da concretagem.

Porém, segundo Walraven (2008), no que diz respeito ao emprego do concreto auto-adensável em obra, o desenvolvimento é um pouco mais lento, em virtude da maior sensibilidade da produção. Isso se deve à variação das condições em canteiro, a maior dificuldade de controle da mistura e também às discordâncias com relação à questão das propriedades do CAA em estado fresco que devem ser medidas *in situ*?

Por isso, uma questão importante a ser elucidada diz respeito à relevância de se conhecer as características de trabalhabilidade do concreto auto-adensável. Na prática, isso pode ser entendido ao se verificar que dois concretos auto-adensáveis quaisquer que possuem o mesmo espalhamento (ou ainda dois concretos convencionais com o mesmo *slump*) podem, entretanto, sob fluxo, apresentarem comportamentos distintos (HOPPE FILHO; CINCOTTO &

PILEGGI, 2007). Por exemplo, o concreto com menor viscosidade escoará mais facilmente por tubulações e se moldará melhor às fôrmas, desde que não apresente segregação.

Conseqüentemente, não se pode atribuir o comportamento do concreto apenas pelo ensaio do tronco de cone, pois o mesmo é deficiente quanto à caracterização reológica.

Para o concreto comum, a experiência do técnico em dosagem tem sido levada em consideração na definição dos traços mais bombeáveis, por exemplo. Por vezes, o teste do flow-table apresenta resultados adequados para dosagem de um concreto comum e/ou de alto-desempenho. Mas, no caso do CAA, é um pouco mais complicado devido à existência de um número maior de características exigidas em estado fresco, quais sejam: a) capacidade de preencher todos os espaços no interior da fôrma (*filling ability*); b) capacidade de passar através de pequenas aberturas como espaçamentos entre barras de aço (*passing ability*); e c) capacidade de permanecer uniforme e coeso durante o processo de transporte e lançamento (*segregation resistance*). Outra possibilidade é a realização de ensaios prévios com reômetros, que são equipamentos que permitem determinar de forma quantitativa os parâmetros reológicos que governam o comportamento do concreto fresco. Todavia, reômetros ainda são de elevado custo e de difícil aplicabilidade em canteiro.

Por todos esses motivos têm sido desenvolvidos diversos ensaios simples para avaliar de forma qualitativa os parâmetros reológicos, podendo contribuir, assim, para uma maior assimilação dessa nova tecnologia, que são empregados para qualificar o CAA na sua dosagem, controle de qualidade e recebimento em obra. Em uma segunda etapa, é fundamental qualificar o comportamento do concreto em simulação idêntica à sua aplicação.

2 Conceituação do concreto auto-adensável sob a ótica da reologia

2.1 CLASSIFICAÇÃO REOLÓGICA DO CONCRETO FRESCO

Na literatura, devido a uma vasta evidência das propriedades ao escoamento do concreto no estado fresco, conclui-se que o

comportamento desse material pode ser representado com suficiente aproximação pelo modelo de Bingham (CASTRO, 2007; FAVA & FORNASIER, 2004; FERRARIS, 1999 apud CASTRO, 2007; TATTERSAL, 1991 apud CASTRO, 2007) (Equação 1). De acordo com esse modelo, o fluido se comporta como um sólido ideal (quer dizer não flui) até que a tensão tangencial aplicada (σ) supera a tensão de escoamento (σ_0). Nesse momento, a mistura começa a comportar-se como um fluido que apresenta uma relação linear entre a tensão aplicada e a velocidade de deformação ($\dot{\gamma}$), tal como acontece com os fluidos Newtonianos.

De modo que, a tensão de escoamento e uma viscosidade (η) mudam com o tempo; à medida que o concreto endurece, a tensão de escoamento e a viscosidade plástica aumentam. Neste caso, o primeiro parâmetro está relacionado com o abatimento (ou espalhamento), de forma que quanto maior a tensão de escoamento, menor a fluidez e vice-versa, enquanto o segundo faz a diferença entre um concreto facilmente trabalhável e outro tendo um comportamento demasiado coeso, difícil de ser bombeado e apresentando vazios na superfície quando a fôrma é retirada (DE LARRARD & SEDAN, 2002 apud CASTRO, 2007).

$$\sigma = \sigma_0 + \eta \cdot \dot{\gamma}$$

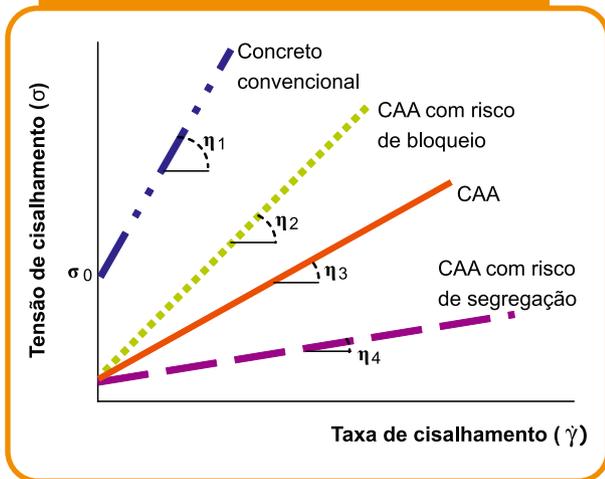
1

2.2 CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS EXIGIDAS PARA O CAA

Fava & Fornasier (2004) expressam um consenso geral ao esclarecerem que as constantes reológicas tensão de escoamento e a viscosidade devem cumprir duas condicionantes fundamentais para que um CAA tenha uma adequada autocompactabilidade:

- a) um valor muito pequeno ou nulo de σ_0 , de forma que o concreto se comporte aproximadamente como um fluido Newtoniano. Tal condição implica que o CAA deverá ter uma elevada fluidez.
- b) um valor moderado para η , de forma a promover uma adequada resistência à segregação. Esse ponto é fundamental, já que uma viscosidade muito baixa pode prejudicar a estabilidade da mistura, enquanto uma elevada viscosidade pode levar a bloqueios dos agregados em contato com as armaduras e deficiência no acabamento superficial do concreto.

Figura 1 – Curvas de fluxos comparativas do CC e CAA



A Fig. 1 apresenta de forma esquemática curvas de fluxo para um concreto comum e para distintos concretos auto-adensáveis, demarcando as zonas de risco de segregação e bloqueio.

3. Ensaios e classificação da consistência

As características requeridas para o CAA no estado fresco dependem da aplicação e, especialmente, das condições de confinamento relativas à geometria dos elementos de concreto, da quantidade e tipo de armadura, da presença de *inserts*, dos equipamentos disponíveis para moldagem (tipo bomba ou caçamba, normalmente utilizado em pré-fabricados), dos métodos de moldagem e também da importância do acabamento.

Pensando nisso, apresenta-se uma classificação da consistência para o CAA segundo o nível de espalhamento, viscosidade, habilidade passante e resistência à segregação, de acordo com os critérios estabelecidos por um conjunto de importantes entidades europeias – *European Project Group EPG (2005)*.

Detalhes sobre as dimensões dos equipamentos são amplamente discutidos pela bibliografia especializada e por isso não serão objetos deste artigo.

3.1 ESPALHAMENTO (SF SLUMP-FLOW)

Normalizado pela *ASTM C 1611/C 1611M*, esse é o teste mais simples de ser realizado, como uma espécie de adaptação do ensaio de abatimento. Ele é composto pelo mesmo

molde, tronco-cônico de Abrams, posicionado sobre o centro de uma base plana; enche-se o cone sem compactação, elevando-se o mesmo; então, o concreto flui livremente e determina-se a média de dois diâmetros perpendiculares do círculo formado.

O espalhamento está diretamente associado à capacidade de deformação do concreto; na prática, isso significa a distância que o CAA pode fluir desde o ponto de descarga (de onde foi lançado). O *Slump-flow* possibilita também uma avaliação visual se está havendo segregação ou não. Para isso, basta verificar se o agregado graúdo está homoganeamente distribuído na mistura e acompanha a movimentação de argamassa até a extremidade do círculo formado pelo concreto auto-adensável (Fig. 2).

Esse ensaio será normalmente especificado para todos os concretos auto-adensáveis. É classificado segundo três níveis principais (EPG, 2005):

- 1) **SF1, 550-650mm:** comum em peças ligeiramente armadas, lançadas sobre topo livre (sem restrições) e com pequena extensão, pois possibilitam curtos espalhamentos horizontais, é o caso de lajes pequenas, fundações, entre outras;
- 2) **SF2, 660-750mm:** adequado para a grande maioria das aplicações, como pilares, vigas, etc;
- 3) **SF3, 760-850mm:** é tipicamente produzido com agregado de pequena dimensão característica (menor que 16mm), em aplicações com uma taxa de armadura elevadíssima e com formas muito complexas.

Normalmente, adota-se, na indústria de pré-fabricados, o nível de fluidez SF2, que é adequado para a grande maioria dos casos onde o CAA é aplicado. O nível SF1 tem restritas aplicações e normalmente não viabiliza operacionalmente um controle de qualidade adicional, embora resulte mais econômico. Já o nível SF3, por apresentar elevado espalhamento e utilizar um agregado graúdo de menor dimensão característica, que resulta em uma maior superfície específica, acaba por ocasionar um alto volume de argamassa e, conseqüentemente, custos mais elevados. Contudo, deve-se esclarecer que, embora o nível SF3 não tenha um uso na mesma escala que o SF2, ele é altamente recomendável em peças densamente armadas, onde a dimensão do agregado deve ser inferior a 19mm, impedindo o uso de brita 1; ou ainda no caso de pré-lajes (com 4cm de espessura), para evitar o bloqueio (travamento)

dos agregados na moldagem (BELOHUBY & ALENCAR, 2007).

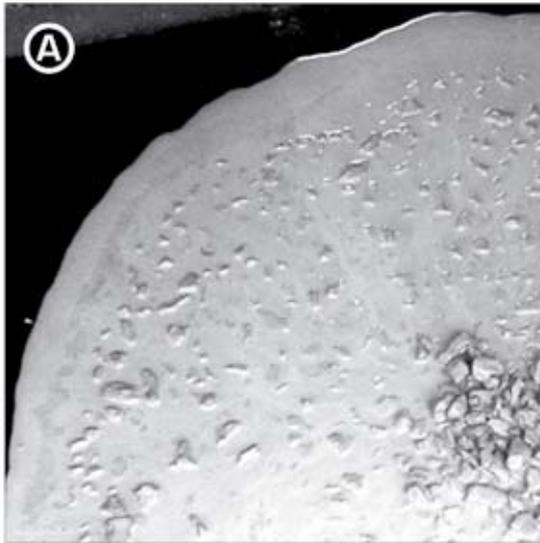
O nível SF2 também é o mais adequado em obra. Muito embora, para lajes pequenas, como é o caso da Fig. 3, o espalhamento SF1 seja suficiente, já que o mangote aproximado do ponto de aplicação possibilita um curto espalhamento do CAA. Porém, na maioria das vezes, a laje é concretada com as vigas e os pilares simultaneamente. Então, o concreto

despejado primeiramente sob a laje tem que ser capaz de correr pelas vigas até cair nos pilares, devendo, nesses casos, apresentar um nível de fluidez pouco maior, ou seja, o SF2.

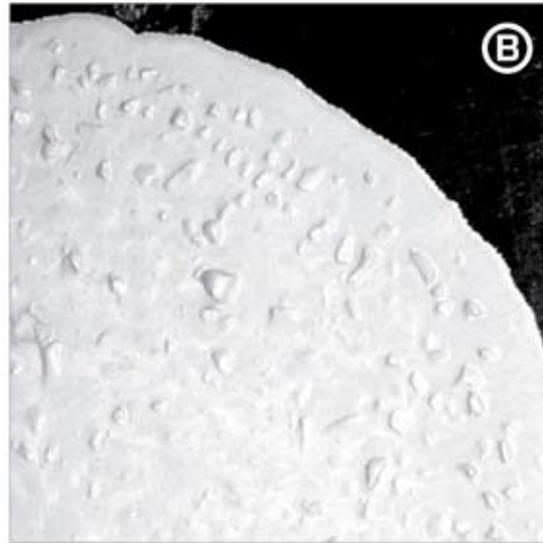
3.2 VISCOSIDADE (VS VISCOSITY SLUMP & VF VISCOSITY FUNNEL)

Uma variante do ensaio de espalhamento, normalmente realizada, simultaneamente,

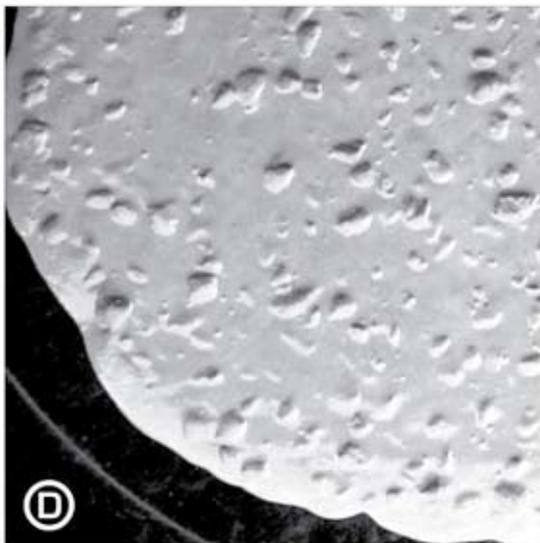
Figura 2 – Análise do aspecto visual do espalhamento



A – Alto nível de segregação, com concentração de agregados graúdos no centro do círculo formado pelo espalhamento do concreto e presença apenas de argamassa na extremidade.



B – Moderado nível de segregação, pode-se observar que a brita não conseguiu acompanhar a argamassa até a extremidade do espalhamento.



D – Concreto com adequado nível fluidez e coesão.



C – Leve exsudação de água, observada na beirada do concreto

Figura 3 – CAA aplicado em lajes de pequena extensão, vigas e pilares do pavimento



consiste na medição de tempo que o concreto atinge uma marca de 500mm de diâmetro centrado nessa mesma base de ensaio. O *Slump flow T500* apresenta uma medida qualitativa da viscosidade plástica do concreto fresco. De forma que, concretos com baixa viscosidade terão um espalhamento muito rápido e então param. Enquanto que concretos com alta viscosidade

Figura 4 – Ensaio do V-Funnel



podem continuar movendo-se furtivamente por um tempo maior.

Em fase de normalização através da prEN 12350-9 (2007), o *V-funnel* foi desenvolvido por Okamura & Ozawa (1995) e tem sido proposto para testar a viscosidade aparente do concreto, em fluxo confinado, a partir do registro do tempo em que o concreto leva para escoar nesse aparelho (Fig. 4). Porém, ao preencher o funil novamente, aguardando-se 5 minutos, tem-se informações importantes quanto à resistência à segregação, pois se o tempo de escoamento aumentar significativamente é sinal de que houve um acúmulo dos agregados na base do funil.

Segundo o EPG (2005), a viscosidade é especificada onde existe a exigência de boa superfície de acabamento ou em estruturas densamente armadas. Sendo classificada em:

1) **VS1 / VF1, Slump T500 ≤ 2s e**

V-funnel ≤ 8s: tem grande capacidade de escoamento e de encher todos os espaços dentro da fôrma com o seu peso próprio, ainda com armadura congestionada. É capaz de autonivelar-se e, geralmente, apresenta uma superfície bem acabada. Entretanto, é mais difícil o seu controle da exsudação e segregação;

2) **VS2 / VF2, Slump T500 > 2s e V-funnel**

entre 9 – 25s: devido ao aumento do tempo de escoamento é mais provável exibir efeito tixotrópico. Pode ser útil em fôrmas que suportam limitada pressão hidrostática. Contudo, efeitos negativos podem ser experimentados quanto à superfície de acabamento.

Por isso, em pré-fabricados a viscosidade deve ser de baixa a moderada, ou seja, VS1/VF1, pois quanto mais baixa for a viscosidade mais fácil se dá o escape do ar das fôrmas, que normalmente é incorporado na moldagem, permitindo, assim, um nível superior de acabamento, característico desse tipo de produção, onde a maioria das peças é aparente ou arquitetônica. Dessa forma, é possível a minimizar a necessidade de re-trabalho com reparos (estucagem).

3.3 HABILIDADE PASSANTE (PA PASSING ABILITY)

Em fase de normalização através da prEN 12350-10 (2007), o *L-box*, diferentemente da maioria dos ensaios desenvolvidos no Japão, teve sua origem na Suécia (FAVA & FORNASIER, 2004). Objetivando medir a habilidade do concreto fresco em escoar através de espaços confinados e estreitas aberturas, como áreas

Figura 5 – Realização do ensaio do L-box



congestionadas de armaduras, sem segregar, perder uniformidade ou causar bloqueio, verifica-se a relação entre as alturas H2 e H1 (situadas na extremidade posterior e anterior às armaduras, respectivamente), depois de realizada a intercomunicação do CAA entre as partes do equipamento. O resultado deve estar entre 0,8

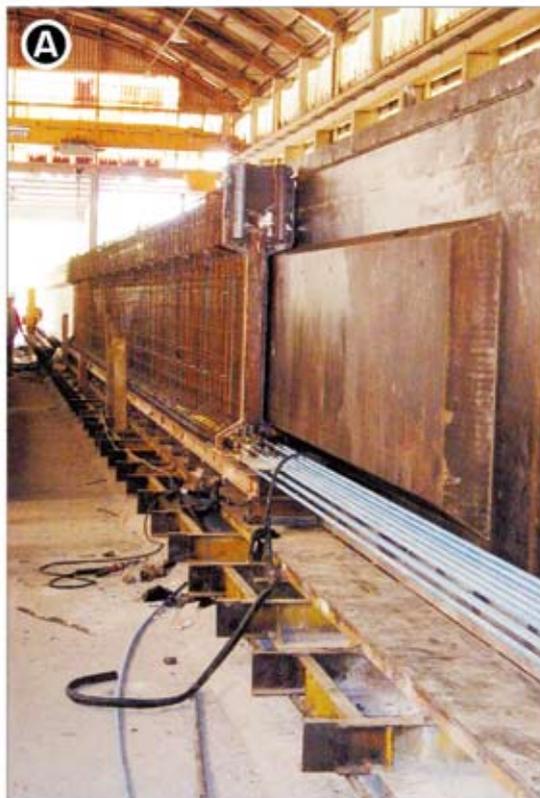
e 1. Algumas vezes, é considerado o tempo que o concreto escoa a distância de 20cm e 40cm da face de contenção, mas essa última análise não resulta muito operacional, pois necessitaria de duas marcações de tempo em dois cronômetros no momento em que o CAA atinge as referidas marcas, em um intervalo muito curto uma da outra, ou uma leitura através de sensor a laser, sobretudo para concretos de baixa a moderada viscosidade.

Segundo o EPG (2005), a classificação da habilidade passante é definida com base no menor vão (espaço confinado) através do qual o CAA tem que escoar e preencher, conforme é apresentado a seguir:

- 1) **PA 1, L-box $\geq 0,80$ com 2 armaduras:** para estruturas com menor vão entre 8 e 10cm, por exemplo, casas (de estrutura mais simples) e estruturas verticais, como pilares (pois a gravidade ajuda);
- 2) **PA 2, L-box $\geq 0,80$ com 3 armaduras:** para estruturas com menor vão entre 6 e 8cm (estruturas mais complexas).

Pode-se dizer que o L-box simula condições práticas semelhantes as quais o

Figura 6 – Viga protendida perfil tipo I



A – Fôrma



B – CAA endurecido

Figura 7 - Execução do ensaio do J-ring



concreto estará submetido na concretagem das vigas protendidas de perfil I (Fig. 6). Nesse elemento, o fluxo de escoamento do concreto é ligeiramente restrito na região central da alma da peça (delgada), logo após o lançamento por meio de caçambas; assim como acontece no primeiro compartimento do ensaio do *L-box*, o concreto espalha-se horizontalmente, pelo fundo da fôrma, que é um espaço confinado e altamente armado, semelhante ao segundo compartimento da caixa em forma de L. Por isso, em indústria de pré-fabricados, a habilidade passante deve ser especificada como PA2, de modo a garantir uma perfeita execução desse tipo de elemento, muito comum, porém de moldagem complexa.

Para Alencar (2008), o *L-box* mostrou-se, em estudo experimental realizado, ser o mais exigente equipamento para a qualificação do concreto auto-adensável. Normalmente, se o CAA é capaz de passar por esse ensaio, ele conseqüentemente irá atingir bons resulta-

dos nos demais testes de habilidade passante, tipo *J-ring* e *U-box*. Adicionalmente, o ensaio do *L-box* assim como os ensaios em caixa, de uma forma geral, incluindo o *U-box* e *V-funnel*, permitem uma apreciação visual da capacidade de preenchimento dos espaços e auto-nivelamento do concreto auto-adensável.

Apesar do EPG (2005) só considerar o ensaio do *L-box* para classificação de habilidade

do concreto passar por armaduras, o ensaio do *J-ring*, em particular, devido à facilidade de execução, é adequado para controle em obra e possibilita uma grande correlação com a moldagem de lajes de pequena extensão pouco armadas, onde o CAA irá espalhar-se por superfícies não confinadas por fôrmas e apresentando apenas o impedimento (obstáculo) de armaduras. Este tipo de aplicação é um dos focos para o CAA usinado, pois painéis horizontais geram muita mão de obra de acabamento quando concretado com concreto convencional (comparado com pilares e vigas).

O ensaio do *J-ring* é normalizado pela ASTM C 1621/C

Figura 8 - Execução do ensaio do U-box



1621M, consiste em posicionar o tronco-cônico de forma invertida sobre o centro de uma base; enche-se o cone sem compactação, eleva-se o mesmo e mede-se a média de dois diâmetros perpendiculares formados pelo espalhamento, após passar por entre 16 barras de aço, observado na Fig. 7. A diferença entre as médias dos diâmetros formados pelo concreto nos ensaios do *Slump-flow* e do *J-ring* é um indicador de habilidade passante. Quando a diferença obtida resultar menor que 25mm significa que o concreto apresenta boa PA; caso a diferença seja maior que 50mm a habilidade passante é deficiente.

O *U-box* (Fig. 8) foi desenvolvido pelo *Technology Research Center of the Taisei Corporation*, no Japão (HAYAKAWA et al., 1993). Nesse teste, o concreto é armazenado sem compactação em uma das ramas, separado do segundo compartimento, onde ele escoa e ascende, entre duas (2) ou três (3) barras de aço. Logo após, determina-se o valor de $R1 - R2$, referentes à altura alcançada antes e depois da passagem pelas armaduras, sendo que, quanto mais fluida for a mistura, mais próximo de zero será o resultado. Os valores admitidos divergem um pouco de autor para autor, porém os mais exigentes admitem diferenças de até 30mm.

Esse ensaio pode ser usado para qualificar o concreto auto-adensável para a aplicação em vigas calhas (Fig. 9). Nesse elemento, o concreto é primeiramente lançado, por meio de caçambas, espalha-se horizontalmente pelo fundo da fôrma, preenche todos os espaços do fundo, até atinge o nível do miolo negativo (*block out*), de conformação da calha. A partir desse ponto, a concretagem assemelha-se ao ensaio do *U-box*, pois o concreto, que é lançado a partir de uma das abas da fôrma, para evitar o aprisionamento de ar, é primeiramente confinado neste espaço restritivo, a exemplo do que acontece no primeiro compartimento do ensaio do U, então, deve ser capaz de autonivelar-se, com o seu peso próprio, até o topo da aba paralela. A concretagem de vigas calha utilizando o CAA possui a vantagem adicional de possibilitar a colocação do miolo desde o início da concretagem, agilizando, assim, a execução desse elemento estrutural (ALENCAR, 2008).

3.4 RESISTÊNCIA À SEGREGAÇÃO (SR SEGREGATION RESISTANCE)

Para Alencar (2008), o ensaio de *Column*, normalizado pela ASTM C 1610/C 1610M, de-

Figura 9 – Viga-calha I



A – Posicionamento do miolo negativo e armadura.



B – Lançamento do CAA.

monstrou ser muito simples e rápido como critério de quantificação do nível de segregação. Isso porque é possível, após 20 ou 30 minutos, iniciar a coleta das amostras de concreto do topo e base, tempo suficiente para o assentamento do agregado graúdo. As amostras são então lavadas em uma peneira (peneira de 5mm), ficando apenas o agregado graúdo retido (Fig. 10). Feito isso, é possível calcular a porcentagem de segregação usando a Equação 2:

$$2 * [(CA_B - CA_T) / (CA_B + CA_T)] * 100$$

2

Onde: CA_B – é a massa do agregado graúdo da base; CA_T – é a massa do agregado graúdo do topo. Caso CA_B seja maior que CA_T a segregação é nula.

Dackzo (2002) *apud* Fava & Fornasier (2004) consideram que o concreto não pode apresentar manifestações de segregação, tais como: exsudação de água, segregação da pasta e agregados e segregação de agregados graúdos devido ao bloqueio, que pode ser de dois tipos:

a) **Dinâmica:** aquela que se produz durante o lançamento, quando o CAA deve fluir

Figura 10 – Ensaio do Column Technique



dentro da fôrma. É facilmente detectada nos ensaios de estado fresco e deve ser corrigida durante a etapa de dosagem;

b) **Estática:** está associada aos fenômenos de sedimentação que se produz quando o concreto se encontra em repouso dentro das fôrmas. É factível que alguns traços que apresentem um adequado comportamento frente à segregação dinâmica apresentem bons comportamentos também quanto à segregação estática.

A especificação da resistência à segregação torna-se importantíssima, principalmente para o concreto auto-adensável de grande fluidez e baixa viscosidade e que, portanto, apresenta maior risco de segregação ou em condições de aplicação de promovam a segregação. Sendo classificada, de acordo com os procedimentos do EPG (2005), em:

- 1) **SR1, ≤ 20 (%):** aplicado para lajes delgadas e solicitações com distância de espalhamento menor que 5m e vão confinado maior que 8cm;
- 2) **SR2, ≤ 15 (%):** especificado no caso da qualidade da superfície ser particularmente crítica; ou para aplicações com distância de espalhamento maior que 5m e com espaço confinado maior que 8cm; ou para grande altura de lançamento com espaço confinado menor que 8cm, se a distância de espalhamento é menor que 5m; mas se o espalhamento é maior que 5m, o valor de SR deve ser menor que 10%;

Um exemplo onde é necessário a SR2 é na aplicação em lajes de grande extensão (Fig. 11), pois o CAA deve ser capaz de transpor uma distância maior, passando por armaduras, que tendem a causar bloqueio das britas (ou seja, a brita tende a ficar no meio do caminho).

No caso da indústria de pré-fabricados, o nível de segregação aplicado também deve ser dos menores, especificados ≤10%, para resistir, sobretudo, às solicitações (trepidação) de transporte em ponte rolante e caminhão, para fazer a comunicação entre linhas de produção, e devido à grande energia com que o CAA é lançado na saída do misturador (BELOHUBY & ALENCAR, 2007).

4. Controle de qualidade e aceitação

Segundo o EPG (2005), é recomendado que todo lote de CAA, em geral, seja testado pelo *Slump-flow* até a confirmação

Figura 11 – Utilização do CAA em laje de grande extensão, vigas e pilares do pavimento, onde foram necessários 55 caminhões em um único dia, aproximadamente 10h de concretagem, totalizando 385m³.



A – Aplicação do CAA.



B – CAA acabado.

das características requeridas. Este teste também deve fazer parte do controle de qualidade da produção. Já, os ensaios de *T500*, *V-funnel*, *L-box* e resistência à segregação são empreendidos neste controle, caso seja especificado. De forma que, a conformidade com as características do CAA é confirmada se estes critérios específicos satisfazem os limites dados pela Tab. 1.

4.1 INDÚSTRIA DE PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO

O concreto auto-adensável é mais sensível às variações das características dos seus materiais constituintes e às condições ambientais. Para a indústria de pré-fabricados esse controle não é considerado difícil, desde que os processos em planta

sejam bem estruturados (o que nem sempre acontece). Nesse tipo de produção é comum haver devolução, por exemplo, de agregados, quando o material está não conforme. Também, é mais fácil ter um controle da umidade em indústria com sensores específicos para agregados ou até mesmo instalados no próprio misturador, que fazem a leitura da umidade da mistura e pode ser associada com uma determinada característica de auto-adensabilidade requerida. Algumas plantas possuem até espaço coberto para armazenamento da areia.

Além disso, a resistência à compressão característica é, na maior parte das vezes, entre 40-50MPa. Em casos especiais, podem ser utilizados, concretos de 60MPa ou mais, dada à necessidade de saque das peças em tenras idades, possibilitando uma maior

Tabela 1 – Critérios de conformidade para as propriedades do CAA (EPG, 2005)

Propriedades	Critérios
<i>Slump-flow</i> , classe SF1	≥ 520mm, ≤ 700mm
<i>Slump-flow</i> , classe SF2	≥ 640mm, ≤ 800mm
<i>Slump-flow</i> , classe SF3	≥ 740mm, ≤ 900mm
<i>V-funnel</i> , classe VF1	≤ 10s
<i>V-funnel</i> , classe VF2	≥ 7s, ≤ 27s
<i>L-box</i> , classe PA1	≥ 0,75
<i>L-box</i> , classe PA2	≥ 0,75
Resistência à segregação, classe SR1	≤ 23
Resistência à segregação, classe SR2	≤ 18

rotatividade das fôrmas metálicas. Inclusive, o maior nível de controle de qualidade, possível de se obter em instalações fixas de indústria, que aliado o uso de concretos de alto desempenho, são fatores que favorecem o uso do concreto auto-adensável no setor de pré-fabricados, pois é mais fácil produzir um CAA trabalhável (sobretudo com as características de coesão necessárias) com resistências mais altas, devido à maior quantidade de finos.

Por todos esses motivos, acredita-se que o ensaio do espalhamento seja o suficiente para a confirmação das características do concreto auto-adensável no estado fresco (anterior a aplicação) e para o controle de qualidade em fábrica.

Contudo, apesar das facilidades supramencionadas, a implantação do CAA não se dá por uma simples substituição em relação ao concreto convencional, pois envolve a necessidade de uma certa reestruturação na fábrica, devendo então haver: investimentos em sensores de umidade automáticos para central de concreto; reforma de fôrmas e caçambas, para garantir maior estanqueidade; colocação de um silo extra para adição mineral, que normalmente viabiliza o uso do CAA; além, é claro, da qualificação de seus funcionários.

4.2 APLICAÇÕES EM OBRA: CONCRETO USINADO

De acordo com Walraven (2008), existem umas séries de razões que justificam a aplicação mais lenta do concreto auto-adensável em obra. Por exemplo, em caso de erros na concretagem, as conseqüências são mais severas que na indústria de pré-fabricados. Neste último, os elementos inadequados podem ser rejeitados, enquanto que *in situ* a demolição deve ser a última alternativa. Conforme mencionado, é mais fácil produzir um CAA de alta resistência do que de resistências mais baixas. Percebe-se que, em grande parte das aplicações, a resistência do CAA é maior do que o necessário em obra, o que acaba por gerar um impacto no custo, pois, para a maioria dos casos, o concreto C25 é suficiente.

Adicionalmente, o controle do recebimento dos agregados, às vezes, não é muito grande, pois, conforme apontado, as exigências de resistência não são altas e, na grande parte dos casos, o fornecimento é próprio, o que acaba por dificultar, um pouco, o incremento de outros materiais que,

eventualmente, poderiam ser mais adequados (como um determinado tipo de areia ou adição). Também, o controle de umidade dos agregados possível de se obter para um volume de grande porte não é alto. Outro fator que merece ser destacado é que, no caminhão betoneira, não se tem uma mistura tão eficiente quanto em centrais misturadoras. O CAA, por ser mais argamassado e possuir um conteúdo maior de finos e de aditivo, necessita de uma homogeneização melhor. Em alguns países pouco mais desenvolvidos, o concreto é misturado na usina e só precisa ser transportado para o canteiro. Outro problema, pouco mais difícil de ser controlado, em cidades com São Paulo, é o trânsito!

Porém, o controle da umidade dos agregados em concreteiras pode ser muito melhorado com a incorporação de sensores na caixa de agregado. Já, para obter uma mistura melhor, pode-se lançar mão de betoneiras com facas mais novas, pois com o tempo há um desgaste natural. Além disso, deve-se prever um período de homogeneização em obra pouco maior, cerca de 5-6min.

Normalmente, o concreto chega na obra com um slump inicial, em torno de 5 ou 6cm, para facilitar o transporte, com uso de um aditivo polifuncional (que possui um agente estabilizador de hidratação), quando então é lançado o aditivo superplastificante (base policarboxilato). O problema é que, na falta de um controle eficaz da umidade da areia, recebimento dos agregados, ou na existência de água no Balão (água de lastro), pode acontecer do concreto chegar com mais água do que o necessário (caso seja colocada toda a água teórica do traço) e, conseqüentemente, um abatimento maior; neste caso, se for acrescido a quantidade de superplastificante prevista em dosagem, certamente resultará em segregação da mistura. Caso fosse diminuída a porcentagem do policarboxilato (para não perder o concreto), haveria uma conseqüente redução do nível de auto-adensabilidade, o que não é desejável e pode levar à necessidade de vibração do concreto. Por isso, é melhor devolver a caminhão. Assim, normalmente se prevê uma redução da água em central, deixando uma reserva para ser adicionada *in situ*, o que acaba por gerar um descontrole em relação ao total de água efetivamente existente no traço e pode levar a aumentar inclusive a água prevista. E para evitar essa situação, deve ser adotado um controle mais rígido, realizando o ensaio do slump desde a usina e não apenas uma análise visual do

concreto pelos motoristas, pois o *slump* será atingido quando a quantidade de água necessária ao traço estiver presente (salvo erros na pesagem dos materiais). Pode ser feita uma previsão da perda de abatimento no transporte (em estudo de dosagem), a fim de que não haja a necessidade de acréscimo de água em canteiro. O concreto sairia da usina com um *slump* 8, por exemplo, objetivando chegar a obra com um *slump* 5, dependendo da distância e características dos materiais envolvidos. Caso o *slump* atingido *in situ* seja menor, o mesmo deve ser corrigido com aditivo e não com água. Assim, haveria um controle maior da água do concreto, que causa tantos prejuízos no estado fresco como no endurecido (resistência, módulo, retração, etc).

Por todos os motivos apresentados, considera-se que o concreto usinado deve ter um controle de recebimento pouco maior a fim de evitar a variabilidade entre os lotes. Isso inclusive servirá como critério de seleção do melhor fornecedor. Alguns pesquisadores como Walraven (2008) recomendam os testes do *Slump-flow* e o *V-Funnel* para qualificação do CAA em obra, pois são ensaios alternativos de mensuração da tensão crítica e a viscosidade plástica. Além disso, são fáceis de serem manuseados. Outros importantes catedráticos, a exemplo de Gettu et al (2008), recomendam o *Slump-flow* e o *J-ring*, especialmente quando o tempo de teste e a quantidade de esforço humano são limitados, e também por serem testes mais sensíveis na avaliação da robustez do CAA. No *J-ring* é possível detectar reduzido conteúdo de finos ou excesso de água ou superplastificante pela acumulação do agregado graúdo na armadura e consequente segregação da mistura.

5. Considerações finais

Foi verificado que não é possível estabelecer um único tipo de concreto auto-adensável para todas as aplicações. Ou seja, o nível de auto-adensabilidade requerido vai depender das características dos elementos a serem moldados.

Em pré-fabricados, recomenda-se, para controle de qualidade, a realização do ensaio do *Slump-flow*, pois o fornecimento é próprio e o controle possível de se obter é grande. Salvo situações especí-

ficas onde o controle está sendo falho e resulta freqüentemente exsudação de água e segregação do CAA, com conseqüente aparecimento de problemas patológicos. Nestes casos, devem-se empreender outros testes para confirmação das características trabalhabilidade necessárias, anteriores a aplicação, tipo *J-ring*, *U-box*, *L-box* e/ou *T-500*, *V-funnel*, etc; selecionados com base nos elementos a ser concretados, mediante o que foi exposto, onde pode ser mais perceptível o aparecimento do problema.

Apesar do ensaio do *Slump-flow* oferecer, além da análise da fluidez do CAA, também uma avaliação visual se está havendo segregação ou não, sendo muito fácil a sua execução em obra, é consenso no meio técnico que apenas o mesmo não é suficiente para qualificação do CAA para o recebimento. Em particular, esses autores são mais adeptos à utilização desse ensaio em paralelo com o teste do *J-ring*, pois de forma simultânea ao ensaio do espalhamento, pode ser realizado o ensaio do *Flow T500*, sem muita dificuldade; assim, será possível obter informações de tensão crítica e viscosidade, juntamente com o conhecimento da habilidade passante, proporcionado pelo ensaio do anel japonês, que qualifica muito bem o concreto auto-adensável para a aplicação em lajes, uma das grandes demandas no mercado brasileiro.

Acredita-se que ensaios como o *L-box* e *U-box* não seriam muito operacionais *in situ*, por serem mais demorados e de manuseio pouco mais complicado, apesar de serem muito importe na dosagem, dependendo da aplicação. Salvo em casos de alta taxa de armadura e/ou espaços muito restritivo para a passagem do CAA, poderia ser recomendado o teste do *V-funnel*, que oferece importante informação quanto à viscosidade em fluxo confinado. Isso porque não se admite intervalos muito grandes entre betonadas, já que o próprio concreto que está na tubulação perde as características iniciais quando parado por um determinado período e, neste caso, o mesmo não será vibrado. Ou seja, é necessário um fluxo mais eficiente.

Contudo, umas séries de barreiras culturais devem ser removidas, pois atualmente existem melhores perspicácias com relação às propriedades do CAA. Além disso, existem testes específicos de avaliação. Finalmente, uma nova geração de superplastificantes deve ser introduzida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ALENCAR, Ricardo dos Santos Arnaldo de. Dosagem do concreto auto-adensável: produção de pré-fabricados. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 176p., 2008.
- [02] BELOHUBY, M.; ALENCAR, R.S.A. Tecnologia do concreto pré-fabricado: Inovações e aplicação. In: MANUAL MUNTE de projetos em pré-fabricados de concreto. 2. ed., p. 511-531, 2007;
- [03] CASTRO, A. L. Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho. Tese de doutorado – Universidade de São Paulo. Departamento de Ciência e Engenharia dos Materiais, São Carlos, 303p., 2007;
- [04] EPG – European Project Group (BIBM; CEMBUREAU; ERMCO; EFCA; EFNARC). “The European guidelines for self compacting concrete”. 63p., 2005;
- [05] FAVA, C.; FORNASIER, G. Homígones autocompactantes. In: Homígones especiales. Ed. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Santa Fe,, p. 57-96, 2004;
- [06] GETTU, R.; NAWAZ SHAREEF, S.; ERNEST, K.J.D. Evaluation of the robustness of self compacting concrete. In: 1er Congreso Español sobre Hormigón Autocompactante. Valencia, p. 59-66, 2008;
- [07] HAYAKAWA, M.; MATSUAKA, Y.; SHINDOH, T. Desenvolvimento & Application of super workable concrete. In: RILEM International workshop on special concretes: Workability and mixing, p. 183-190, 1993;
- [08] HOPPE FILHO, J.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. Técnicas de caracterização reológica de concretos. In: Revista Concreto & Construções. Ed. IBRACON. n. 47. São Paulo, p. 108-124, 2007;
- [09] OKAMURA, H.; OZAWA, K. Mix-design for self-compacting concrete. Concrete library of JSCE, v. 25, p.107-120, 1995;
- [10] WALRAVEN, J. Self compacting concrete: Challenge for designer and researcher. In: 1er Congreso Español sobre Hormigón Autocompactante. Valencia, p. 15-29, 2008.◆

Soluções inovadoras para a construção

Sika® ViscoCrete®

Linha de aditivos hiperplastificantes de última geração para concretos

Sika® ViscoCrete® é um aditivo hiperplastificante de última geração, desenvolvido especialmente para a produção de concretos auto-adensável. Sinônimo de obra executada com maior rapidez e redução real de custos de lançamento, adensamento e acabamento do concreto.

Os polímeros da linha Sika® ViscoCrete® são desenhados e fabricados pela Sika exclusivamente para uso em concretos, através de 6 plantas para atender a demanda mundial.

Sika® ViscoCrete®

- Concretos de alto desempenho/ auto-adensável
- Excelente fluidez
- Redução de fissuras e retrações
- Baixa taxa de carbonatação
- Redução da permeabilidade
- Alta densidade e resistências finais e iniciais
- Liberação da obra em menor tempo
Desforma rápida de elementos de concreto pré-fabricados

The Sika logo consists of the word "Sika" in a bold, yellow, sans-serif font, set against a red triangular background. A registered trademark symbol (®) is located to the right of the word.

Sika BU CONCRETE - Tel.: 11 3687-4630 - Fax: 11 3601-7158



Método para avaliação do engastamento de ligações nas extremidades de uma viga protendida

B. Catoia
T. Catoia

Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (USP)

M. A. Ferreira
R. C. Carvalho

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Abstract

This paper presents a new method to assess the partially restrained moment at the beam-column connections from tests with prestressed beams. Thus, flexural tests on prestressed beams were carried out, wherein two different conditions of hinged supports and semi-rigid connections were compared with. During the tests the moment-curvature relationship was measured at the centre and at the ends of the prestressed beam as well as the relative beam-column rotations at the supports. By comparing the experimental results from both models with the results obtained from analytical equations based on the fixity factor of a beam with semi-rigid connections it has been possible to determine the partially restrained moment at the beam-column connections at the beam ends.

Keywords: semi-rigid connections, prestressed beams, deformation, stiffness, strength.

Resumo

O presente trabalho apresenta um novo método que permite avaliar o coeficiente de engastamento parcial de ligações viga-pilar através de ensaios em vigas protendidas. Assim, foram realizados ensaios de flexão em elemen-

tos de viga protendida, sendo um modelo com apoios articulados e um segundo modelo com ligações semi-rígidas. Nestes ensaios, foram medidas as flechas e curvaturas no trecho central das vigas, bem como as rotações relativas viga-pilar nos apoios. A partir da comparação dos resultados experimentais obtidos para os dois modelos, com a aplicação de equacionamentos teóricos baseados no fator de restrição para uma viga com ligações semi-rígidas, foi possível avaliar o engastamento parcial para os momentos negativos mobilizados pelas ligações viga-pilar.

Palavras-chave: ligação semi-rígida, viga protendida, deformação, rigidez, resistência

1. Introdução

Na análise estrutural, em geral, as ligações são idealizadas de maneira a permitir ou impedir completamente os deslocamentos relativos entre os elementos pré-moldados. Sabe-se que, na realidade, as ligações entre os elementos pré-moldados possuem certa deformabilidade quando solicitadas, recebendo na literatura técnica a denominação de ligações semi-rígidas. A deformabilidade de uma ligação está relacionada com a perda de sua forma original quando a estrutura é solicitada. Portanto, a semi-rigidez das ligações viga-pilar deve ser considerada na análise da estabilidade para que

se tenha um melhor controle sobre a deslocabilidade da estrutura e melhor estimativa dos esforços de segunda ordem.

O presente trabalho faz parte da pesquisa desenvolvida em CATOIA [1] e tem como objetivo principal analisar o efeito das ligações resistentes à flexão sobre o comportamento de uma viga pré-moldada protendida, através da análise de procedimentos analíticos que caracterizam o comportamento das ligações adjacentes à viga. Para isso, foram realizados dois ensaios experimentais: o primeiro correspondeu ao ensaio de um modelo composto por uma viga pré-moldada protendida bi-apoiada e o segundo correspondeu ao ensaio de um modelo composto pela mesma viga protendida com ligações resistentes à flexão. A ligação estudada corresponde a uma ligação com apoio sobre consolo, com a presença de chumbadores e armaduras de continuidade inseridas em pilares de extremidade (figura 1).

O interesse no estudo desse tipo de ligação, com continuidade da armadura negativa, é justificado pela facilidade de execução, a partir de uma rápida modificação de uma ligação de grande utilização, pelas Indústrias de Estruturas de Concreto Pré-Moldado, no Brasil.

A ligação viga-pilar em estudo relaciona-se a estruturas aporticadas e em esqueleto compostas por concreto pré-moldado. Esses sistemas são apropriados para construções que precisam de alta flexibilidade na arquitetura, devido à possibilidade do uso de grandes vãos e para

alcançar espaços abertos sem a interferência de paredes. Dessa forma, esses sistemas estruturais são muito utilizados no Brasil, principalmente para a construção de edificações comerciais e construções de escritórios grandes.

No Brasil, a primeira pesquisa a empregar uma metodologia experimental que integra parâmetros teóricos de controle, como no caso do fator de restrição aos giros α_R e do procedimento "Beam-line", para prever o efeito das ligações semi-rígidas no comportamento de vigas protendidas, foi desenvolvida em CATOIA [1].

2. Procedimentos analíticos

O termo "ligações semi-rígidas" foi utilizado inicialmente no estudo das estruturas metálicas, na década de 30. Para analisar o comportamento dessas ligações semi-rígidas em estruturas metálicas, foi desenvolvido um método capaz de estimar, de forma aproximada, a resistência da ligação a partir da consideração de sua rigidez. Tal procedimento foi denominado de método "Beam-Line" e permite a obtenção da resistência da ligação compatível com sua rigidez e com o comportamento elástico da viga, de acordo com determinado carregamento.

A reta denominada "Beam-Line", como pode ser observada na figura 2, de acordo com

Figura 1 – Esquema da ligação viga-pilar em estudo. CATOIA [1]

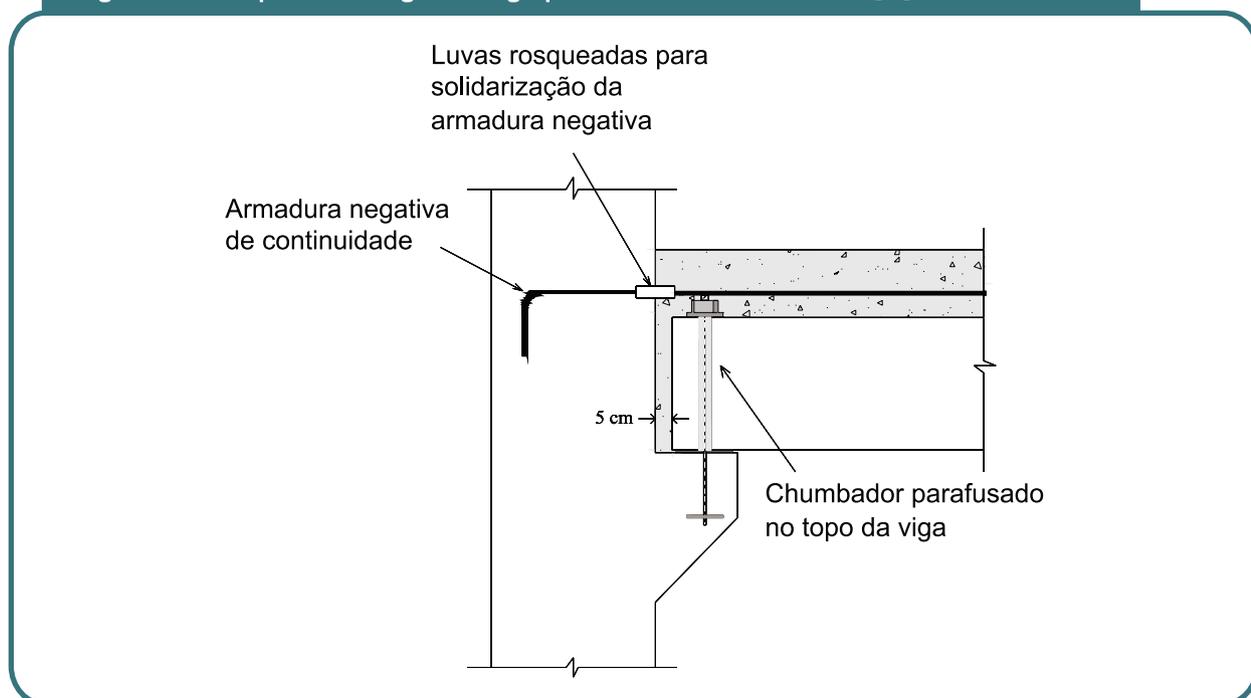
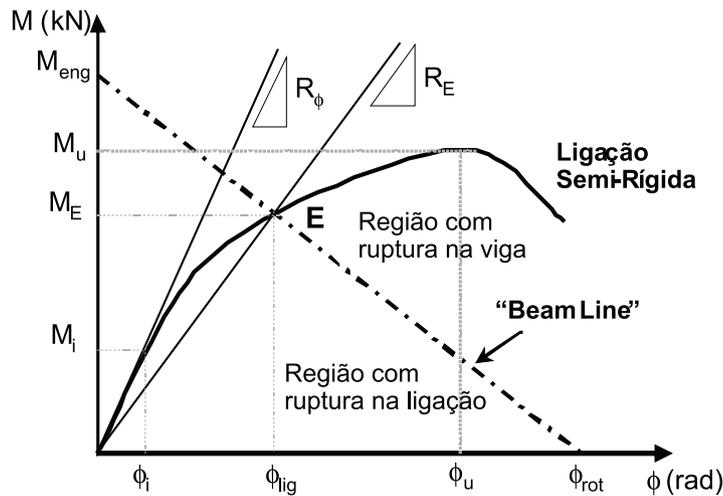


Figura 2 – Determinação da reta “Beam-line”. FERREIRA [2]



- | | |
|--|---|
| M_{eng} : momento de engastamento perfeito | R_E : rigidez efetiva da ligação |
| M_u : momento último | ϕ_i : rotação inicial |
| M_E : momento limite na ligação | ϕ_{lig} : rotação efetiva da ligação |
| M_i : momento inicial | ϕ_u : rotação última |
| R_ϕ : rigidez inicial da ligação | ϕ_{rot} : rotação da rótula |

FERREIRA [2], é obtida através da determinação de dois pontos, que ligam as situações de engastamento perfeito e de articulação perfeita nas extremidades da viga. A situação de engastamento perfeito corresponde àquela em que não há rotação na ligação com a extremidade da viga, qualquer que seja o momento fletor resistido pela ligação. A situação de articulação perfeita corresponde àquela em que a ligação não é capaz de resistir aos momentos fletores ficando suscetível ao giro.

O ponto de encontro da reta “Beam-Line” com a curva momento-rotação da ligação define o ponto “E”, onde existe a compatibilização entre o giro da extremidade da viga com o giro relativo entre a viga e o pilar (figura 2). A ligação deve ser capaz de suportar pelo menos o momento correspondente ao ponto “E”.

Com a determinação da reta “Beam-Line”, é possível identificar o local da ruptura, se a ruptura ocorreu na ligação ou na viga. Se para uma determinada ligação viga-pilar semi-rígida for constatado que a ruptura da ligação ocorreu antes de alcançar o ponto “E”, pode-se dizer que a ruptura ocorreu na ligação e não na viga. Caso contrário, sendo constatado que a ligação rompeu após ter alcançado o ponto “E”, pode-se dizer que a ruptura ocorreu na viga.

Segundo FERREIRA [3], o conceito do fator de restrição pode ser empregado para avaliar o coeficiente de engastamento parcial nas vigas pré-moldadas em concreto armado, desde que, para o seu cálculo, sejam consideradas as rigidezes secantes da viga e das ligações viga-pilar. Segundo FERREIRA [3], a linearização do problema por meio da rigidez secante apresenta uma boa aproximação e uma solução conservadora. Recentemente, este conceito foi incorporado na norma NBR 9062 [4], na qual o fator α_R deve ser obtido de acordo com a equação 1.

$$\alpha_R = \frac{1}{1 + \frac{3 \cdot (EI)_{sec}}{R_{sec} L}} = \frac{\phi_1}{\phi_2}$$

Equação 1

onde:

$(EI)_{sec}$: rigidez secante da viga;

L: vão efetivo entre os apoios, distância entre centros de giros nos apoios;

R_{sec} : rigidez secante da ligação viga-pilar;

De acordo com a NBR 9062 [4], as ligações podem ser classificadas em rígidas, semi-rígidas e articuladas, dependendo do valor correspondente ao fator α_R . Segundo FERREIRA et

al. [5], para estruturas pré-moldadas sob ações laterais, as ligações semi-rígidas com fatores de restrição $\alpha_R \geq 0,4$ são capazes de produzir um efeito enrijecido na estrutura global a qual se aproxima da solução com ligações rígidas.

De acordo com a equação 1, pode-se observar que o comportamento de uma ligação resistente à flexão, ou seja, parcialmente engastada, depende da rigidez da ligação como também da rigidez da viga adjacente. De acordo com essa equação, quanto maior for a rigidez da ligação, maior será a restrição ao giro na mesma. Por outro lado, quanto maior for a rigidez da viga, menor será a restrição ao giro na ligação. Assim, para a caracterização da ligação semi-rígida, é importante se conhecer, além da rigidez da ligação, a rigidez da viga

Com base no fator de restrição à rotação α_R e considerando o caso particular em que as duas ligações nas extremidade de um elemento de barra têm a mesma rigidez, foi desenvolvido um procedimento numérico, em FERREIRA [2], que permite a obtenção da porcentagem de engastamento da ligação através do fator α_R . Essa porcentagem de engastamento parcial corresponde a relação entre o momento presente na extremidade do elemento estrutural (M_{extr}) e o momento de engastamento perfeito (M_{eng}), e de acordo com FERREIRA [2], pode ser determinada a partir da equação 2.

$$\frac{M_{extr}}{M_{eng}} = \frac{3\alpha_R}{2 + \alpha_R}$$

Equação 2

O momento de engastamento perfeito corresponde ao momento mobilizado por uma ligação perfeitamente rígida.

Com a equação 3, de acordo com CATOIA [1], pode-se obter a rigidez equivalente de

uma viga bi-apoiada, a partir do deslocamento vertical no meio do vão (f_{BA}), obtido com a realização de ensaios. A equação 3 é aplicada para uma viga submetida a duas cargas verticais, de acordo com a figura 3a.

$$f_{BA} = \frac{P.a.(3L^2 - 4a^2)}{24.(E.I)_{eq,viga} I} \rightarrow (E.I)_{eq,viga} = \frac{P.a.(3L^2 - 4a^2)}{24.f_{BA}}$$

Equação 3

onde:

f_{BA} : flecha no meio do vão da viga simplesmente apoiada ($\alpha_R=0$)

$(E.I)_{eq,viga}$: rigidez equivalente da viga

P : reação no apoio

a : distância do apoio ao local de aplicação da força

A rigidez equivalente da viga também pode ser determinada através da rotação obtida no ensaio da viga bi-apoiada (ϕ_{BA}), de acordo com CATOIA [1], como pode ser observado na equação 4.

$$\phi_{BA} = \frac{P.a.L}{2.(E.I)_{eq,viga}} \left(1 - \frac{a}{L}\right) \rightarrow (E.I)_{eq,viga} = \frac{(P.a) \cdot \left(\frac{L}{2}\right) \cdot \left(1 - \frac{a}{L}\right)}{\phi_{BA}}$$

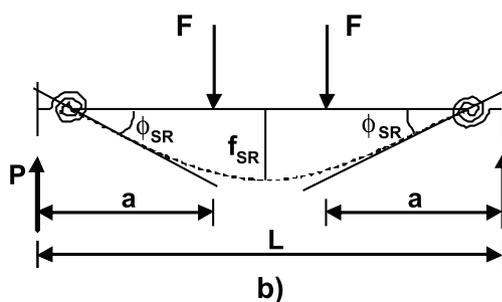
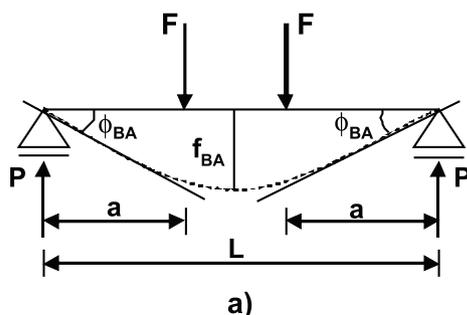
Equação 4

O momento na extremidade da viga que compõe o modelo SR (viga com ligações semi-rígidas) pode ser determinado através da relação entre as rotações obtidas pelas leituras dos clinômetros posicionados nas extremidades de cada modelo (equação 5, obtida em FERREIRA [6]).

$$\frac{M_{extr}}{M_{eng}} = 1 - \frac{\phi_{SR}}{\phi_{BA}}$$

Equação 5

Figura 3 – a) Esquema da deformação do modelo composto por uma viga simplesmente apoiada; b) Esquema da deformação do modelo composto pela viga com ligações semi-rígidas.



onde:

ϕ_{SR} : rotação na extremidade da viga com ligações semi-rígidas.

Através das flechas obtidas pelas leituras dos transdutores posicionados na região central de cada modelo, pode-se determinar o fator de restrição à rotação α_R (equação 6, obtida em FERREIRA [6]). A obtenção das flechas correspondentes a cada modelo ensaiado pode ser observada através do esquema ilustrado na figura 4. A partir do fator de restrição à rotação, pode-se determinar o momento na extremidade da viga com ligações semi-rígidas, considerando a equação 2.

$$\frac{f_{SR}}{f_{BA}} = 0,3172 \cdot \alpha_R^2 - 1,0723 \cdot \alpha_R + 1$$

Equação 6

onde:

f_{SR} : flecha no meio do vão da viga com ligações semi-rígidas ($0 < \alpha_R < 1$).

Com o ensaio da viga protendida simplesmente apoiada, pode-se estabelecer a relação momento-curvatura da viga, possibilitando a determinação do momento no vão da viga com ligações semi-rígidas ($M_{vão(SR)}$), para a carga de projeto. Sabendo o momento ($M_{vão(SR)}$), e determinando o momento isostático (para a carga de projeto), é possível a obtenção do momento na extremidade da viga com ligações semi-rígi-

das ($M_{extr(SR)}$), como expresso na equação 7, de acordo com CATOIA [1], e considerando a figura 3b. Assim, a porcentagem de engastamento do apoio também pode ser determinada através das curvaturas obtidas em cada modelo.

$$M_{extr(SR)} = P_{SR} \cdot a - M_{vão(SR)}$$

Equação 7

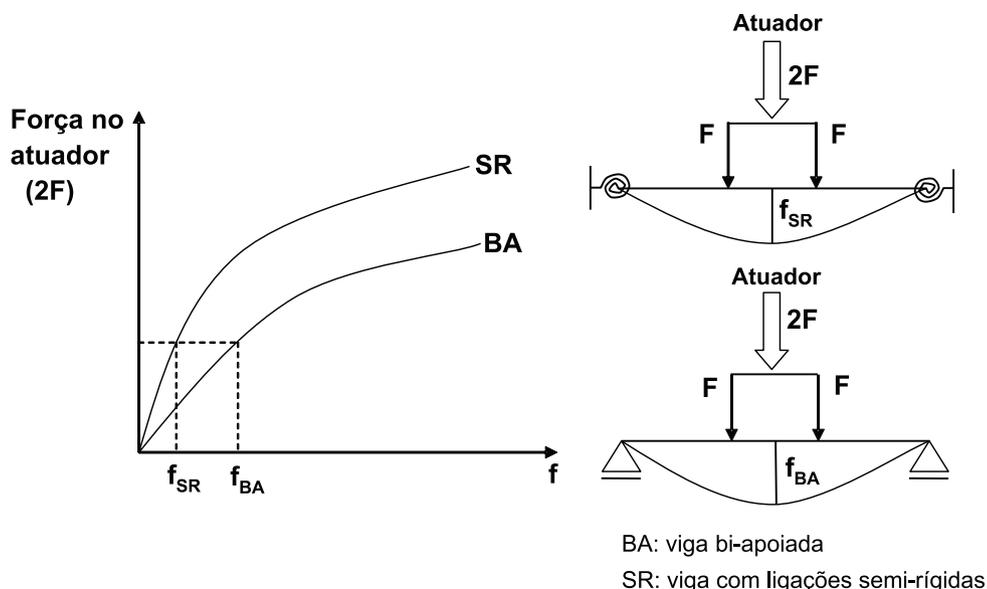
3. Programa experimental

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS

Foram ensaiados dois modelos denominados de modelo BA e modelo SR. O modelo BA foi composto por uma viga pré-moldada protendida bi-apoiada. O modelo SR foi composto por uma viga pré-moldada protendida (idêntica à viga do modelo BA) com a presença de ligações semi-engastadas, utilizando armadura de continuidade correspondente a 4 $\phi 16$ mm (aço CA-50). Assim, o modelo SR foi constituído por uma viga pré-moldada protendida e por dois elementos de pilares em "L", simulando pilares de extremidade.

Nos modelos ensaiados (modelo BA e modelo SR), foram utilizadas vigas pré-molda-

Figura 4 – Esquema da obtenção das flechas correspondentes às vigas de cada modelo ensaiado



das protendidas, sendo essas pré-fabricadas. Utilizou-se a protensão com aderência inicial e foram empregados cabos retos com uma área de 390 mm^2 ($4 \phi 12,7 \text{ mm}$) e aço correspondente ao CP190-RB. Além disso, também foram utilizadas armaduras passivas positivas com aço CA-50, correspondendo a uma área de 160 mm^2 ($2 \phi 10,0 \text{ mm}$). A armadura de continuidade foi composta por barras de aço CA-50, com área correspondente a 804 mm^2 ($4 \phi 16 \text{ mm}$). Também foi empregada na viga armadura construtiva de aço CA-25, correspondente a uma área de 314 mm^2 ($4 \phi 10 \text{ mm}$). Além disso, na viga foram empregados dois tipos de estribos, com diâmetro de 8 mm e aço CA-50. É importante ressaltar que as vigas pré-moldadas protendidas apresentaram largura e altura de 400 mm , constituindo uma pré-viga com a presença de estribos acima da seção concretada. Para ambos os modelos, a pré-viga teve sua parte superior preenchida com concreto moldado no local, atingindo uma altura de 600 mm .

Considerando o modelo SR, as armaduras longitudinais negativas ($4 \phi 16 \text{ mm}$) foram acopladas em luvas inseridas nos elementos de pilares através de rosqueamento. A solidarização das armaduras foi realizada através da concretagem e preenchimento de 200 mm sobre a viga pré-moldada. Desse modo, a viga passou a apresentar 600 mm de altura, mantendo a largura de 400 mm e o comprimento de 5900 mm . Com o objetivo de promover a continuidade entre a viga pré-moldada e o complemento concretado no local, todos os estribos verticais de 8 mm foram projetados para fora da parte pré-moldada.

As armaduras dos modelos foram ajustadas tendo em vista: questões de ordem prática; dimensões de bitolas mais empregadas na indústria; evitar a ruína localizada; compatibilização de disposições construtivas e de facilidade de concretagem.

Na viga ensaiada, foi empregada protensão suficiente para resistir ao momento referente ao peso próprio da pré-viga, sendo utilizada armadura passiva, com o intuito de, juntamente com a protensão, resistir ao peso próprio total e ao carregamento aplicado durante o ensaio. Além disso, foi empregada armadura passiva até os apoios, a fim de ancorá-los, uma vez que não se encontrou protensão nos mesmos. Assim, com a protensão aplicada, foi possível evitar a fissuração para as cargas correspondentes ao estado limite de serviço, o que contribuiu para analisar o efeito não-linear das ligações sobre o comportamento da viga.

3.2 ENSAIOS DOS MODELOS BA E SR

Nos modelos aplicou-se um carregamento incremental monotônico com curta duração por meio da utilização de um atuador hidráulico com capacidade de 500 kN , alimentado por uma bomba manual. A carga de projeto foi estimada em 270 kN no atuador, dividido em dois pontos de aplicação no trecho central da viga. Os pontos de aplicação das cargas estavam distantes 1000 mm , sendo realizada a aplicação através de duas chapas metálicas fixadas na viga e adequadamente niveladas. Durante a realização dos ensaios, foram aplicados 3 car-

Figura 5 – a) Ensaio do modelo composto por uma viga protendida bi-apoiada (Modelo BA); b) Ensaio do modelo composto pela viga protendida bi-apoiada com ligações semi-rígidas (Modelo SR). CATOIA [1]



(a)



(b)

Tabela 1 – Resultados Experimentais

Modelo BA	Carga máxima (2F) (kN)	Abertura de fissura (mm)	Flecha máxima (mm)
BA	350	>1,5	22,45
SR	500	>0,6	8,34

regamentos, atingindo cerca de 40% do carregamento último no primeiro, e atingindo 100% do carregamento último nos dois restantes. Realizou-se esse procedimento com o intuito de verificar o comportamento secante da rigidez à flexão nas ligações viga-pilar.

Para comprovar a validade do procedimento analítico de análise do comportamento de ligações semi-rígidas foram comparados valores teóricos com valores experimentais obtidos nos dois ensaios realizados, que podem ser observados na figura 5.

Primeiramente, foi realizado o ensaio do modelo BA (viga protendida com apoios articulados), para caracterização da viga através da determinação de sua relação momento-curvatura. Em seguida, foi realizado o ensaio do modelo SR (viga protendida com ligações semi-rígidas), com o intuito de analisar a influência das ligações no comportamento da viga protendida.

4. Resultados e discussões

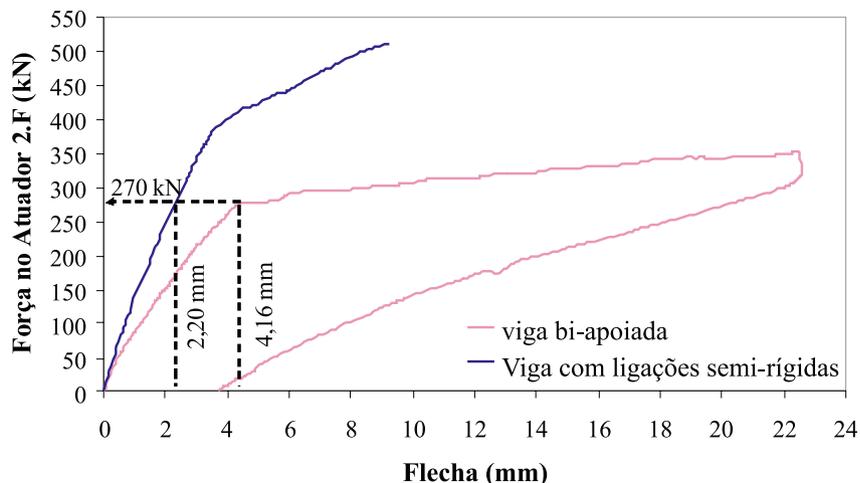
Através dos resultados obtidos com o ensaio do modelo BA (viga bi-apoiada), foi

possível realizar a caracterização da viga pré-moldada protendida a partir da determinação de sua relação momento-curvatura. Além disso, os resultados obtidos no ensaio do modelo BA auxiliaram na determinação da rigidez e porcentagem de engastamento da ligação viga-pilar. Com os valores de flecha e com os valores de rotação obtidos com o ensaio do modelo BA, foi possível determinar a rigidez equivalente da viga. Na tabela 1 estão apresentados alguns resultados experimentais referentes aos modelos ensaiados.

Os valores para a rigidez equivalente da viga obtidos através da flecha ($2,4 \cdot 10^{11}$ kN.mm²) e da rotação ($2,3 \cdot 10^{11}$ kN.mm²), considerando a carga de projeto, apresentaram-se muito próximos do valor de rigidez equivalente obtido considerando a seção bruta da viga, que correspondeu a $2,3 \cdot 10^{11}$ kN.mm². Através desses resultados, pôde-se observar que a viga se encontrou no estágio I de deformação mesmo quando submetida a carga de projeto (270 kN).

Através dos resultados obtidos com o ensaio do modelo SR, foi possível analisar o comportamento da viga pré-moldada protendida considerando o efeito das ligações semi-rígidas, através da determinação da porcentagem de engastamento

Figura 6 – Determinação da porcentagem de engastamento do apoio através das flechas. CATOIA [1]



da ligação e, conseqüentemente, da redistribuição dos esforços ao longo da viga protendida.

A porcentagem de engastamento dos apoios foi determinada a partir de três procedimentos diferentes: considerando a relação entre as flechas de cada modelo; e através da relação entre as rotações de cada modelo; e através da igualdade da relação momento-curvatura de cada modelo. Pela primeira vez na literatura, foram aplicados esses três procedimentos para a determinação da porcentagem de engastamento de uma viga protendida. A seguir, serão descritas os três procedimentos empregados.

RELAÇÃO ENTRE AS FLECHAS

Durante a realização dos ensaios, foram registradas flechas para diversos valores de carga. Com os valores obtidos, considerando a carga de projeto (270 kN), como pode ser observado nos gráficos de força no atuador versus flecha, para os dois modelos, ilustrados na figura 6, foi possível determinar o fator de restrição à rotação α_R , empregando a equação 6, da seguinte maneira:

$$\frac{f_{SR}}{f_{BA}} = 0,3172 \cdot \alpha_R^2 - 1,0723 \cdot \alpha_R + 1 \rightarrow \frac{2,20}{4,16} = 0,3172 \cdot \alpha_R^2 - 1,0723 \cdot \alpha_R + 1 \rightarrow \alpha_R = 0,52$$

A partir da equação 2, foi determinada a porcentagem de engastamento do apoio, da seguinte maneira:

$$\frac{M_{extr}}{M_{eng}} = \frac{3\alpha_R}{2 + \alpha_R} \rightarrow \frac{M_{extr}}{M_{eng}} = \frac{3,0,52}{2 + 0,52} \rightarrow \frac{M_{extr}}{M_{eng}} = 0,62$$

Considerando os modelo BA e SR, pode-se dizer que houve uma redução significativa das flechas obtidas pelo modelo SR, quando comparado com o modelo BA. Assim, mesmo não alcançando um engastamento total do apoio, as ligações presentes no modelo SR possibilitaram uma diminuição das flechas da viga. Desse modo, pode-se dizer que as ligações, ainda que para engastamentos parciais, não só melhoram as redistribuições dos momentos, como também reduzem as flechas da viga.

RELAÇÃO ENTRE AS ROTAÇÕES

Para a determinação da porcentagem de engastamento dos apoios da viga, foram utilizadas as rotações obtidas através dos clinômetros, considerando cada modelo e a carga de projeto (270kN). Os gráficos de força no atuador versus rotação para os dois modelos estão ilustrados na figura 7. Assim, a partir das rotações indicadas nessa figura e considerando a equação 5, foi possível determinar a porcentagem de engastamento dos apoios da seguinte maneira:

$$\frac{M_{extr}}{M_{eng}} = 1 - \frac{\phi_{SR}}{\phi_{BA}} \rightarrow \frac{M_{extr}}{M_{eng}} = 1 - \frac{0,00096}{0,0023} \rightarrow \frac{M_{extr}}{M_{eng}} = 0,58$$

Figura 7 – Determinação do engastamento parcial do apoio através das Rotações. CATOIA [1]

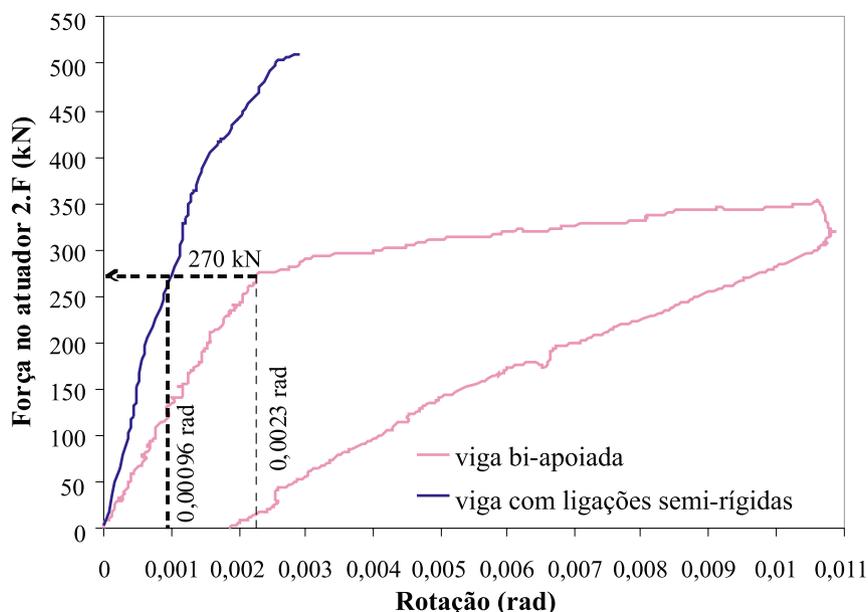
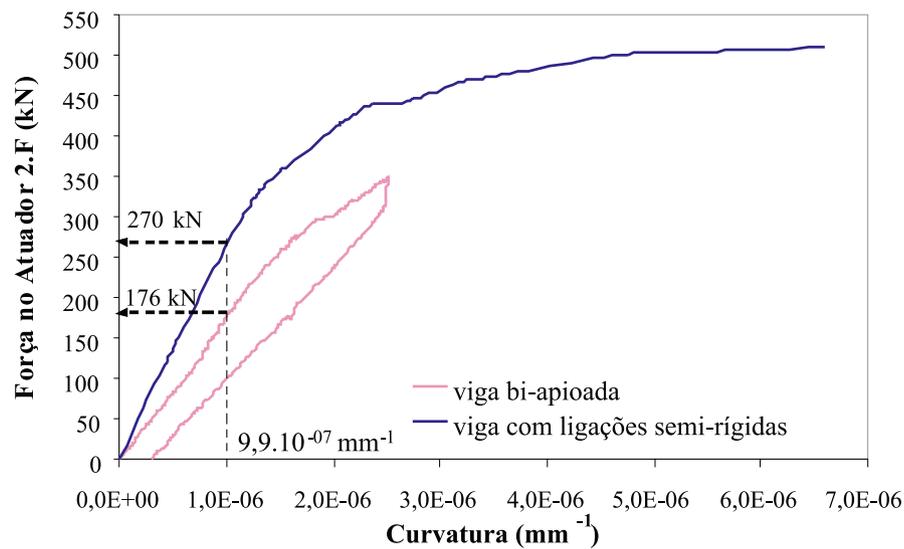


Figura 8 – Determinação do engastamento parcial no apoio através das curvaturas. CATOIA [1]



IGUALDADE MOMENTO-CURVATURA

Considerando a carga de projeto, correspondente a 270 kN (no atuador), foi determinada a curvatura para o modelo SR ($9,9 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^{-1}$), através dos extensômetros elétricos de base removível. A partir desse valor de curvatura determinado, foi possível obter o valor da força correspondente para o modelo BA (176 kN no atuador), como pode ser observado na figura 8. Considerando a figura 9a, foi possível determinar o momento no meio do vão da viga

simplesmente apoiada ($M_{\text{vão(BA)}}$), que correspondeu a 207,68 kN.m.

Considerando a mesma rigidez para os dois modelos e o mesmo valor de curvatura obtido, foi possível conhecer o valor do momento no meio do vão do modelo SR, que, por sua vez, correspondeu ao mesmo valor do momento no meio do vão para o modelo BA, como pode ser observado na figura 9b.

Considerando a figura 9b, o momento atuante na extremidade da viga com ligações

Figura 9 – a) Modelo com viga bi-apoiada submetido a carga de projeto; b) Modelo com ligações semi-rígidas submetido a carga de projeto.

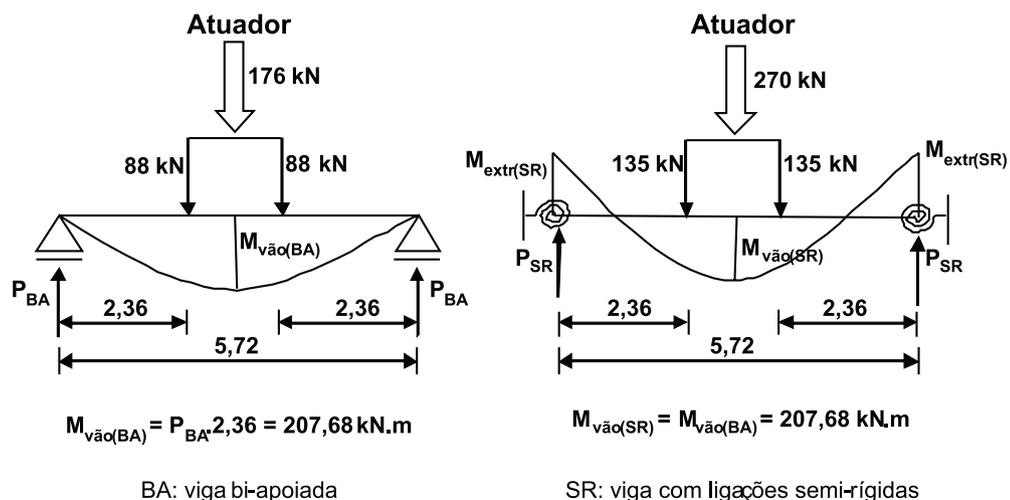


Tabela 2 – Determinação da porcentagem de engastamento médio no apoio da viga

Carga (kN)	Método	M/M _{eng} no apoio	M/M _{eng} médio no apoio	α _R
270	Curvatura	59 %	60 %	0,5
	Flecha	62 %		
	Rotação – CL	58 %		

resistentes à flexão ($M_{extr(SR)}$), foi determinado através da equação 7, da seguinte maneira:

$$M_{extr(SR)} = P_{SR} \cdot a - M_{vão(SR)} \rightarrow M_{extr(SR)} = 135,2,36 - 207,68 \rightarrow M_{extr(SR)} = 110,92 \text{ kN.m}$$

Assim, com o momento na extremidade da viga com ligações semi-rígidas, foi possível determinar a porcentagem de engastamento através da seguinte relação:

$$\frac{M_{extr}}{M_{eng}} = \frac{110,92}{187} \rightarrow \frac{M_{extr}}{M_{eng}} = 0,59$$

Sendo que o momento de engastamento perfeito (M_{eng}) corresponde ao momento da extremidade da viga com ligações perfeitamente rígidas, submetida à carga de projeto.

Foram empregados os três procedimentos, descritos anteriormente, para a determinação da

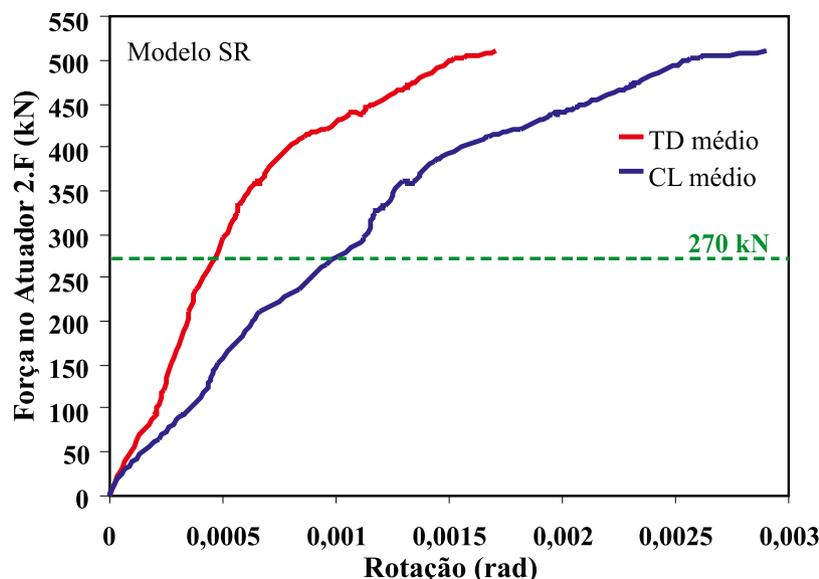
porcentagem de engastamento dos apoios da viga protendida, em estudo, com a finalidade de comprovar a consistência dos dados obtidos.

Com a determinação da porcentagem de engastamento dos apoios, considerando as três maneiras descritas, foi determinada uma porcentagem de engastamento média correspondente a 60%, como pode ser observado na tabela 2.

A partir da porcentagem de engastamento média do apoio, e sabendo o momento de engastamento perfeito (considerando a rotação da ligação nula), foi possível a determinação do momento existente no apoio, ou seja, determinou-se o momento que solicitou a ligação para a carga de projeto. Esse momento correspondeu a 112,2 kN.m.

A metodologia desenvolvida, em CATOIA [1], para a análise dos resultados permitiu monitorar a existência de rotação na base dos apoios. Dessa forma, analisando os resultados do ensaio do modelo SR, observou-se a ocorrência de giros nos pilares, o que facilmente pôde ser identificado comparando

Figura 10 – Leituras de rotação dos transdutores e dos clinômetros, para o modelo SR. CATOIA [1]



as leituras de rotação obtidas pelos clinômetros e transdutores. Os clinômetros forneceram leituras globais de rotação (rotação do apoio), enquanto que os transdutores forneceram leituras relativas de rotação (rotação da ligação). Assim, como ilustrado na figura 10, pode-se observar que os valores de rotação obtidos através dos clinômetros e dos transdutores se apresentaram distantes.

Uma vez obtidos os momentos nos apoios da viga, as rigidezes efetivas das ligações viga-pilar podem ser estimadas a partir da rotação relativa entre a viga e o consolo, no caso, obtidas por meio dos transdutores. Desta forma, para o carregamento de 270 kN no atuador central (correspondente ao ELU), onde a ligação mobilizou um momento de 112,22 kN.m, obteve-se uma rotação relativa de 0,00049 rad, que corresponde a uma rigidez efetiva da ligação (relação momento-rotação) da ordem de $R = 228.979 \text{ kN.m/rad}$. Entretanto, esse valor de rigidez para a ligação correspondeu a um patamar de serviço em relação ao momento de projeto da ligação. Por outro lado, mesmo na hipótese da restrição total aos giros dos pilares, a ligação deveria mobilizar momentos superiores e, devido a não linearidade da sua relação momento-rotação, o comportamento da ligação tenderia para a redução da sua rigidez rotacional, podendo sofrer maiores deformações para um mesmo nível de carregamento.

5. Conclusões

Comparando os resultados obtidos por diversos procedimentos, foi possível a obtenção de resultados próximos, mostrando consistência do procedimento empregado. Através de ensaios realizados com vigas pré-moldadas de concreto protendido, foi possível a utilização de todas as equações presentes na conceituação teórica, para a obtenção do momento na extremidade da viga

protendida com ligações semi-rígidas, o que contribuiu para a consolidação desse procedimento de ensaio proposto pelo Núcleo de Estudo e Tecnologia em Pré-Moldados de Concreto (NETPRE), o qual ainda não se encontra padronizado na bibliografia internacional.

Através da análise dos resultados, foi possível observar que mesmo a viga apresentando linearidade no estado limite de serviço, seu comportamento foi não-linear devido à influência das ligações.

Com essa metodologia experimental empregada, foi possível integrar diversas análises teóricas, que permitiram estimar os momentos mobilizados nos apoios e, conseqüentemente, avaliar a redistribuição dos momentos, ou seja, o coeficiente de engastamento parcial. A validação desses métodos analíticos permitirá aos engenheiros estimar o comportamento semi-rígido das ligações viga-pilar em estruturas pré-moldadas. Essas equações são baseadas no fator de restrição à rotação, o qual pode ser facilmente incorporado em programas de análise estrutural existentes, fornecendo estimativas mais exatas para flechas em vigas pré-moldadas ou em estruturas semi-rígidas em esqueleto.

6. Agradecimentos

Este trabalho é fruto de um Mestrado realizado no Núcleo de Estudo e Tecnologia em Pré-Moldados de Concreto (NETPRE), dentro do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da UFSCar. Os autores agradecem à FAPESP pela bolsa de mestrado e pelo auxílio do Programa Jovem Pesquisador em Centros Emergentes. Os autores agradecem à Associação Brasileira de Construção Industrializada de Concreto (ABCIC) pela doação da estrutura pré-moldada do laboratório NETPRE e agradecem as empresas Leonardi e Protendit pela doação dos modelos ensaiados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] CATOIA, B. Comportamento de vigas protendidas pré-moldadas com ligações semi-rígidas. São Carlos. 2007. 149f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - Universidade Federal de São Carlos, 2007.
- [02] FERREIRA, M. A. Estudo do Comportamento de Sistemas Estruturais em Concreto Pré-Moldado. Relatório Científico FAPESP, 2005.
- [03] FERREIRA, M. A. Deformabilidade de ligações viga-pilar de concreto pré-moldado. São Carlos. 1999. 232f. Tese (Doutorado em estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.
- [04] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.
- [05] FERREIRA, M. A.; EL DEBS, M. K.; ELLIOTT, K. S. Determinação teórico experimental da relação momento-rotação em ligações viga-pilar de estruturas pré-moldadas de concreto. In: EPUSP. Anais do V Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto. São Paulo, 2003.
- [06] FERREIRA, M. A. Critérios e procedimentos analíticos para a análise e projeto de ligações semi-rígidas em estruturas de concreto pré-moldado. Inglaterra: School of Civil Engineering, University of Nottingham, UK. Programa de pesquisa de pós-doutorado no exterior, 2001. ◆

Torre Niederaussem: concreto de alto desempenho resistente aos ácidos



A Torre de Resfriamento de Niederaussem, na Alemanha, a mais alta (200m) e mais larga (136m de diâmetro de base) do mundo, destaca-se, principalmente, pelo tipo de concreto usado em sua construção. Denominado tecnicamente como HPC-SRB 85/35, este concreto caracteriza-se por seu alto nível de resistência contra o ácido sulfúrico e outros gases ácidos lançados pela Torre.

Sob tais condições, o concreto em geral usado nestas torres deteriora-se muito rapidamente, caso não seja protegido por uma manta resistente aos ácidos. Tal procedimento é feito sob um custo muito elevado e por diversas vezes durante a vida útil da estrutura.

Por isso, para a edificação da Torre de Resfriamento de Niederaussem foi considerado o uso de um concreto de alto desempenho que prescindisse da cobertura da torre. Desenvolvido conceitualmente pelo pesquisador Bernd Hillemeier, da TU Berlin, o HPC-SRB 85/35 (Saeure Resistant Beton) é um concreto de alta densidade e alta resistência à compressão. Foi estimado que aos 28 dias a resistência deveria alcançar 85MPa, valor bem acima do especificado para o concreto comumente usado nessas torres (35MPa).

O HPC-SRB é caracterizado:

- ◆ Por um baixo consumo de cimento (250kg/m³), com baixa quantidade de álcalis;
- ◆ Por escória de alto-forno com baixa quantidade de água, proveniente de elevadas temperaturas;
- ◆ Por microsilica em suspensão com superfície aproximada de 50m²/g; este componente, de 50 a 100 vezes menor do que as partículas cimentícias, é capaz de preencher

a maioria das cavidades microscópicas do concreto, reduzindo a volume de poros;

- ◆ Os aglomerantes são distribuídos na seguinte proporção: 70% de cimento, 20% de escória, 10% de microsilica;
- ◆ Por uma granulometria adequada de agregados esféricos e muito densos que reduz em 50% a quantidade de aglomerantes em relação ao HPC convencional;
- ◆ Por aditivos superplastificantes de quarta geração baseados em policarboxilatos (PCE), garantindo-se um slump adequado para assegurar a trabalhabilidade do material, cuja relação água-cimento é menor que 0,4.

O resultado é um concreto com propriedades únicas: pouca água, baixa perda de slump, baixa retração, alta resistência em período muito curto e boa trabalhabilidade.

DADOS TÉCNICOS

Operador: RWG Energie AG

Projetista: Krätzig und Partner Ingenieurgesellschaft mbH

Construtora: E. Heitkamp GmbH

Fabricante aditivos: MC-Bauchemie

Circulação de água: 91.000 m³/h

Volume de concreto: 32.000 m³

Volume de HPC: 17.650 m³

Volume de aço: 3,65 milhões de kilos



West Point: recorde nacional em concretagem com CAA

O mais novo empreendimento comercial de Alphaville, o West Point, atualmente em fase de execução, com 22% de sua estrutura pronta, já acumula um recorde nacional: 10 horas de concretagem ininterrupta com concreto auto-adensável.

Esse foi o tempo necessário para concretar uma laje com extensão de 1500m², vigas e pilares de um dos pavimentos, totalizando 385m³. Foram necessários 55 caminhões para completar a empreitada.

O West Point está localizado na entrada de Alphaville e será vizinho do futuro Shopping Iguatemi. Edificação com 90m, 18 pavimentos mais 3 subsolos, a previsão de entrega é maio de 2009.

DADOS TÉCNICOS

Construtora: Sinco Engenharia

Concreteira: Polimix Concreto Ltda.

Data da concretagem: 11/06/08

Fornecedor aditivo: Sika Brasil

Volume total utilizado no concreto

auto-adensável: 385 m³

Resistência à compressão (média) 7 dias: 32,5 MPa

Resistência à compressão (média) 28 dias: 39,3 MPa

Módulo de elasticidade (média) 7 dias: 21,0 GPa

Resistência à compressão (média) 28 dias: 30,0 GPa

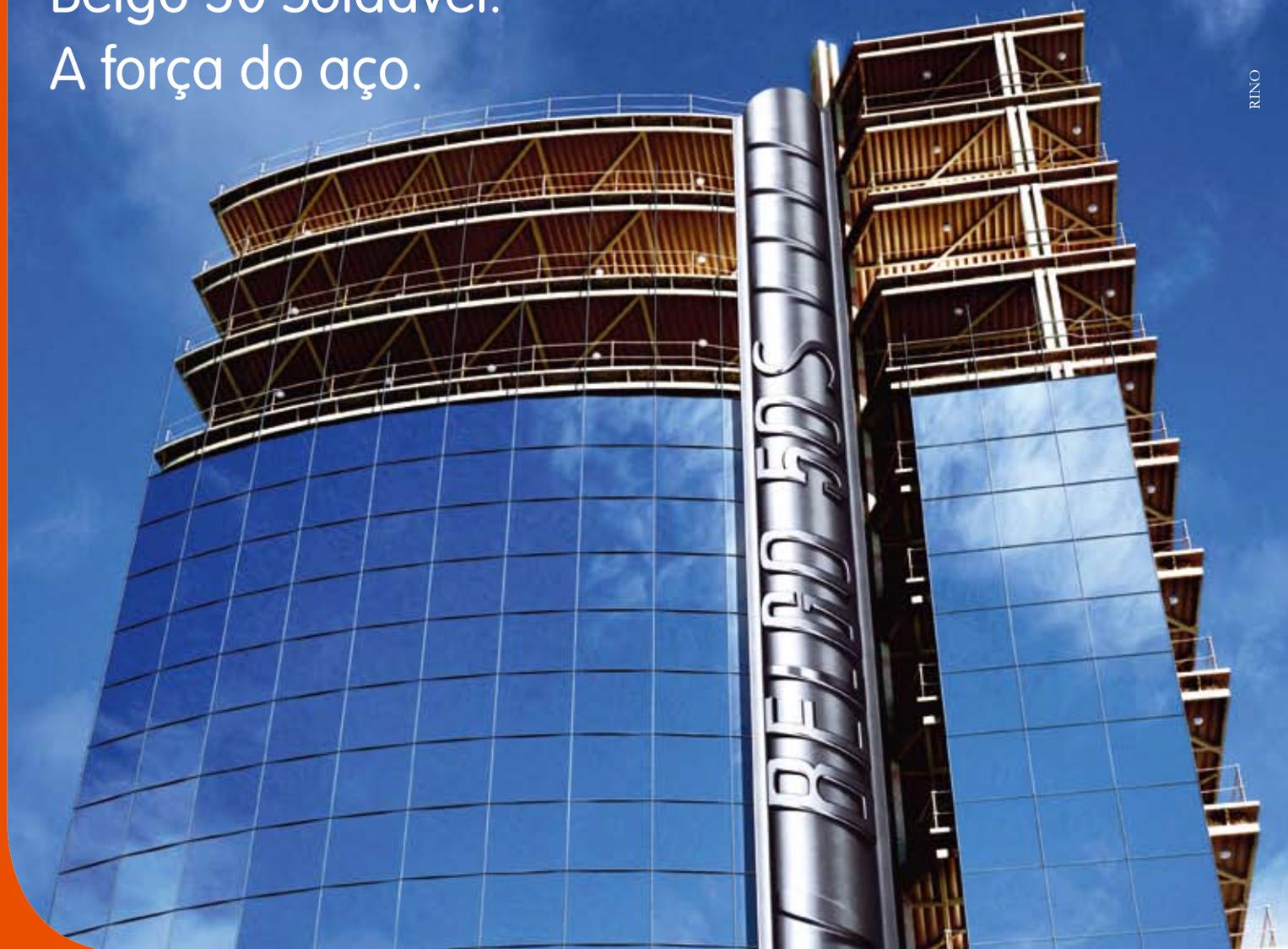
Flow (média): 720 mm

L box: 0,93 ◆



Belgo 50 Soldável. A força do aço.

RINO



**Belgo 50 Soldável. O nome do aço no Brasil.
ArcelorMittal. O nome do aço no mundo.**

O sucesso de uma obra está ligado à qualidade dos produtos utilizados. O vergalhão **Belgo 50 Soldável** que você já conhece tem a segurança e a eficiência do aço **ArcelorMittal**, que o mundo inteiro reconhece. A líder mundial em siderurgia também é líder em excelência em todos os seus produtos e serviços. Sustentabilidade, qualidade e liderança são compromissos da **ArcelorMittal**.
É a força do aço que transforma projetos em realidade.



Belgo 50 Soldável

Belgo é ArcelorMittal. ArcelorMittal é aço.

Aços Longos

Conheça as nossas soluções em aço para
Construção Civil, Indústria e Agronegócio.

Central de Relacionamento Aços Longos
0800 0151221
www.arcelormittal.com/br



ArcelorMittal

transformando
o amanhã

RAPIDÍSS

É assim que atua a linha de aceleradores da Vedacit/Otto Baumgart. Vedacit Rapidíssimo em Pó, 100, 150 e 200 são indicados para concretos projetados e possuem alta tecnologia, atendendo aos mais exigentes padrões de qualidade estabelecidos pelas obras com segurança, economia e muita rapidez.

www.vedacit.com.br

VEDACIT
IMPERMEABILIZANTES

