



CONCRETO

& Construções



IBRACON

Instituto Brasileiro do Concreto

Ano XXXIV | Nº 47
Jul. • Ago. • Set. | 2007
ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br

ATIVIDADES INTERNACIONAIS



IBRACON participa
da 4th ACI Spring
Convention

ARTIGO CIENTÍFICO



Reologia de
concretos: técnicas
de caracterização

PONTES DE CONCRETO



Ponte sobre o Canal
de Itajurú, Cabo Frio



**OBRAS DE
CONCRETO PARA
O SANEAMENTO
AMBIENTAL:
CUIDANDO DO
MEIO AMBIENTE E
DA SAÚDE PÚBLICA.**

EMPRESAS E ENTIDADES LÍDERES DO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL ASSOCIADAS AO IBRACON

ADITIVOS



MELBAR



Maisa marca é proteger sua obra.

EQUIPAMENTOS



Equipamentos e Sistemas de Ensaio

ADIÇÕES



Concreto de Alto Desempenho

JUNTAS



ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



PCC
Escola Politécnica - USP



PUNTAÇÃO UNIVERSITÁRIA CATEGORIA



Instituto de Pesquisas Tecnológicas



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



núcleo orientado para a inovação da edificação



ARMADURA



AMÉRICA LATINA



GERDAU
AÇO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL



ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



Concrete, Construction and Rehabilitation

FRANÇA & ASSOCIADOS
ENGENHARIA SCS LTDA



JUNTE-SE A ELAS

Associe-se ao IBRACON em defesa e valorização da Arquitetura e Engenharia do Brasil !

PRÉ-FABRICADOS



CONTROLE TECNOLÓGICO



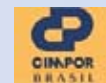
CONSTRUTORAS



FÔRMAS



CIMENTO



AGREGADOS



GOVERNO



CONCRETO



Diretor Presidente
Paulo Helene

Diretor 1º Vice-Presidente
Cláudio Sbrighi Neto

Diretor 2º Vice-Presidente
Eduardo Antonio Serrano

Diretor 3º Vice-Presidente
Mário William Esper

Diretor 1º Secretário
Antônio Domingues de Figueiredo

Diretor 2º Secretário
Sônia Regina Freitas

Diretor 1º Tesoureiro
Luiz Prado Veira Jr.

Diretor 2º Tesoureiro
Flávio Teixeira de Azevedo Filho

Diretor Técnico
Rubens Machado Bittencourt

Diretor de Eventos
Luiz Rodolfo Moraes Rego

Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento
Túlio Nogueira Bittencourt

Diretor de Publicações
Ana E. P. G. A. Jacintho

Diretor de Marketing
Wagner Roberto Lopes

Diretor de Relações Institucionais
Paulo Fernando Silva

Diretor de Cursos
Juan Fernando Matias Martin

Diretor de Certificação de Mão-de-obra
Julio Timerman

Assessores da Presidência
Alexandre Baumgart
Augusto Carlos de Vasconcelos
Jorge Bautlouini Neto
Martin Eugênio Sola
Ruy Ohtake

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 Luís Pedrosa – MTB 41728
fabio@ibracon.org.br

DIAGRAMAÇÃO

Gill Pereira (Ellementto-Arte)
gill@ellementto-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO

Valesca Lopes
valesca@ibracon.org.br

Gráfica: Ipsis Gráfica e Editora

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

Copyright 2007 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.

COMITÊ EDITORIAL

Ana E. P. G. A. Jacintho, UNICAMP, Brasil
Antonio Figueiredo, PCC-EPUSP, Brasil
Fernando Branco, IST, Portugal
Hugo Corres Peiretti, FHECOR, Espanha
Paulo Helene, IBRACON, Brasil
Paulo Monteiro, UC BERKELEY, USA
Pedro Castro, CINVESTAV, México
Raul Husni, UBA, Argentina
Rubens Bittencourt, PEF-EPUSP, Brasil
Ruy Ohtake, ARQUITETURA, Brasil
Túlio Bittencourt, PEF-EPUSP, Brasil
Vitervo O'Reilly, MICONS, Cuba

IBRACON

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



SUMÁRIO

Obras de saneamento

Experiência nacional em normalização, projeto, execução, controle do concreto, manutenção e reparação

10



Tecnologia

Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas: as duas opções contidas na NBR 5419/93

24

E MAIS...

- 5 Editorial
- 6 Converse com IBRACON
- 10 Personalidade Entrevistada. Walton Pacelli
- 14 Acontece nas Regionais
- 19 Fissuração em reservatórios
- 32 Normalização para obras de saneamento
- 39 ETE Ribeirão Arrudas
- 46 Mercado Nacional
- 48 Produção de concreto para obras de saneamento
- 52 Ensino de Engenharia
- 57 Armadura de retração em reservatórios
- 61 Concreto Fresco
- 67 Deterioração e intervenção em obras de saneamento
- 71 Entidades Parceiras
- 73 Impermeabilização em obras de saneamento
- 80 Concreto em Obras Marítimas
- 91 Recuperação de estruturas de saneamento
- 99 Pontes de concreto
- 102 Mantenedor
- 104 Atividades Internacionais
- 108 Artigo Científico
- 125 Recordes de Engenharia



Créditos Capa:
Sistema Rio das Velhas – vista aérea. Foto COPASA

Lições de 4 anos de IBRACON

Neste número a matéria de capa desta revista está dedicada à valorização e reconhecimento do histórico, vitorioso e significativo papel do Saneamento Básico para a melhoria da saúde e da qualidade de vida de todos os povos. Registro meus sinceros agradecimentos aos amigos, Carlos e Ana D'Ávila, da COPASA de MG, que entenderam a importância desta mensagem e mobilizaram o setor para contribuir com interessantes e valiosos artigos.

Durante a Assembléia Geral Ordinária do IBRACON, a realizar-se em Bento Gonçalves, dia 03/09/07, serão apurados os votos dos sócios que elegerão os vinte novos Conselheiros do Instituto. Esses Conselheiros mais os seis ex-presidentes deverão eleger um Conselheiro individual para desempenhar voluntariamente o honroso papel de Presidente do Instituto para a gestão 2007-9.

Segundo o Estatuto, os candidatos à Presidência devem ser sócios-diamante e o Presidente não pode ser re-eleito, consecutivamente, mais de uma vez.

Nesses quatro últimos anos que tive a gratificante oportunidade de estar Presidente desta tradicional e valorosa Entidade, aprendi muita coisa interessante.

Aprendi, por exemplo, que o Instituto é muito forte e que sua força vem da dedicação de seus associados que voluntária e generosamente insistem em colaborar e doar-se para o bem comum, para o desenvolvimento do setor.

Descobri que o Instituto é reconhecido em todos os rincões do país e também no exterior, como a Entidade brasileira que mais contribui para a geração, divulgação e transferência de tecnologia entre a academia e o setor produtivo.

Aprendi que o Instituto tem muita credibilidade e desperta confiança quando se pronuncia técnica, científica e politicamente sobre um tema.

Aprendi que ainda tem muito por ser feito e que os profissionais do setor são sensíveis e ávidos por conhecimento produzido, divulgado ou transferido pelo IBRACON.

Aprendi a exercitar a diplomacia e a tolerância no intercâmbio com as demais Entidades do setor que são, a igual que o IBRACON, geridas por profissionais voluntários, humanos, capazes e sensíveis a uma palavra amiga, desinteressada e construtiva. Sem dúvida, a palavra de ordem institucional nos dias de hoje é parceria.

Aprendi a conhecer os profissionais, as empresas e os empresários do setor. Aprendi a distinguir entre aqueles que têm uma visão empreendedora, institucional, comunitária e de longo prazo, sempre dispostos a investir num projeto de melhoria do setor, daqueles que enxergam o relacionamento com o IBRACON como mais um bom e lucrativo negócio da semana.

Aprendi que o grande e nobre sentimento humano de compartilhamento do saber pode ser despertado por umas poucas, profundas e sinceras palavras de incentivo e reconhecimento. A grande maioria do nosso meio técnico é movida por dois incríveis combustíveis "sustentados": o carinho (atenção) e o respeito.

Esses profissionais privilegiados no seu saber especializado e, juntos no IBRACON sob a liderança perseverante e diplomática do Prof. Isaia, são capazes de mover montanhas de atraso tecnológico no ensino superior do país. Conseguiram a façanha de escrever e publicar em quatro anos, dois livros com

quatro volumes e mais de tres mil páginas do mais atualizado conhecimento sobre concreto de cimento Portland e materiais de construção civil, disciplinas obrigatórias nos cursos de engenharia civil e arquitetura de qualquer país.

Aprendi a agradecer as prontas, oportunas e generosas ajudas científicas, administrativas, tecnológicas e econômicas outorgadas pelo setor privado e público, assim como pelos Centros de Ensino e Pesquisa e agências de Fomento, para o engrandecimento da Engenharia de concreto no Brasil.

Aprendi a suportar as duras derrotas e a valorizar as pequenas vitórias.

Deixar a sede no IPT e perder, na alfândega de Guarulhos, mais de mil livros doados ao Brasil pelos Profs. Mehta e Malhotra constituíram-se em duras derrotas.

Ver o crescimento significativo do número de sócios individuais, coletivos e mantenedores do Instituto; reconhecer o empenho, a seriedade e a vontade de acertar dos três únicos funcionários fixos do Instituto; sentir a satisfação dos sócios nos eventos; desfrutar de uma sede nova e independente; compartilhar de uma sensação de elevada auto-estima e orgulho da nobre profissão de Engenheiro e Arquiteto; encontrar o caixa da Instituição sempre com pequeno saldo positivo; ter recursos para mobiliar e equipar as novas instalações com conforto e sobriedade; contar com doações intelectuais e profissionais de alto nível e que aprimoram o conhecimento na área, são algumas das pequenas vitórias comemoradas com sinceridade e gratidão.

Saber que o sistema de Ciência e Tecnologia do país, através do CNPq, CAPES, FINEP, FAPESP e tantas outras Agências de Fomento à Pesquisa qualificam e classificam o CBC e as revistas do IBRACON como de categoria A, fazem antever um futuro profícuo do Instituto e remetem para o excepcional trabalho voluntário dos Diretores, sempre dispostos a doar umas horinhas mais de seu valioso tempo, prestígio e competência para o engrandecimento da missão do Instituto.

O IBRACON tem foco, sabe trabalhar em equipe, tem planejamento e metas em suas atividades, tem a fiel e desinteressada colaboração voluntária de muitos Diretores Regionais por todo o território nacional, tem a competência voluntária dos Presidentes de Comitês Técnicos que empurram a fronteira do conhecimento consensuado, e tem a visão de estar investindo na promoção da pesquisa, da inovação e mais recentemente da Certificação de Pessoal.

Aprendi que o IBRACON também é, principalmente, tem a humildade de reconhecer que precisa de ajuda e de parcerias para efetivamente bem promover a divulgação profícuo do conhecimento atualizado, sustentado e ético sobre estruturas de concreto.

Legada por seus visionários fundadores e dirigentes ao longo dos últimos 35 anos, o Instituto continua e fortalece a sua ilustre missão de contribuir para o desenvolvimento do mercado de concreto e da construção civil no país.

Passaram-se quatro significativos anos onde pude renovar meu prazer pelo conhecimento e aprendizado.



PAULO HELENE
Diretor Presidente
paulo.helene@poli.usp.br



Converse com o IBRACON

Em defesa das atribuições da engenharia

Caro Paulo Helene,

Segue mensagens sobre assunto urgente e para o qual contamos com a análise de todas as associações de engenharia. Imagino que você já tenha ouvido falar do assunto: Projeto de Lei 4796, que objetiva regulamentar as atribuições do Geofísico, mas que acabou com um escopo muito mais ambicioso e talvez inadequado. Se o projeto for aprovado, os geofísicos e os geólogos poderão ter atribuições idênticas aos engenheiros e engenheiros-geólogos no que se refere a obras geotécnicas! O apoio do IBRACON é muito importante. Amanhã irei a Brasília para uma tese e para uma reunião na câmara de engenharia do CONFEA. Pedi também uma audiência ao senador Arns, que tem recebido uma chuva de emails e está sensível quanto a uma eventual reversão no assunto.

Prof. Alberto Sayão. Presidente da ABMS.

Caros amigos engenheiros de S.Paulo

Vejam só como o assunto relacionado aos geofísicos, geólogos e engenheiros voltou a ficar confuso. Creio até que o evento de amanhã em Brasília vai entrar por este terreno difícil ("O Momento Atual da Engenharia Brasileira"). Depois de todas as nossas cartas e e-mails, o sistema CONFEA/CREA aprovou o projeto substitutivo que propusemos e encaminhou ao senador Arns, que se mostrou favorável. O assunto está voltando à baila e precisamos agir, falando com o presidente do CREA-SP, que é engenheiro, para não ceder às pressões de liberar obras de engenharia (responsabilidade e atribuição dos engenheiros civis), nem as lavras de mineração (responsabilidade e atribuição dos engenheiros de minas), para geofísicos. O ideal é se manifestar para o CREA-SP e para o CONFEA, por escrito elou por telefone, mostrando nossa preocupação com o retrocesso do assunto. O Marcos Tulio (Presidente do CONFEA) não pode voltar atrás, pois irá prejudicar a habilitação profissional da nossa área de civil. Enfim, vamos mostrar que os engenheiros são também unidos. Mas é urgente, pois a discussão está acontecendo agora. O senador está aguardando apenas a posição final do CONFEA.

Prof. Alberto Sayão. Presidente da ABMS.

Prezado Prof. Sayão,

O IBRACON vem endossando total e claramente a sua correta posição de defesa das atribuições dos engenheiros civis e de minas. Na íntegra, foi esta uma das mensagens enviadas ao CONFEA/CREA:

Prezado Eng. José Tadeu da Silva, presidente do Crea-SP,

O Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, entidade de utilidade pública federal e estadual, cuja missão estatutária é a valorização da cadeia produtiva do concreto, vem a público, na figura do seu diretor-presidente, Prof. Paulo Helene, manifestar seu apoio ao projeto substitutivo, elaborado pelo Confea, ao PLC 117.

Paulo Helene, Diretor Presidente

Auto-estima profissional e ensino de engenharia
Ilustre Prof. Paulo Helene,

Sou professor de Direito, Ética e Sociedade na Faculdade de Engenharia de Sorocaba - FACENS, onde procuro melhorar o entendimento da Ética e do Direito dentro de um entendimento mais pragmático possível. Quero dizer que os seus textos, que extrai através da internet, indicado pelo Prof. Paulo Cavalcanti (professor de pontes), têm sido de grande e inestimável valia e percebo que o prestígio que o senhor traz para a classe dos engenheiros é admirável e, ao mesmo tempo, um grande incentivo para meus alunos. A responsabilidade civil e ou criminal é consequência direta da imperícia e ou negligência dos engenheiros, não somente os projetistas, mas também os de execução que premidos pela necessidade de produtividade colocam suas vidas profissionais à margem. Muito obrigado

Prof. Gilberto José de Camargo. Faculdade de Engenharia de Sorocaba FACENS.

I Seminário de Estruturas de Concreto/RJ

Cara Prof. Andréia Sarmiento

Parabéns aos colegas da Diretoria Regional do IBRACON-RJ pela iniciativa. Já está ficando difícil chamar de "novas" as nossas Normas Brasileiras de projeto de estruturas de concreto, quanto mais falar de "impacto" de algo que já é obrigatório há mais de 3 anos. Mas sempre é bom voltar ao assunto e quem puder deve comparecer. Felicidades também ao grande Professor e Amigo Wanderley Guimarães Corrêa. Será certamente uma grande apresentação.

Egydio Hervé Neto. Sócio Fundador. Ventuscore Soluções em Concreto.

V ACI / Camet International Conference on Hpc, Manaus 2008

Relatório sobre os trabalhos de revisão de "papers" em Varsóvia

Paulo,

Que magnífico artigo/news escreveu para nós! Adorei! Iniciando com a descrição da Polônia de hoje, com dados históricos e tudo o mais. E depois, uma descrição da evolução das estruturas. Gostei muito.

Eng. Sonia Regina Freitas. Sócio Ouro. Diretor Secretário do IBRACON.

4ª Grande Revolução na Arte de Projetar e Construir Estruturas

Estimado Paulo,

Agradezco especialmente a tí y al IBRACON por el envío de este excelente artículo/news.

Ing. Carlos Stapff. Sócio Ouro. Diretor da CONCREXUR, Uruguai.

Obs.: o IBRACON recebeu outras mensagens positivas similares a esta sobre este artigo "Arte de Projetar e Construir Estruturas", visão histórica e perspectivas futuras. Por razões de espaço e de evitar repetições, não estão sendo publicadas. Agradecemos o estímulo e a concordância com a visão. Artigo similar será publicado em revista.

Prêmio Oscar Niemeyer

Caro amigo Paulo Helene,

A proposta de criar no IBRACON o Prêmio Arq. Oscar Niemeyer é sensacional e digna da grande gestão que está realizando. A quebra do protocolo de homenagear pessoas em vida, ao meu ver, foi muito adequada e correta. Este fato poderá servir de abertura para que, em um tempo próximo, possamos homenagear profissionais como você, que, apesar de ser muito mais jovem que Niemeyer, teve em sua área de atuação uma

produção intelectual e profissional equivalente e de alta relevância para o país. Se me permitir fazer uma sugestão, proponho que a Diretoria e o Conselho do Ibracon indiquem para receber o primeiro prêmio o próprio Arq. Oscar Niemeyer, com todo louvor e justiça. Porém, como acho difícil que ele vá até o evento receber a Homenagem, sugiro que o Presidente, a Diretoria e o Conselho do IBRACON façam esta entrega pessoalmente no Rio de Janeiro, sendo a solenidade filmada e apresentada na abertura da entrega dos prêmios durante o evento. Talvez o jornalismo da TV Globo possa ser contatado e estar presente, para registro em rede nacional e internacional.

Paulo Terzian. Sócio Diamante. Professor e consultor.

Caro Paulo,

Considero uma justa e necessária homenagem. Estou de acordo.

Prof. Geraldo Cechella Isaia. Sócio Fundador. Conselheiro e Editor de Livros do IBRACON.

Prezado Paulo,

Seria ótimo se o Arq. Oscar Niemeyer entregasse o primeiro prêmio. Seria certamente aplaudido de pé por um bom tempo pela platéia.

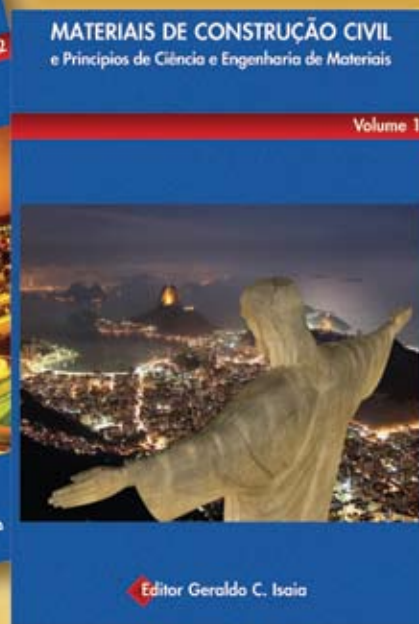
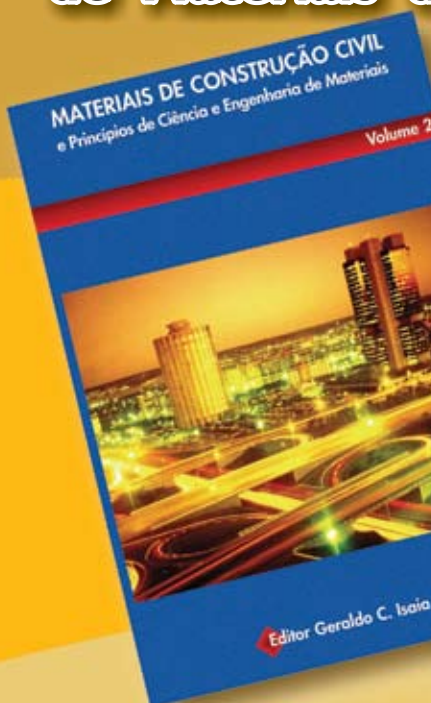
Newton Newton Goulart Graça. Sócio Mantenedor. Furnas Centrais Elétricas. Conselheiro IBRACON.

Prezados amigos,

Concordo com a idéia proposta pelo Paulo Helene. Devemos quebrar mais este paradigma de homenagear somente profissionais que se foram!!

Julio Timerman. Sócio Ouro. Diretor de Certificação de Pessoal do IBRACON.

Inscreva-se no 49º Congresso Brasileiro do Concreto 49CBC2007 e receba o seu exemplar grátis do mais completo compêndio de Materiais de Construção Civil.



Lançamento dia **02/09/07**, domingo, **Bento Gonçalves, RS**. Traje social. Coquetel oferecido pela **ArcelorMittal Brasil** (Belgo, sócio-mantenedor) que também patrocina esta edição.

Ficha técnica

- 2 volumes
- 1.700 páginas
- 12 partes
- 52 capítulos
- 85 autores
- Capa dura, padrão IBRACON de qualidade



Paulo,

Já tínhamos conversado sobre o nome do Arq. Oscar e eu entendo ser um nome e homenagem merecida. Concordo plenamente.

Rubens Machado Bittencourt. Sócio Diamante. FURNAS Centrais Elétricas. Conselheiro e Diretor do IBRACON.

Obs.: o IBRACON recebeu muitas outras mensagens positivas similares a esta sobre este tema. Por razões de espaço e de evitar repetições, não estão sendo publicadas. Agradecemos o apoio à instituição desse prêmio.

Estação Pinheiros do Metrô / SP

Caro colega Paulo Helene,

Não sei se você lembra de mim. Sou Perito da Polícia Científica em São José do Rio Preto. Há alguns anos, você esteve em meu escritório juntamente com outro engenheiro solicitando-me cópias das fotografias que ilustrei meu Laudo Pericial de Desabamento de estrutura, referente a um acidente ocorrido na quadra poliesportiva da escola de uma cidade aqui da região matando uma criança na hora do recreio. Relembro este fato, apenas para me identificar um pouco mais, pois, sou engenheiro civil e já estivemos juntos em outros eventos aqui em S. J. Rio Preto. Na certeza e convicção que você procurou se informar sobre o acidente ocorrido na Estação Pinheiros de Metrô, solicito alguma informação a respeito deste fato. Se não for possível um diagnóstico, pelo menos uma hipótese de trabalho sobre as possíveis falhas ocorridas. O objetivo desta solicitação é de, apenas e exclusivamente, matar a minha curiosidade a respeito.

Jorge Abdanur. Perito da Polícia Científica.

Prezado Jorge,

Devido à complexidade e implicações do caso, manifestei-me publicamente por várias vezes e registrei meus depoimentos para consulta pública na website do IBRACON. Por favor, acesse www.ibracon.org.br – Estação Pinheiros do Metrô / SP – Linha 4

Paulo Helene, Diretor Presidente

Paulo,

Congratulo-me com o prezado amigo por sua vitória junto à revista Época! Temi que não houvesse destaque da resposta, mas saiu a contento.

Eng.º Civil Marcos Caruaíba. Sócio azul. Consultor e Projetista de Estruturas.

Prezado Paulo,

Agradeço a atenção em enviar-me o esclarecimento da revista Época, embora desnecessário para mim, pois jamais atribuiria a você declarações tão injuriosas e levianas.

Antonio Carlos Reis Laranjeiras. Sócio e Conselheiro do IBRACON. Consultor e Projetista de Estruturas

Obs.: o IBRACON recebeu muitas outras mensagens positivas similares a esta sobre este tema. Por razões de espaço e de evitar repetições, não estão sendo publicadas. Agradecemos a solidariedade de tantos amigos sinceros.

Consulta ACI sobre Estruturas de Concreto

Prezado Paulo Helene,

Segue resposta à consulta efetuada pelo ACI, referente a características das estruturas aqui no Brasil. Vale salientar que esses índices variam muito em função da tipologia e uso da estrutura, características de execução, etc.

1. Qual o valor médio usual de consumo de aço (armadura) em kg/m² em estruturas de edifícios

habitacionais considerando 3 grupos:

– baixo até 5 pavimentos = 16 kg/m²

– médio de 6 a 15 pavimentos = 20 kg/m²

– alto acima de 15 pavimentos = 24 kg/m²

2. Qual o consumo médio usual de concreto em m³/m² em estruturas de edifícios habitacionais considerando 3 grupos:

– baixo até 5 pavimentos = 0,17 m³/m²

– médio de 6 a 15 pavimentos = 0,19 m³/m²

– alto acima de 15 pavimentos = 0,21 m³/m²

Esperamos que ainda haja tempo para que V.Sas. possam considerar nossa contribuição. Essas características das estruturas, bem como, as experiências em outros países são muito importantes para a ABECE e seus associados.

Marcos Monteiro – Vice-Presidente ABECE.

Prezado Marcos,

Agradecemos o empenho e resposta. Os dados foram enviados ao ACI e assim que se disponha de alguma publicação ou relatório de processamento dos mesmos junto com os dados americanos e de outros países, o IBRACON fará chegar ao seu conhecimento.

Obrigado.

Paulo Helene, Diretor Presidente

Balanco da Gestão

Caro Paulo Helene,

Gostaria de agradecê-lo pela Revolução que você trouxe ao IBRACON e à Revista CONCRETO & Construções nestes últimos anos. Foi e tem sido um grande prazer compartilhar estas conquistas com você e nossos demais colegas. O IBRACON deve muito a você e sua contribuição futura também será essencial para consolidarmos todo o progresso que fizemos sob sua liderança. Parabéns e muito obrigado pelas oportunidades e avanços que fizemos. Conte conosco para tentarmos manter as conquistas e melhorarmos ainda mais o nosso IBRACON.

Túlio Bittencourt. Sócio Ouro.

EPUSP-PEF. Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento do IBRACON

Prezado amigo Prof. Túlio,

Os avanços só são conseguidos com união e trabalho de muitos. Nós todos do meio técnico, e eu em especial, é que tenho a agradecer o grande destaque de sua dedicação incondicional à missão do IBRACON, durante estas duas gestões onde tive a honrosa oportunidade de atuar como Presidente. Muito obrigado.

Paulo Helene, Diretor Presidente

Prof. Paulo Helene,

Aproveito para parabenizá-lo por tudo o que você tem feito para (e por) todos nós. A Ciência e a Engenharia serão eternamente gratas.

Gladis Camarini. Sócio Ouro. Professora UNICAMP.

Parcerias Institucionais

Estimado Paulo,

Cuenta con el IMCYC, anunciaremos el Congreso 49CBC2007, en nuestra pagina web y ligaremos con página web de IBRACON, y confirmamos nuestra presencia en ese importante Congreso de Concreto. Un caluroso saludo.

Daniel Dámazo. Presidente do Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto IMCYC.

Concreto Ecológico

Prezado Prof. Salomon,

Estou produzindo um trabalho para a Faculdade sobre concreto ecológico e gostaria de saber se o Instituto Brasileiro de Concreto possui algum artigo sobre o tema. Acessei o site do Instituto e da Revista CONCRETO & Construção e não obtive informações referentes a este tema e nem informações de algum departamento técnico, por isso lhes encaminho este e-mail. Peço a gentileza de encaminhar esta solicitação ao CT do Meio Ambiente, alguém com conhecimento sobre o tema que possa me ajudar ou link's/sites referente ao assunto. Antecipadamente muito obrigado pela atenção de todos.

Guilherme dos Santos. Sócio estudante.

Caro Guilherme,

Existem vários concretos que podem ser considerados ecológicos, por exemplo, os que utilizam em sua produção: agregados reciclados, garrafas Pets e, em geral, toda e qualquer espécie de resíduos. O Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil já publicou mais de 200 artigos no decorrer de suas 7 versões. Creio que seria uma opção para você começar por consultar os diversos artigos que podem ser localizados nos Anais desses eventos. Se necessitar de informações mais específicas, é só entrar em contato com o CT-MAB do IBRACON.

Prof. Salomon Levy, Presidente do CT-MAB do IBRACON

Formulário determina tipo ideal de concreto para cada obra

Prezado IBRACON,

A Ficha de Concreto, metodologia criada em Campinas para estimular a compra deste material de acordo com normas técnicas, é exemplo para empresas de todo país. Estimuladas pelos engenheiros Carlos Massucato e Arnoldo Wendler, as companhias atuantes na região de Campinas foram as primeiras a acatar o padrão de compra previsto na ficha. Para Massucato, Diretor Regional do IBRACON em Campinas e gerente técnico da Cauê/Concrepav, o objetivo do formulário é proporcionar o desenvolvimento do setor também em normatização, garantindo que a especificação gerada pelo projetista seja respeitada até a contratação dos serviços de concretagem. A Ficha de Concreto leva em consideração as especificações do material e o ambiente externo. "Com dados padronizados, a comunicação entre projetista, construtora e concreteira fica mais clara. É possível respeitar as normas e reduzir custos calculando quanto e que tipo de concreto está sendo comprado", explica Massucato. Outras empresas do Estado de São Paulo estão seguindo os passos da Diretoria Regional de Campinas e passam a utilizar a Ficha de Concreto. Massucato afirma que nas regiões onde a ficha foi divulgada 60% do concreto orçado pela Cauê/Concrepav já se baseou no padrão criado. A Ficha de Concreto é um dos projetos desenvolvidos no 1º ciclo do programa de melhorias, implementado na Comunidade da Construção, e participará da "2ª Mostra de Resultados" e do "2º Prêmio Melhores Práticas", promovido pelo programa em todo país.

Comunidade da Construção

Acidente aéreo

Estimado Paulo,

Quisiera expresarles a través de la presente nuestro sentimiento de pesar por la grave tragedia aérea ocurrida en el aeropuerto de Congonhas. En particular a los afectados por las pérdidas de parientes y amigos, y en general a todos nuestros hermanos brasileños. Elevamos nuestra oración al altísimo por las almas de los fallecidos. Con sentimiento,

Paulo Yugovich. Sócio ouro. Consultor y Professor. Paraguai

Querido Profesor Paulo,

Lamento tanto lo ocurrido en el aeropuerto!!! Siento una profunda tristeza y un dolor inmenso y espero que ustedes estén bien. Quiero hacerles llegar mi cariño a usted y a todos mis amigos de San Pablo y Porto Alegre, un beso y un gran abrazo, con mucho dolor,

Dra. Ing. Civil María Josefina Positieri. Sócio ouro. Profesora Titular. Investigadora GINTEMAC. Argentina

Dear Paulo,

Kumar is away to Toronto and will be back next week. Kumar and I are very grieved to hear the tragedy of the plane crash and our thoughts are with you. Hope you and your family are OK. With very best wishes.

Shanti / Mehta

Queridos amigos,

Realmente estamos consternados con el accidente aéreo en San Pablo. Son realmente terribles las imágenes que se reciben por TV. Un abrazo solidario y nuestros deseos de que estén Uds. todos bien al igual que familiares y amigos. América está de duelo.

Raúl Husni y Sol

Estimados amigos,

Solidarizo-me com vocês pelo sentimento de profunda tristeza e pesar por esse acidente trágico ocorrido em São Paulo com um vôo vindo de Porto Alegre. Obrigado pelas lindas e comoventes mensagens.

Paulo Helene, Diretor Presidente

Obs.: o IBRACON recebeu outras mensagens similares a esta sobre este tema. Por razões de espaço e de evitar repetições, não estão sendo publicadas. A todos nosso muito obrigado por tantas manifestações de pesar pelos acidentados.

Sócio honorário

Meu caro Presidente e amigo Paulo Helene,

Acabo de receber e abrir um pacote do IBRACON e encontro um convite para a reunião em Bento Gonçalves nos dias 1 a 5 de setembro do corrente e a notícia de que a Assembléia Geral, reunida em setembro de 2006, o Conselho Diretor e a Diretoria do IBRACON me concederam o título de "Sócio Honorário". Fico muito honrado por esse título e por ficar numa lista ao lado de engenheiros pelos quais tenho o maior respeito. Acho que não mereço essa grande honra, que me foi concedida em grande parte pela generosidade dos meus colegas e do meu presidente. Conte comigo na reunião. Quando estiver mais perto da data, reservarei hotel para 31 de agosto, com saída em 5 ou 6 de setembro, conforme o horário a ser publicado. Parabéns pelo seu trabalho como presidente. Nunca o IBRACON foi tão atuante como agora e admiro muito o volume de trabalhos que você criou, dirige e orienta.

Lauro Modesto. Sócio Diamante. Professor da EPUSP, Consultor de Concreto

Walton Pacelli de Andrade



Engenheiro Civil e Eletrotécnico – Consultor Independente em Tecnologia de Concreto.

Graduado pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora em 1963.

Ex-engenheiro de Furnas Centrais Elétricas, empresa em que trabalhou no período de 1964 a 2002. No período de 1991 a 2002, chefiou o departamento de Apoio e Controle Técnico em Goiânia, onde está localizado o Centro Tecnológico de Engenharia Civil. Este departamento dá suporte para a construção e recuperação de obras para a empresa e presta serviços de consultoria para terceiros.

Pacelli foi membro da junta de consultores para os seguintes projetos:

- ◆ UHE Tucuruí 2ª fase – 1999/2002
- ◆ UHE Capanda (Angola) 1988/2002
- ◆ UHE's Salto Caxias e Derivação do Rio Jordão – 2001
- ◆ UHE Dona Francisca – 1997/2001
- ◆ UHE Yaciretá (Argentina/Paraguai) 1987/1988
- ◆ Barragem de Katse (Lesotho – África do Sul) 1993/1995
- ◆ UHE's Monte Claro, Castro Alves e 14 de Julho – Projeto Ceran 2002/2007
- ◆ Complexo Energético Fundão/Santa Clara – 2004/2007
- ◆ Proyecto Hidroeléctrico Pinalito (República Dominicana) 2005/2007
- ◆ UHE Foz do Chapecó 2007/2007

Prestou serviços de consultoria para Concreto em mais de 50 barragens no Brasil e no exterior. Possui mais de 100 trabalhos publicados. É editor do livro “Concretos: Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo”.

IBRACON – *O que é uma estação de tratamento de esgoto?*

Walton Pacelli de Andrade – Desejo esclarecer que não sou um especialista em tratamento de esgoto, mas um engenheiro com experiência em controle tecnológico do concreto para obras de saneamento.

Uma estação de tratamento de esgoto, de acordo com a Dra. Michele Batista, consta de tanques sem tampa, que podem ser circulares ou retangulares,

sendo os primeiros com 45 m de diâmetro, que são assentados em uma base de concreto armado.

De acordo com os especialistas da COPASA, uma estação de tratamento de esgoto é composta de diversas estruturas de concreto que, como no caso de ETE Arrudas, são: tratamento primário; decantador primário; tanque de aeração; e decantador secundário.

Através de um emissário de concreto, o efluente é conduzido em condutos forçados aos decantadores principais, responsáveis pela remoção dos sólidos em

suspensão, tanto sedimentáveis como flutuantes. Após a decantação, o líquido passa para os tanques de aeração, onde é removida a matéria orgânica pela ação de microorganismos aeróbios, formando uma biomassa em suspensão, que será submetida à aeração artificial, mediante fornecimento de oxigênio. Então, o líquido passa para os decantadores secundários, onde ocorre a separação sólido/líquido do efluente, onde se processa a separação pela remoção dos sólidos e o líquido é escoado para a rede de água fluvial existente.

Na fase sólida, elevatórios enviam o excesso do lodo para as adensadores, onde o lodo re-circula continuamente no fundo dos decantadores secundários, de onde passam para os tanques de aeração. Na parte final, a fase sólida sai dos adensadores, sendo conduzida aos digestores anaeróbicos primários e secundários, onde ocorre a estabilização da matéria orgânica e a desidratação do lodo por processo mecânico.

IBRACON – Quais são as obras em concreto no setor de saneamento? Quais as principais dificuldades técnicas no projeto, execução e controle tecnológico destas obras?

Walton Pacelli de Andrade – As barragens para armazenamento da água e as obras auxiliares para o desvio do rio, tomada de água e vertedouro. As obras de adução para o transporte de água podem ser feitas em canais de cimento, tubulação de concreto ou de aço, que alimentam as estações de tratamento de água. As redes de esgoto, que, na maioria das vezes, são de tubos de concreto que conduzem as águas para as estações de tratamento de esgoto.

As dificuldades técnicas do projeto, execução e controle tecnológico são as mesmas enfrentadas para as grandes obras de concreto, notadamente as construções de hidroelétricas. No que diz respeito às estações de tratamento de água e de esgoto, há que se levar em consideração os agentes químicos presentes na água (o mesmo se aplica para as obras de transporte de água). Para se garantir a durabilidade do concreto, as normas estabelecem os requisitos necessários de acordo com a exposição aos agentes agressivos. A NBR 6118:2003 prescreve com clareza a qualidade do concreto em função da classe de agressividade.

A grande preocupação dos engenheiros que constroem as obras de concreto para saneamento é a

qualidade para garantir a sua durabilidade, por causa da sua importância para a sociedade.

IBRACON – Como foi o desenvolvimento da engenharia de obras de saneamento no país?

Walton Pacelli de Andrade – O desenvolvimento das obras de saneamento no Brasil, como em todas as obras de engenharia, acompanhou a evolução do que ocorreu em outros países.

O registro da aplicação do concreto em obras de saneamento remonta à utilização de argamassa fabricada com cimento natural na construção da Cloaca Máxima de Roma 800 a.C., parte da qual ainda se encontra em serviço.

A aplicação de tubos de concreto para esgotos em obras de saneamento foi iniciada na América em 1840.

As grandes obras de saneamento, como as das estações de tratamento de água e de esgoto, tiveram a mesma evolução das obras de engenharia hidroelétrica.

A Organização Mundial de Saúde estabeleceu como meta para o final de 2025 que 2,9 bilhões de pessoas tenham acesso a água tratada e 4,2 bilhões tenham a garantia de saneamento.

Por outro lado, com o tratamento da água de esgotos, ela pode ser utilizada em projetos de irrigação reduzindo a sua carência para abastecimento residencial.

IBRACON – Pode-se afirmar que a engenharia brasileira desenvolveu conhecimento próprio para o projeto, execução e controle das obras de saneamento, ou o conhecimento formado vem basicamente de fora?

Walton Pacelli de Andrade – No mundo moderno, a velocidade da troca de informações, através de seminários e congressos, propicia o desenvolvimento dos conhecimentos de obras de engenharia, dificultando a separação entre o que é característico de um determinado país. Nas grandes obras de engenharia, os conhecimentos adquiridos são assimilados continuamente no meio técnico.

Nos projetos, na execução ou no controle da qualidade, houve uma evolução significativa com a adoção de técnicas de asseguramento da qualidade, que teve como marco inicial a construção da primeira Usina Nuclear de Angra dos Reis, na década de 70.

A grande preocupação dos engenheiros que constroem as obras de concreto para saneamento é a qualidade para garantir a sua durabilidade, por causa da sua importância para a sociedade.

Algumas obras nacionais no setor de saneamento merecem destaque, como a da estação de tratamento de água de Guandu, da Cedae (Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro), no Rio de Janeiro, e a estação de tratamentos de esgoto do Ribeirão Arrudas, da Copasa (Companhia de Saneamento de Minas Gerais), em Belo Horizonte. A Cedae recebeu a confirmação de que a Estação de Tratamento de Água do Guandu será incluída no "Guinness" como a maior do mundo. A certificação foi confirmada esta semana pelo diretor Internacional de Recordes do Guinness, Marco Frigatti, por e-mail. O texto reconhece o título e descreve os processos utilizados para tratar a água que abastece 9 milhões de pessoas em oito cidades, incluindo o Rio de Janeiro. Apesar de ter sido inaugurada em 1955, o sistema só pôde ter a certificação este ano, após a outorga de uso da água obtida pela Cedae junto à Serla (Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas). Segundo a Cedae, a estação utiliza diariamente, uma média, de 100 toneladas de sulfato de alumínio ou cloreto férrico, 20 toneladas de cal virgem, 15 toneladas de cloro, 200 quilos de polieletrólito e sete toneladas de ácido fluorossilícico. Wagner Vícter, presidente da empresa, diz que a certificação eleva a Estação do Guandu à categoria de principal obra de engenharia do século 20 no Brasil.

IBRACON – *Quais são as principais patologias observadas em obras de saneamento? Quais as medidas preventivas e corretivas que podem ser adotadas?*

Walton Pacelli de Andrade – Para garantir a sanidade de qualquer estrutura de uma grande obra de engenharia, há que se eliminarem os riscos de ocorrência de patologia no concreto nas fases de projeto, construção e de vida útil (operação) dessas estruturas.

A ocorrência de reação álcali/agregado (RAA) em qualquer obra de engenharia é um fenômeno patológico indesejável e perfeitamente previsível à luz dos conhecimentos técnicos e científicos disponíveis na atualidade.

A execução de ensaios com os agregados para detectar a RAA visa eliminar esta patologia, principalmente nas obras hidráulicas, notadamente as ligadas às construções de obras de barragens, hidrelétricas e às obras de concreto para saneamento. Evitar a fissuração de peças estruturais de concreto em obras de saneamento é imperativo técnico para

garantir a sua durabilidade. As fissuras ocasionadas por variações volumétricas, devido às variações de temperatura do concreto, por causa das prescrições impostas nas especificações técnicas para a relação água/cimento ($\leq 0,50$) e para o teor de material cimentício ($\geq 350 \text{ kg/m}^3$), faz com que peças estruturais com menor espessura (de 40 cm) tenham que ser consideradas como concreto massa, exigindo, por isso, a análise de seu comportamento térmico. Concretos de paredes de tanques de estações de tratamento de água ou de esgoto podem necessitar de pré-refrigeração para se combaterem as fissuras de origem térmica.

As fissuras provocadas por recalques, deslocamento de fôrma durante o lançamento do concreto, retrações plásticas e por secagem, também têm que ser levadas em consideração. Medidas preventivas para evitá-las têm que ser tomadas.

Devido à natureza de sua utilização, algumas estruturas de concreto para obras de saneamento estão expostas a agentes químicos agressivos em caráter permanente, notadamente as estações de tratamento, bombeamento e transporte de esgotos, sendo estas últimas, na maioria das vezes, de tubos de concreto. O conhecimento da composição química destes agentes agressivos permite que se especifique a composição do concreto ou as medidas preventivas a serem adotadas para garantir sua durabilidade durante sua vida útil.

IBRACON – *O ensino de engenharia no país tem atendido as demandas técnicas do setor de saneamento básico?*

Walton Pacelli de Andrade – Basicamente, o ensino de engenharia ministra noções das normas técnicas, entre elas a NBR 6118:2003, que estabelece as diretrizes básicas para o concreto sujeito a agentes agressivos. Para situações mais específicas, os cursos de pós-graduação podem suprir as informações necessárias para uma qualificação adequada.

IBRACON – *Como o IBRACON tem contribuído para também atender estas demandas técnicas do setor?*

Walton Pacelli de Andrade – Penso que nos congressos promovidos pelo IBRACON o tema de durabilidade tem sido abordado com muita frequência, sendo importante iniciativa para conscientizar os engenheiros para fazerem obras mais duráveis. ♦

“
Para garantir a sanidade de qualquer estrutura de uma grande obra de engenharia, há que se eliminarem os riscos de ocorrência de patologia no concreto nas fases de projeto, construção e de vida útil (operação) dessas estruturas.”

A base de construções com qualidade começa por aqui




Os laboratórios da ABCP formam um grande centro de referência na prestação de serviços à cadeia produtiva da construção civil. Neles mais de 400 tipos de ensaios sobre propriedades mineralógicas, físicas, químicas e mecânicas em insumos, produtos, projetos e sistemas à base de cimento são realizados por profissionais qualificados em equipamentos de alta precisão e última geração.

Garanta a qualidade de seus produtos e a satisfação de seus clientes.

Conte com os serviços dos oito laboratórios da ABCP.

Laboratórios ABCP ao seu dispor

- | | |
|-------------------------------|----------------|
| ■ Argamassas Industrializadas | ■ Metrologia |
| ■ Cimento | ■ Mineralogia |
| ■ Concreto | ■ Química |
| ■ Meio Ambiente | ■ Solo-Cimento |

Para mais informações, acesse:
 www.abcp.org.br e clique em Serviços técnicos.



Associação
Brasileira de
Cimento Portland

Curso Patologia nas Obras Civis



Presidente do Sinduscon-PR, Eng. Júlio César de Araújo Filho; presidente Instituto de Engenharia do Paraná – IEP, Eng. Luiz Cláudio Mehl; coordenador da pós-graduação, Eng. Cesar Henrique S. Daher; diretor regional do IBRACON, Eng. César Zanchi Daher; coordenador do curso de Engenharia Civil da UTP, Prof. Luiz Capraro; e Pró-reitora de Pós-graduação desta mesma universidade, Prof. Elizabeth Sbardelini.

A Regional IBRACON Paraná, sob coordenação dos engenheiros Luís César Luca e César Henrique Daher, promove a 2ª turma do curso de pós-graduação em Patologia nas Obras Civis, ligado à Universidade Tuiuti do Paraná (UTP). O curso tem carga horária de 407 horas.

A palestra inaugural, ocorrida em 30 de março de 2007 no auditório do Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), foi proferida pelo presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helene, sobre o tema “Acidentes em obras de engenharia civil – lições aprendidas”. Estiveram presentes 250 pessoas, entre estudantes, profissionais e pesquisadores, parte no auditório do IEP e os demais no salão magno, que assistiram a palestra com transmissão simultânea.

Maiores informações no site <http://www.patologianasobrancivis.com.br>



Palestra inaugural do Prof. Paulo Helene

Café da manhã no Instituto de Engenharia

O IBRACON participou do evento Instituto de Engenharia e as Entidades, realizado em 21 de junho de 2007, na sede do IE, em São Paulo.

O objetivo do evento foi tratar de possíveis parcerias entre instituições congêneres.

O Prof. Cláudio Sbrighi, vice-presidente do IBRACON, compareceu ao Café da Manhã no IE, levando as propostas do Instituto para o fortalecimento da engenharia nacional.



Atividades realizadas pela Regional IBRACON-RJ

SEMINÁRIO NA UFF

A Regional IBRACON no Rio de Janeiro realizou, conjuntamente com a Universidade Federal Fluminense (UFF) e a Associação Brasileira de Pontes e Estruturas (ABPE), no dia 20 de junho de 2007, o Seminário Estruturas de Concreto, na Escola de Engenharia da UFF. O seminário contou com a presença de 84 profissionais.



ENCONTRO TÉCNICO COM ENGENHEIROS DA ELETRONUCLEAR

A diretora regional do IBRACON no Rio de Janeiro, Andreia Sarmiento, participou de reunião técnica com 15 engenheiros da Eletro-nuclear, ligados aos projetos da Usina Nuclear Angra III. A reunião abordou os avanços da tecnologia do concreto em termos de durabilidade das obras.

I SEMINÁRIO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO



Para discutir o impacto das normas NBR 6118, NBR 12655 e NBR 14931 nas construções em concreto, o IBRACON-RJ, a ABECE e o Sinduscon-RJ realizaram o I Seminário de Estruturas de Concreto. O evento foi realizado no dia 05 de julho de 2007.

O público lotou o auditório do Sinduscon-RJ para aprender e debater com os palestrantes convidados: eng. Justino Vieira (ABECE); prof. Geraldo Piccoli (UNISUAM); eng. Antero Parahyba (consultor); arq. Adriana Roxo (consultora); eng. Robson Dutra da Veiga (INSPEC); eng. César Pinto (CSP Consultoria); e prof. Wanderley Correa (WGS Consultoria).



Enio Pazini; Mauro Oliveira (sec. adjunto de Ciência e Tecnologia do Ceará), Antonio Colaço (reitor da UVA), Barros Neto (diretor do Centro de Tecnologia da UFC) e Francisco Carvalho (coordenador do CINPAR)

CINPAR consolida-se entre os mais importantes congressos na área de patologia e recuperação de estruturas da América do Sul

A Regional IBRACON no Ceará realizou, juntamente com a Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA) e o Instituto de Estudos dos Materiais de Construção (IEMAC), o 3º Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas – CINPAR 2007, de 7 a 9 de junho de 2007. O evento internacional contou com a participação de palestrantes, professores e pesquisadores de universidades nacionais e estrangeiras.

O Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas – CINPAR consolida-se, segundo o professor Enio Pazini Figueiredo, conselheiro do Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, como dos mais importantes congressos sobre patologia e recuperação de estruturas da América do Sul.

O nível técnico das palestras e o elevado índice de participantes vindos de

diversas regiões do país, especialmente do Sudeste, impressionou os palestrantes estrangeiros. O professor Petr Stepanek, da Universidade Tecnológica de Brno, na República Tcheca, afirmou: *“I thank you very much for the interesting congress. I think it was an excellent event, not only from local point of view, but from international point of view too. I will prepare some suggestion for preparation an international congress that could take a part not only in Brazil, but in Europe also”*.

O professor Francisco Carvalho, coordenador do evento, considera que o CINPAR 2007 foi um grande sucesso. “A presença de professores, alunos e pesquisadores oriundos de estados do Nordeste, Norte e Sudeste é uma demonstração inequívoca da importância do evento”, disse.



Evento “*O Momento Atual da Engenharia Brasileira*”: quinto debate

O Diretor Regional do IBRACON no Rio Grande do Sul, Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, representou o Presidente do Instituto, Prof. Paulo Helene, no quinto debate da série “O Momento Atual da Engenharia Brasileira”, iniciada em São Paulo, em 7 de março de 2007, após o acidente na estação Pinheiros do Metrô, para discutir o contexto técnico, legal e econômico dentro do qual a engenharia nacional é exercida.

Os eventos, promovidos pela Associação Brasileira de Mecânica dos Solos –ABMS, em parceria com o IBRACON, o Instituto de Engenharia de São Paulo, a ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia) e a ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural), foram organizados em cinco estados – além de São Paulo, no Rio de Janeiro, no Rio Grande do Sul, em Pernambuco e em Brasília – fomentando a discussão e registrando as opiniões de diferentes setores ao longo de todo o país.

O Prof. Alberto Sayão (PUC-RJ), presidente da ABMS, acompanhou todos os debates, registrando as propostas dos representantes das diferentes regiões para valorizar e qualificar a engenharia nacional, com vistas à elaboração de um documento que consolide as demandas do setor, que vai ser apresentado à sociedade e entregue às autoridades constituídas com o objetivo de estabelecer uma agenda positiva para a engenharia.

O quinto debate, apoiado e hospedado pelo CREA-DF, contou com a presença de importantes representantes da região, tais como a presidente do CREA-DF, Eng. Lia Sá; o presiden-

te da Agência Nacional de Águas (ANA), Eng. Rogério Menescal; o presidente da Associação Brasileira de Engenheiros Civis (ABENC-DF), João Carlos Pimenta; o Diretor da ABECE-DF, Eduardo Azambuja e o Diretor da Associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva (ASBRACO), Eng. João Carlos Pimenta.

Durante o evento, foram discutidos alguns dos tópicos mais importantes que emergiram nas discussões anteriores, tais como a proposta para implantação de um exame do conselho, nos moldes do exame da Ordem dos Advogados do Brasil (OAB), para garantir a qualidade dos recém-formados; a necessidade de se estimular a educação continuada, através da criação de mecanismos que valorizem as especializações, a experiência e os títulos acadêmicos; a rejeição do mecanismo de pregão para serviços de engenharia; a importância de preservar as atribuições dos engenheiros; a importância de garantir prazos e recursos adequados para a investigação geológica e projeto de obras de grande porte; a importância de se manter uma política ativa de monitoramento e manutenção de estruturas civis.

Ao final das discussões, se consolidaram mais algumas sugestões para o fortalecimento da engenharia, que serão incorporadas à carta que está sendo redigida pelas entidades promotoras da série de eventos e que será em breve divulgada ao grande público.

Um relato detalhado das discussões e propostas está sendo elaborado e será divulgado oportunamente aqui na revista CONCRETO.

IBRACON homenageia professor Marcello Moraes

A Diretoria Regional do Distrito Federal do IBRACON, o SINDUSCON-DF, a ABECE e a ABMS-Núcleo Regional Centro-Oeste homenagearam os 50 anos de atuação profissional do professor Marcello da Cunha Moraes, em evento comemorativo realizado no dia 25 de junho de 2007, no auditório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília (UnB).

Por ocasião da homenagem, o Prof. Paulo Helene proferiu a palestra "As quatro revoluções na arte de projetar e construir estruturas".

O Prof. Marcello Moraes formou-se em Engenharia Civil pela Escola Nacional de Engenharia Civil da Universidade do Brasil, em 1956. Foi professor na Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás e na Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.

Foi laureado com o Prêmio Ary Frederico Torres do IBRACON, destinado aos engenheiros destaques do ano pela realização de estudos na



área de Tecnologia do Concreto. Foi conselheiro e diretor regional do IBRACON.

O engenheiro elaborou mais de 1200 projetos na área de estruturas de concreto armado, protendido, fundações. Continua trabalhando na elaboração de projetos estruturais, projetos de fundações e projetos de reforço de estruturas e fundações. ◆

Workshop Internacional sobre as melhores práticas para Pavimentos de Concreto

Recife, Brasil • 21 a 23 de outubro de 2007



OBJETIVOS

Fórum Internacional para apresentação e discussão das melhores práticas para seleção e dosagem de concreto, projeto de pavimentos, sua análise estrutural, sua construção e manutenção, para estradas, vias urbanas, pisos industriais, portos e aeroportos.

PALESTRANTES

WS-I: Novas Tecnologias para Concreto de Pavimentação

Prof. Dr. Dan Zollinger, Texas AM University – Presidente da Sociedade Internacional para Pavimentos de Concreto (ISCP)

WS-II: Modernas Técnicas para Projeto de Pavimentos de Concreto

Dra. Kathleen Teresa Hall – Vice-Presidente da ISCP

WS-III: Evolução da Construção Mecanizada na Europa

*Prof. Dr. Willy Wilk, Swiss Federal Institute of Technology
Ex-Presidente da Associação Suíça de Cimento Portland*

WS-IV: Avaliação e Análise Estrutural por Modelagem Numérica

Prof. Dr. Lev Khazanovich, University of Minnesota – Autor Principal do Programa ISLAB de Elementos Finitos

WS-V: Modelos de Desempenho e Gerência dos Pavimentos

Prof. (Emeritus) Dr. Michael Darter, University of Illinois – Pesquisador e Consultor da ARA-ERES

WS-VI: Manutenção e Restauração dos Pavimentos após Longo Uso

Dr. Mark Snyder – Secretário Geral da ISCP

ORGANIZADORES

- INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO IBRACON • ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
- ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PERNAMBUCO • INTERNATIONAL SOCIETY FOR CONCRETE PAVEMENTS

Estruturas de reservatórios: conceitos de fissuração e sugestões para execução

Eduardo Christo Silveira Thomaz
Luiz Antonio Vieira Carneiro
Instituto Militar de Engenharia

1. Introdução

A fissuração do concreto é um dos principais problemas patológicos de uma estrutura de concreto, cujo surgimento pode ocorrer logo após a concretagem e se deve, em geral, a diversos fatores.

Em estruturas de reservatórios, as fissuras podem causar o comprometimento do desempenho destas, devido à falta de estanqueidade do concreto, levando à diminuição da sua durabilidade, e devem ser limitadas a uma abertura máxima característica igual a 0,1 mm.

Neste trabalho, apresentam-se algumas considerações a respeito de causas de ocorrência de fissuras em reservatórios de concreto não enterrados e teoria sobre o desenvolvimento de tensões ao longo das paredes de concreto e sugerem-se procedimentos quanto à dosagem do concreto e à execução das paredes de reservatórios.

Este trabalho é um breve resumo da palestra proferida pelo Prof. Eduardo Thomaz junto a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, em parceria com a Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural – ABECE, na

cidade de Belo Horizonte/MG em maio de 2006, sob coordenação da Prof. Andréia Sarmento e do Eng. Pietro Araugio, representantes da MC-Bauchemie Brasil.

2. Causas da fissuração do concreto

O concreto de algumas décadas atrás era formado basicamente por quatro componentes: cimento, areia, pedra e água. Hoje em dia, podem ser colocados pelos menos vinte componentes entre adições e aditivos, tais como material pozolânico, sílica ativa, fillers, pó mineral plastificantes, metacaulim, modificadores de pega (retardadores ou aceleradores), incorporadores de ar, redutores de água (plastificantes ou superplastificantes), e outros. Apesar do avanço

tecnológico no que se refere à dosagem do concreto, a fissuração do concreto é inevitável.

Além disso, o cimento de hoje é mais fino do que o de antigamente. Isto conduz a uma hidratação das partículas de cimento mais rápida, com liberação de calor de hidratação em menor intervalo de tempo e choque térmico do concreto após a

Figura 1 – Fases de Hidratação de Grãos de Cimentos Expressas pela Variação da Liberação de Calor em Função do Tempo

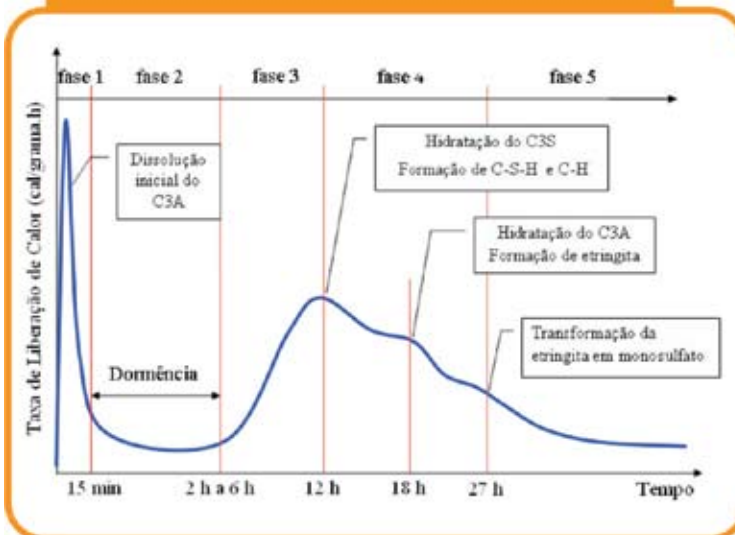
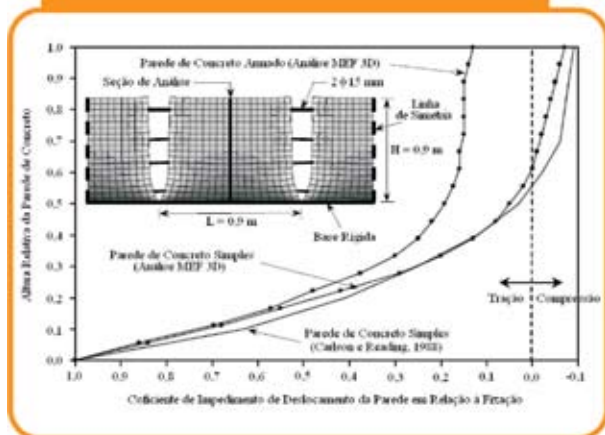


Figura 2 – Curvas de Relação entre o Coeficiente de Impedimento de Deslocamento da Parede de Concreto e a Distância Relativa à Base da Parede



retirada das fôrmas mais elevado, o que favorece a fissuração do concreto.

Como pode ser visto na Figura 1, a hidratação dos grãos de cimento se desenvolve em cinco fases distintas, expressa pela variação da taxa de liberação de calor em função da variação do tempo.

Na fase inicial (1), ocorre a dissolução do aluminato tricálcico (C_3A) na água com elevada liberação de calor em um curto intervalo de tempo, após o que inicia-se o período de dormência (fase 2), na qual a continuação da hidratação do cimento é prejudicada em consequência da formação de etringita na superfície dos grãos de cimento. A partir da fase (3), há a retomada da hidratação do cimento, havendo o aumento da taxa de liberação de calor. Na fase seguinte (4), a taxa de liberação de calor começa a decair, fruto da hidratação do silicato tricálcico (C_3S) e do C_3A , sendo formados os compostos silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), hidróxido de cálcio (C-H) e etringita (sulfoaluminato de cálcio). A seguir, na fase final (5), a hidratação passa a ser menor, com diminuição da taxa de liberação de calor até um nível constante, formando-se lentamente os produtos da hidratação C-S-H e C-H.

Várias são as causas da ocorrência de fissuras no concreto de paredes de reservatórios. Dentre elas, podem ser citadas:

- ◆ a coação externa que ocorre entre a laje do fundo e as paredes do reservatório, que é o impedimento de deslocamento que a laje de fundo provoca nas paredes do reservatório;
- ◆ a coação interna entre os agregados graúdos e a argamassa, ocorrendo por

parte dos agregados graúdos o impedimento da retração da argamassa de cimento por perda de água para a atmosfera;

- ◆ a coação interna entre a armadura interna e a argamassa, havendo o impedimento da argamassa de se retrair ao secar por parte da armadura;
- ◆ o fluxo de calor entre as camadas do concreto e entre o interior e a superfície externa da parede de concreto;
- ◆ a retração plástica na fase fresca do concreto nas primeiras horas;
- ◆ a retração autógena que ocorre no concreto vedado, sem haver troca de umidade com a atmosfera;
- ◆ a retração hidráulica por causa da perda de água do concreto para o ar;
- ◆ a retração térmica por resfriamento, ou seja, há a perda de calor do concreto para a atmosfera.

3. Tensões ao longo de paredes de concreto

A Figura 2 mostra, segundo algumas teorias, a distribuição de tensões ao longo da altura de paredes de concreto para relação unitária entre altura e vão da parede.

No eixo das abscissas, tem-se o grau de impedimento da parede em relação à fixação. O valor unitário expressa o total impedimento de deslocamento da parede do reservatório na base. À medida que este valor diminui, o deslocamento da parede ocorre. No eixo das ordenadas, tem-se a altura relativa da parede de concreto.

Abaixo da meia altura da parede de concreto, podem surgir tensões de tração, que aumentam de acordo com a proximidade da base da parede. Caso estas tensões ultrapassem o valor da resistência do concreto à tração, ocorre a fissuração do concreto e a parede pode romper por tração de concreto.

Segundo o ACI 207 (1995), as tensões de tração que ocorrem ao longo da altura da parede dependem principalmente da relação entre o vão e a altura da parede e do grau de impedimento de deslocamento da parede.

A distribuição de tensões de tração ao longo da altura da parede de concreto, de acordo com o ACI 207 (1995), para relação entre vão e altura da parede unitária ($L/H=1$) pode ser vista na Figura 3a. Nela observa-se que os maiores valores de tensões de tração ocorrem para distâncias relativas à base da parede de até 0,5. No caso de $L/H=4$, estas tensões atingem valores ainda maiores, conforme mostra Figura 3b.

Essas tensões de tração podem ser calculadas utilizando a seguinte equação:

Equação 1

$$\sigma_{ct} = E_c \varepsilon_{cs} K_R$$

Onde:

- E_c é o módulo de elasticidade longitudinal do concreto;
- ε_{cs} é a deformação de retração térmica do concreto, dada por:

Equação 2

$$\varepsilon_{cs} = \alpha \cdot \Delta t$$

Sendo:

- α o coeficiente de dilatação térmica do concreto;
- Δt a variação térmica;
- K_r é o coeficiente de impedimento de deslocamento.

As Equações 3 e 4 apresentam a relação entre o coeficiente de impedimento de deslocamento da parede de concreto e a distância relativa à base da parede d/H .

Equação 3

$$K_R = \left(\frac{L/H - 1}{L/H + 10} \right)^{d/H}, \text{ para } L/H < 2,5$$

Onde:

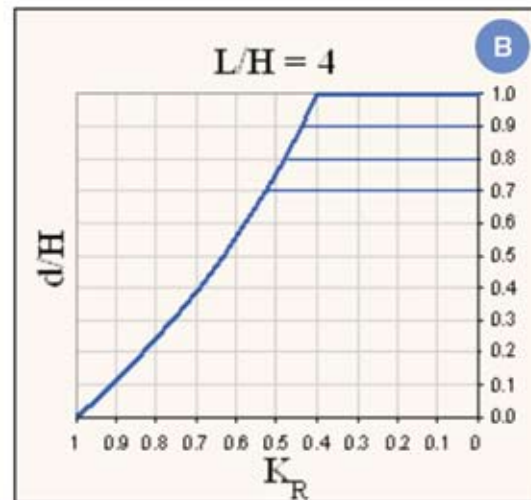
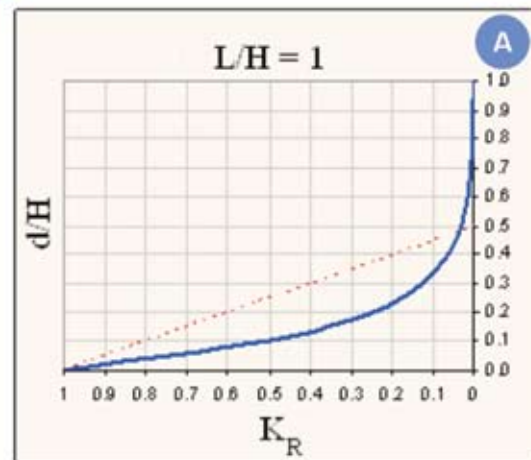
- L é o vão da parede;
- H é a altura total da parede;
- d é a distância medida a partir da base da parede.

Para o caso de $L/H = 4$,

Equação 4

$$K_R = \left(\frac{L/H - 2}{L/H + 1} \right)^{d/H}, \text{ para } L/H = 2,5$$

Figura 3 – Distribuição de Tensões de Tração Segundo ACI 207 (1995) para Paredes de Concreto



4. Deformações de tração em paredes de concreto

Na Figura 4 pode ser visto um exemplo de ocorrência de fissuras em barreira rodoviária com base fixa, similar ao que acontece em paredes de um reservatório.

A taxa de armadura interna da barreira era igual a 0,40% e os valores medidos de abertura média de fissura e de espaçamento entre fissuras eram de 0,20 mm e 800 mm.

Fazendo a relação entre a abertura média de fissura e o espaçamento entre fissuras, tem-se a deformação média do concreto à tração igual a 0,25 ‰, cujo valor é similar ao encontrado em obras de concreto com retração térmica. Caso não houvesse travamento da base da barreira rodoviária, não teria havido esta deformação do concreto à tração. Com o uso da Equação 2, considerando α e Δt iguais a $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$ e $25 \text{ } ^\circ\text{C}$, chega-se a mesmo valor para ε_{cs} de 0,25 ‰.

Figura 4 – Exemplo de Fissuras por Retração Térmica em Barreira Rodoviária (Cusson e Repette, 2000)



Em vista disso, recomenda-se que a variação térmica entre o início e fim de concretagem não ultrapasse 25 °C. Para isto, é consenso no meio técnico que o concreto de paredes de reservatório deva ser resfriado entre 10 °C e 15 °C antes do seu lançamento.

Valores de deformação do concreto à tração em função da resistência do concreto à compressão, obtidos em ensaios de ruptura por flexão feitos pelo Laboratório de Furnas, podem ser visualizados na Figura 5.

Verifica-se que, para faixa de valores de resistência do concreto à compressão de 20 MPa a 30 MPa, os valores de deformação do concreto à tração na ruptura situam-se entre 0,20 ‰ e 0,25 ‰, cujos valores são os adotados para concreto de parede de reservatório na idade de 28 dias.

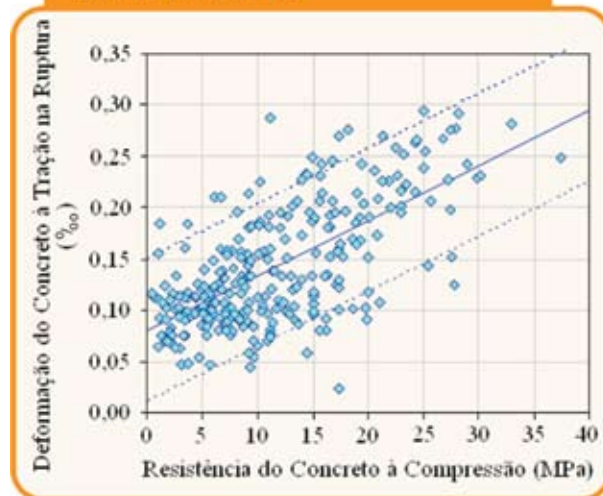
Resultados de deformação do concreto à tração em função da resistência do concreto à tração na flexão, provenientes de ensaios de ruptura por flexão de vigotas de concreto feitos entre os anos de 1903 e 2002, estão reunidos na Figura 6.

Observa-se que, para valores de resistência do concreto à tração na flexão entre 2,5 MPa e 4,5 MPa, valores estes compatíveis para concretos de resistência à compressão de cerca de 20 MPa a 30 MPa, os valores de deformação do concreto à tração variam de 0,15 ‰ a 0,25 ‰. Apesar da evolução do tempo de cerca de cem anos, o concreto continua apresentando valor médio para sua deformação à tração em torno de 0,20 ‰.

5. Sugestões para execução de paredes de concreto

Com base na prática, teoria e verificações de ensaios anteriormente citados, as sugestões

Figura 5 – Valores de Deformação do Concreto à Tração na Ruptura em Função da Resistência do Concreto à Compressão (PACELLI, 1997)



para se evitar ou reduzir a abertura de fissuras nas paredes de concreto de reservatórios não enterrados são as seguintes:

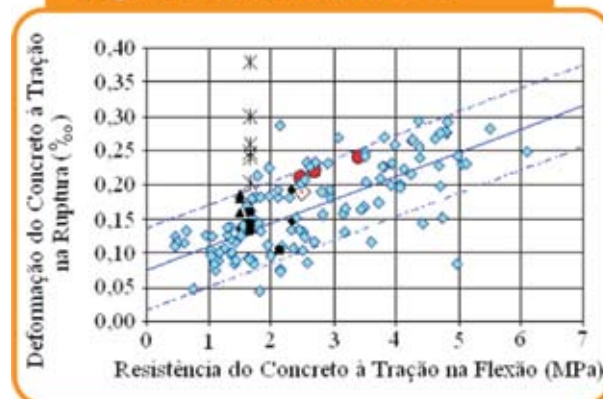
Em relação ao cimento:

- ♦ usar cimento com baixo calor de hidratação e com baixo teor de C_3A .

Em relação à temperatura:

- ♦ utilizar gelo na água de mistura de concreto, tal que a temperatura de lançamento do concreto seja cerca de 15 °C;
- ♦ resfriar o concreto lançado com água gelada circulando em serpentinas;

Figura 6 – Valores de Deformação do Concreto à Tração na Ruptura em Função da Resistência do Concreto à Tração na Flexão Segundo Diferentes Autores



- ◆ resfriar o concreto da parede, junto da laje do fundo. Não é necessário resfriar o concreto no topo da parede.

Em relação às fôrmas:

- ◆ empregar fôrmas de madeira com duas folhas, formando uma câmara interna de ar confinado. Esse ar confinado serve como isolamento térmico. O resfriamento é muito mais lento e o concreto tem tempo para ganhar resistência à tração;
- ◆ retirar as fôrmas após uma redução lenta da temperatura no concreto;

- ◆ não usar fôrmas de aço, pois resfriam muito rapidamente o concreto.

Em relação à armadura interna:

- ◆ distribuir a armadura em várias camadas e não apenas nas duas faces externas;
- ◆ espaçar as barras da armadura em torno de 7ϕ ;
- ◆ adotar taxa de armadura total de ferro horizontal de costela igual a 1,5 %, que é aproximadamente igual à taxa usada nas zonas tracionadas de vigas de concreto.

Referências Bibliográficas

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995, Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete, ACI Committee 207.2R.

CARLSON, R. W., READING, W. L., 1988, Model Study of Shrinkage Cracking in Concrete Building, ACI Structural Journal, v. 85, issue 4, jul., pp. 395-404.

CUSSON, D., REPETTE, W. L., 2000, Early Age Cracking in Reconstructed Concrete Bridge Barrier Walls, ACI Materials Journal, July-August.

PACELLI, W. A., 1997, Concretos - Ensaios e Propriedades, Laboratório de Concreto, Furnas, Editora Pini. ◆

Programa MasterPec Master em Produção de Estruturas de Concreto

Cursos programados para o 49º Congresso Brasileiro do Concreto,
em Bento Gonçalves RS



Sábado, 1º de Setembro de 2007

Manhã – 9h00 às 10h30
Coffee Break – 10h30 às 11h00
11h00 às 13h00

Sala 1

Concretos especiais conforme as atuais normas brasileiras

O curso irá abordar temas como fluxo dos materiais (ensaios em uma central dosadora); tecnologia do concreto; definição de concreto; concretos especiais; responsabilidades (NBR 12655); agressividade do meio ambiente (NBR 6118); especificação e aceitação do concreto.

Arcindo Vaquero y Mayor

Engenheiro Consultor da ABESC, com 30 anos de experiência em tecnologia do concreto. Fez diversos cursos de aperfeiçoamento nos Estados Unidos e na Suíça. Responsável por mais de 15 milhões de m³ de concretos entregues no Brasil

Patrocinador



Sala 2

Patologia das Estruturas de Concreto

Apresenta o estado da arte em patologia e durabilidade do concreto. Expõe a metodologia de inspeção, diagnóstico e prognóstico. Discute, através de estudos de casos, a importância da realização de um diagnóstico correto para o sucesso de uma intervenção.

Paulo Barbosa

Engenheiro Consultor, especialista em patologia e terapia das estruturas. Pesquisador da EPUSP.

Patrocinador



Carga horária: 4 horas – Local: FUNDAPARQUE
Inscrição: www.ibracon.org.br

Informações: Marta
Tel.: 11 3735-0202 – marta@ibracon.org.br

Pára-raios estrutural dentro do concreto armado

Normando Virgílio Borges Alves
Termotécnica Indústria e Comércio Ltda

Introdução

As normas que regulamentam a instalação de SPDA-Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas ficaram adormecidas por aproximadamente 20 anos, quando, em 1993, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) atualizou estas normas, as quais passaram a se denominar NBR 5419/93 e tiveram como referência as normas da IEC (International Electrical Commission).

Com a edição desta norma em 1993, e atualizações em 2001 e 2005, muitos conceitos foram atualizados e novas técnicas passaram a compor os novos sistemas de proteção fazendo que atingissem eficiências muito boas. Das novidades posso destacar as principais:

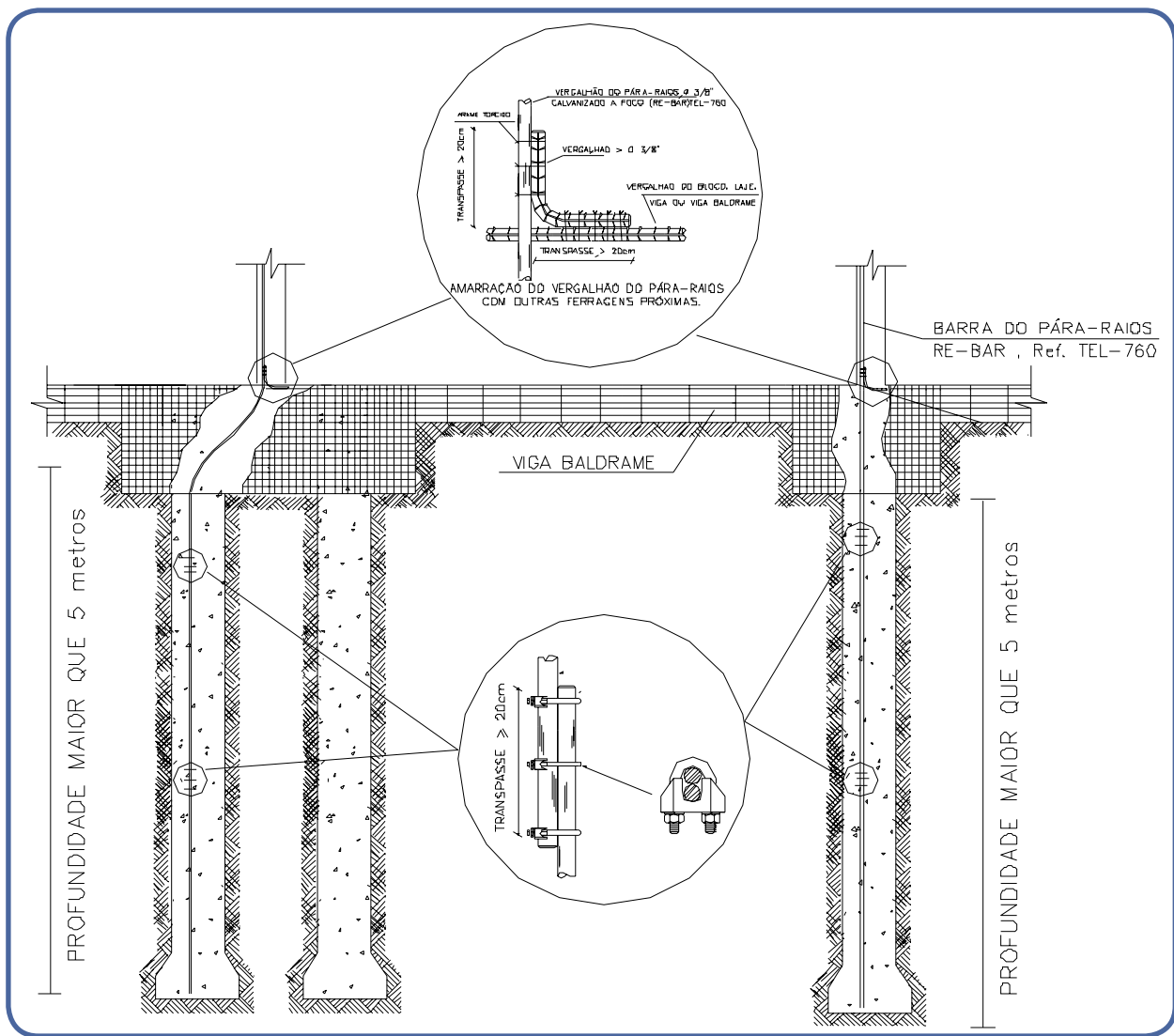
- ◆ Os condutores de descida não precisam mais ficar afastados 20 cm da fachada;
- ◆ Os condutores de descida têm que obedecer a um distanciamento entre condutores, o qual depende do nível de proteção;
- ◆ A instalação de anéis de cintamento a cada 20 metros de altura para prevenção contra descargas laterais;
- ◆ A equalização de potenciais entre todas as malhas de aterramento e todas as massas metálicas;
- ◆ A possibilidade de usar a estrutura de concreto armado das estruturas.

É sobre este último item que pretendemos direcionar este trabalho.

A norma dá duas opções para este sistema. O primeiro consiste em apenas usar as ferragens do concreto armado como descidas naturais; e o segundo, seria o uso de uma barra de aço galvanizada a fogo adicional às ferragens existentes, com a função específica de garantir a continuidade, desde o solo até o topo do prédio.



A segunda opção existe porque não podemos garantir que as ferragens tenham uma continuidade elétrica garantida em todo seu trajeto, até porque essas amarrações que poderiam garantir a continuidade dos pilares não são estruturalmente obrigatórias de serem realizadas, depende do armador que está executando o serviço e sempre que for feita a redução da seção de pilar essa continuidade não poderá ser garantida. Numa obra civil existem tantos problemas executivos que podem interferir nessa continuidade que qualquer engenheiro civil poderia enunciar facilmente.



Instalação da barra de pára-raios (Re Bar TEL-760) em fundações profundas ($h > 5m$)

Este trabalho aborda a segunda opção da norma, ou seja, o uso da barra adicional galvanizada a fogo dentro do concreto armado.

Sistema estrutural

Este Sistema foi "batizado" de ESTRUTURAL pelo simples motivo de ser instalado juntamente com a estrutura de concreto armado do prédio, distinguindo-o assim dos demais sistemas externos.

Para evitar os problemas de continuidade, o modo mais seguro consiste na colocação de uma barra de aço liso $\varnothing 10 \text{ mm}$ ($3/8''$) galvanizada a fogo (tab.4 da Norma), dentro de todos os pilares da torre do prédio desde a fundação até o ponto mais alto.

Processo executivo

FUNDAÇÕES

O primeiro ponto a ser observado é o tipo de fundação e a profundidade média desta. Existem diversos tipo de fundação, entre elas as mais usuais são : estaca Franki, estaca Strauss, estaca Pré-moldada, estaca trilho, Tubulão mecanizado ou manual, fundação direta, radie, etc.

Para as fundações verticais (estacas ou tubulões), o procedimento é o mesmo e consiste na colocação da barra (denominada "Re Bar" (Reinforcing Bar)) dentro das fundações, o mais profundo possível, sem no entanto atingir o solo (aprox. 10cm), pois a acidez deste poderá corroer a barra.

A "Re Bar" tem $3,40m \times \varnothing 10mm$ ($3/8''$) lisa e sempre que seja necessário deverá ser emendada com a próxima "Re Bar" . Esta emenda deverá ser feita com um transpasse de 20 cm assegurada por 3 clips $3/8''$ também galvanizados.

A "Re Bar" deverá ser instalada na horizontal, dentro do cintamento (vigas baldrames), interligando todas as ReBar que passam pelas fundações, formando um anel externo e eventualmente também fechamentos internos, de modo a garantir que todos os pilares da torre do prédio sejam interligados.

Não é necessário colocar a barra em todas as fundações, bastando apenas uma fundação para cada pilar; assim, o número de fundações aterradas coincide com o número de pilares do pavimento tipo.

Sempre que exista cruzamento de ferragens verticais dos pilares com ferragens horizontais das vigas, lajes e blocos, a "Re Bar" deverá ser obrigatoriamente ligada, através de ferro comum em forma de "L" com 20cm por 20cm, amarrado com arame PG7 (arame recozido, comum), e as demais ferragens verticais deverão ser amarradas em posições alternadas (uma sim, uma não), conforme figuras seguintes.

Estas amarrações deverão ser repetidas em todas as lajes, com todos os pilares que pertencem ao corpo do prédio. Salienta-se que a execução deste procedimento não gera custos adicionais, pois os ferros em "L" são aproveitados das sobras de outros ferros e a mão de obra é muito pouca. Nas grandes construtoras, este método já virou cultura e rotina de obra.

No caso de fundação com trilho metálico, é dispensada o uso da barra adicional (re-bar) na fundação, pois o próprio trilho já substitui o

aterramento, principalmente porque estes são emendados com solda elétrica durante a sua cravação. A barra deverá ser soldada no topo do trilho, atravessar o bloco e entrar nos pilares.

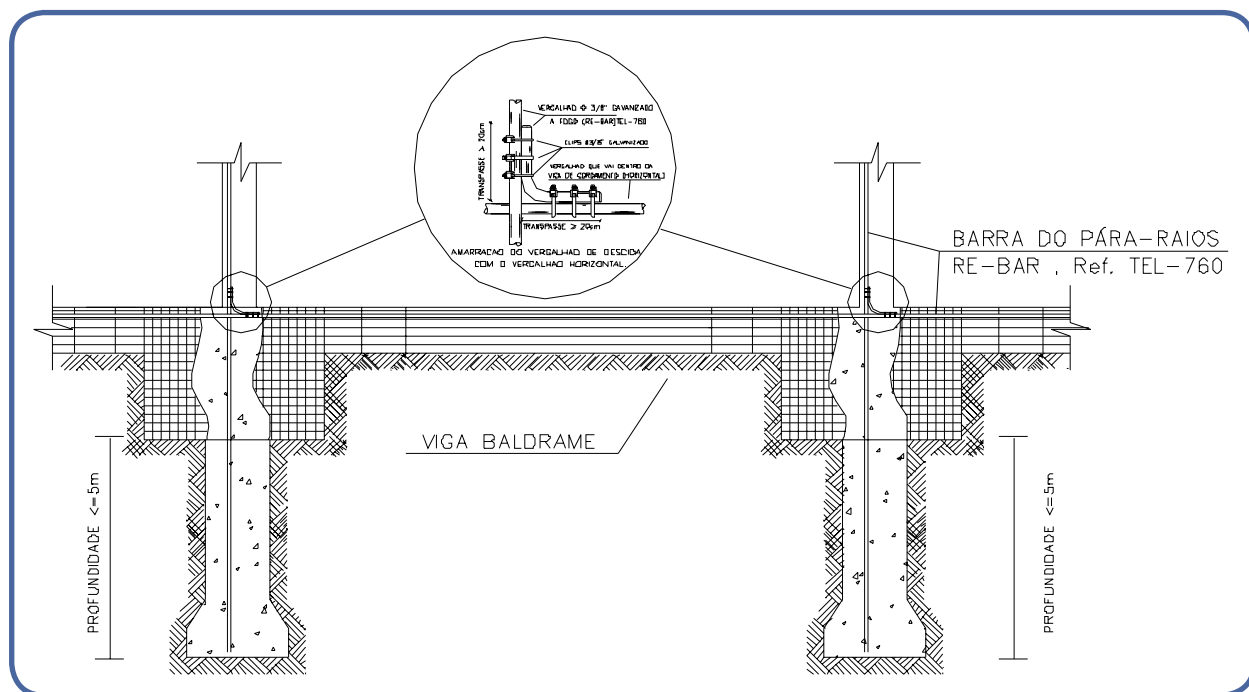
No caso de fundação direta, deverá ser adotado o mesmo critério que consiste no reforço horizontal através da colocação da re-bar no cintamento/ coroamento (viga baldrame).

No caso da estaca pré-moldada de concreto (centrifugada), o procedimento será o mesmo da estaca trilho.

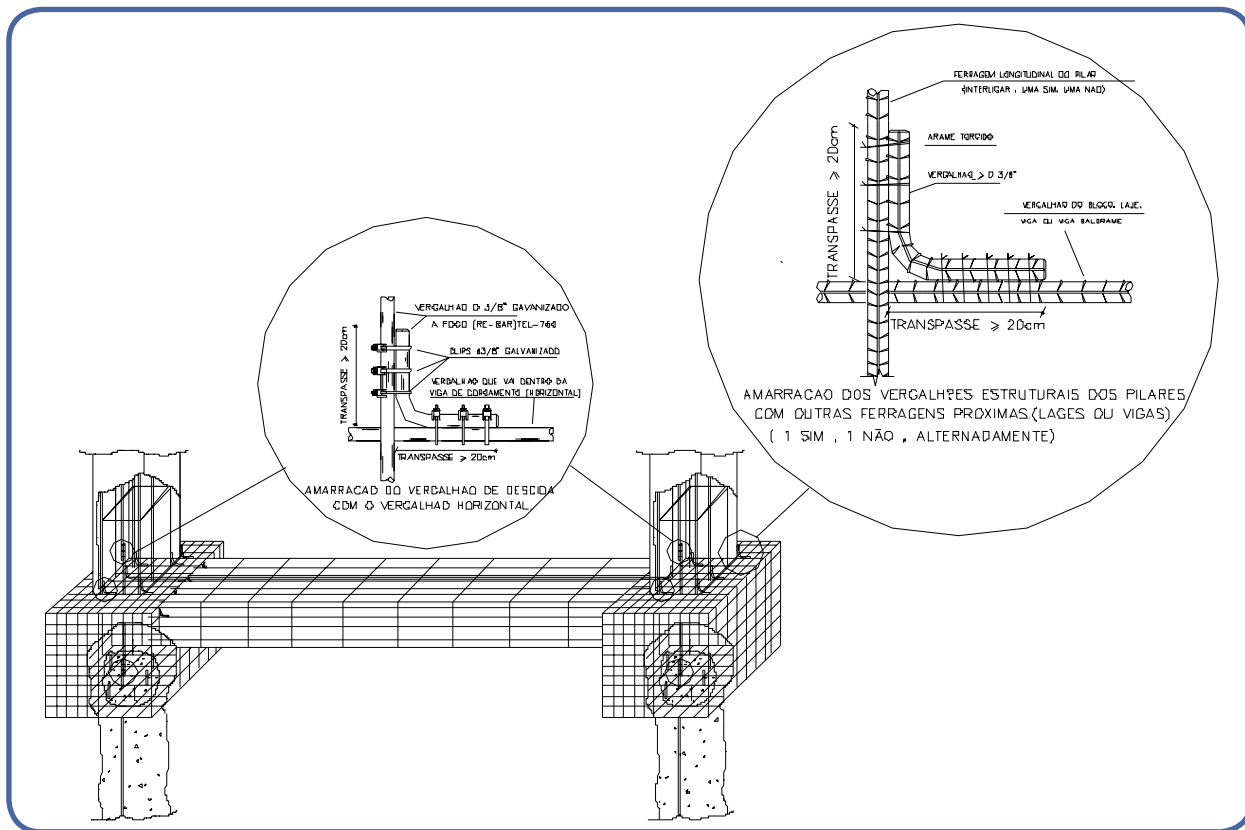
DESCIDAS

As descidas serão executadas através da colocação de uma RE-BAR em todos os pilares do corpo do prédio. Esta barra será fixada nos estribos do pilar, correndo paralela às demais ferragens estruturais. Nos pilares externos (de fachada) deverá haver a preocupação de colocar a RE-BAR na face mais externa do pilar, de modo a receber as descargas laterais que só atingem estes. Nos pilares internos, sua localização poderá ser em qualquer face, porém sempre dentro do estribo, sem invadir o cobrimento.

No cruzamento das ferragens verticais (pilares) com as horizontais (Vigas e lajes), estes deverão ser amarrados com ferros da construção com diâmetro de 8mm a 10mm, conforme fig. 19 e 20, obedecendo sempre que, em primeiro lugar, deverá ser amarrada a RE-BAR e depois as demais barras verticais, uma sim, uma



Instalação da barra de pára-raios (Re Bar TEL-760) em fundações rasas



Perspectiva da instalação da barra do pára-raios nas vigas e tubulões de fundações rasas ($h \leq 5m$)

não, alternadamente. Esta etapa, bem como a fundação, deve ser executada pela construtora para minimizar os custos.

Ao se chegar na última laje tipo, alguns pilares irão morrer, outros irão continuar e outros irão nascer. Os pilares que morrem deverão ser interligados com os que sobem para os níveis superiores. Esta interligação é feita com RE-BAR na horizontal, dentro da laje e vigas (ver exemplo abaixo) e todas as emendas da RE-BAR serão feitas com 3 clips.

CAPTAÇÃO

A captação consiste basicamente na interligação horizontal das RE-BARs que estiverem aflorando no topo do prédio. Esta captação se divide em 2 tipos:

- ◆ Captação por fora, ou seja, nos locais onde existe acesso de público, a barra deverá ser direcionada para o lado de fora do parapeito, evitando assim acidentes pessoais pelo contato direto com o SPDA, depredações no sistema e o medo que é provocado pela sua presença. Neste caso, as barras (RE-BAR) são interligadas na horizontal, pelo lado de fora do parapeito (pingadeira/soleira) com cabo de

cobre nú #35mm² ou Barra chata de Alumínio ref. TEL-770 (por questões estéticas).

- ◆ Captação por cima – Nos locais onde não existe fácil acesso ao público, as Barras deverão sair por cima dos parapeitos (telhado de cobertura, casas de máquinas, tampa de caixa d'água, etc.) e ser interligadas com cabo de cobre #35mm² na horizontal (ver desenho). Neste caso não é necessário o uso da barra chata de alumínio, pois, como os cabos vão ficar por cima dos parapeitos, não tem problema estético, uma vez que são áreas onde somente o pessoal de manutenção tem acesso.

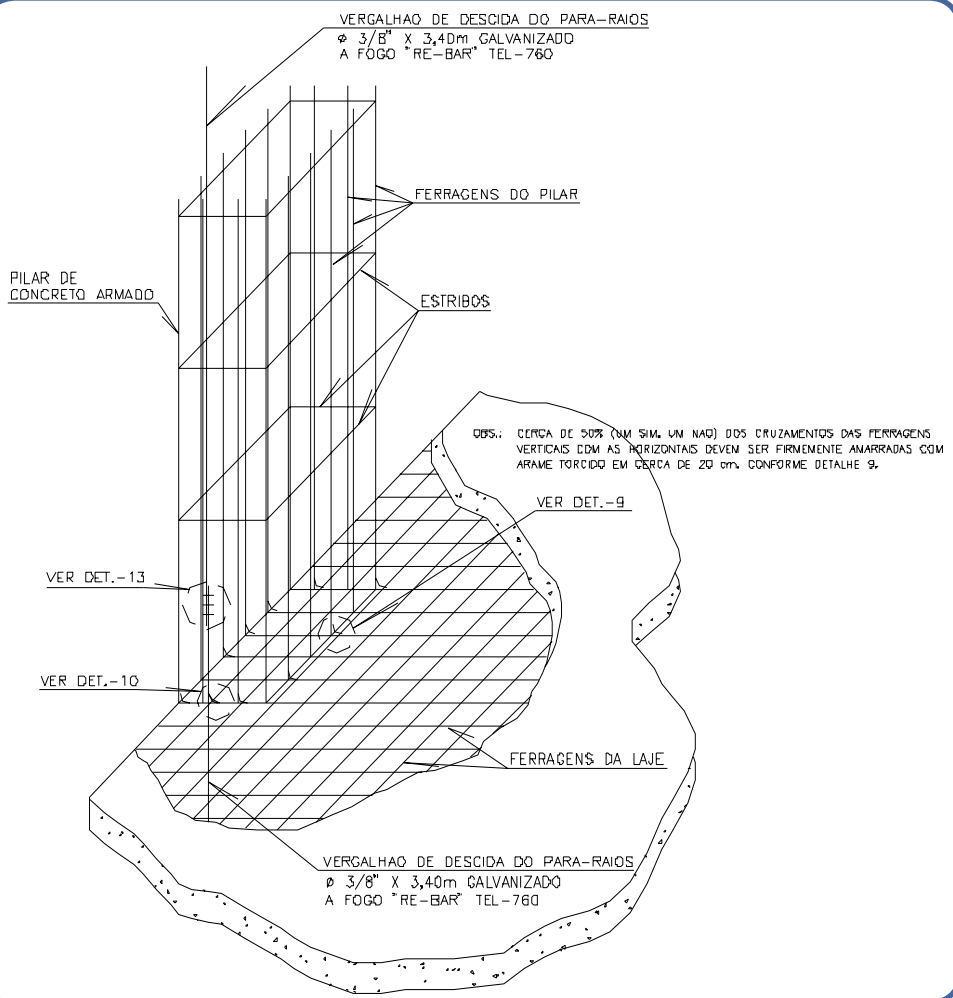
EQUALIZAÇÕES DE POTENCIAIS

A equalização de potenciais se divide em dois itens:

a) Equalização de Potenciais no subsolo

No nível mais baixo da edificação (normalmente o subsolo), deverão ser tomadas as seguintes providências:

- ◆ Instalar a caixa de equalização (por exemplo, a TEL-901 – 20cm X 20cm) num pilar o mais equidistante possível do DG (quadro



Detalhes das amarrações entre “Re Bars” e ferragens verticais com ferragens horizontais

da concessionária telefônica) e do QDG (quadro da concessionária de energia elétrica) e interligar a caixa a qualquer ferragem do pilar, quebrando cuidadosamente qualquer quina do pilar até remover o cobrimento deste.

- ◆ Conectar os aterramentos telefônico e elétrico na caixa de equalização de potenciais, através de cabo de cobre isolado (750V) #16mm². Esta conexão deverá ser feita na haste mais próxima de cada um dos aterramentos, lembrando que, caso existam outros aterramentos (elevadores, interfone, etc.), o procedimento será o mesmo.

- ◆ Interligar todas as massa metálicas (Prumadas de incêndio, recalque, tubos de gás, água quente, guias do elevador e contrapeso, etc.) na caixa de equalização, através de cabo de cobre nu #35mm² (também poderá ser encapado). A conexão com as respectivas tubulações deverá ser feita com a fita perfurada de latão estanhada ref. TEL-750 para abraçar tubos com diferentes diâmetros. Para a tubulação de incêndio e recalque, é recomendável que estas sejam aterradas no subsolo com uma haste e depois equalizada.

- ◆ A central de gás normalmente localizada no pilotis deverá aterrada, através do lançamento

de fita perfurada estanhada no piso do cubículo, de modo a que os botijões de gás sempre estejam em contato direto com a fita. A tubulação metálica que sai da central de gás para distribuir para o prédio também deverá ser aterrada ainda dentro do cubículo com a fita perfurada estanhada, assim como o portão metálico da central de gás. Após todas estas estruturas aterradas, este conjunto deverá ser interligado com a ferragem da laje, no ponto mais próximo da central (ver desenho).

Esta medida tem como objetivo equalizar os potenciais das diferentes estruturas metálicas (botijões, portões e tubulações), evitando, assim, a possibilidade de centelhamento e possível explosão. A norma não aborda este assunto especificamente, pois, em cidades como São Paulo, a maioria do gás é canalizado e nem sempre existe a central de gás.

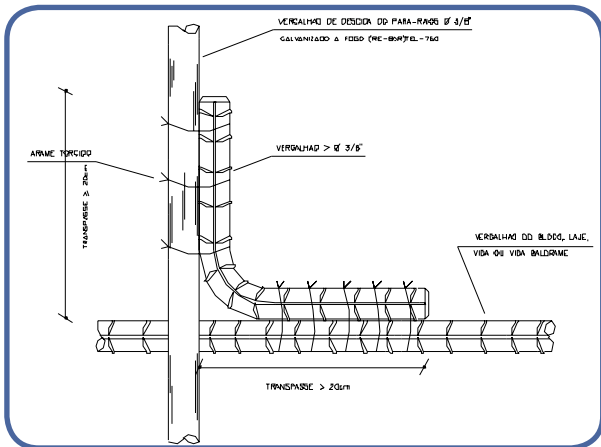
b) Equalização no nível dos anéis horizontais deverá ser

executada do seguinte modo:

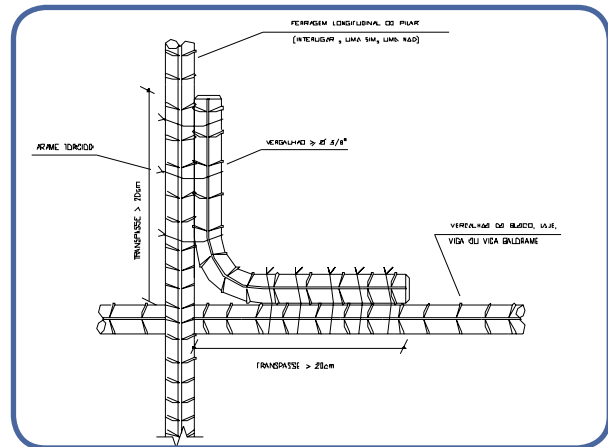
- ◆ A cada 20 metros de altura a partir do solo (onde seriam os anéis de cintamento horizontal no SISTEMA EXTERNO/EMBU-TIDO), deverão ser feitas as equalizações de potenciais

- ◆ A caixa de equalização TEL-901 deverá ser locada de preferência no Hall do andar (embutida na parede a ± 20 cm do piso), interligada através de fita perfurada estanhada na ferragem da laje mais próxima e na carcaça metálica do QDC (quadro de distribuição de circuitos) do apartamento mais próximo. Se os circuitos elétricos possuem fio “terra”, não é necessário interligar os outros QDCs do andar, visto já estarem equalizados por este, caso contrário, todos os QDCs deverão ser levados à caixa de equalização, através de cabo de cobre encapado #16mm², passando por baixo do contrapiso (ou barroteamento) do andar.

- ◆ As demais massas (Prumadas de Incêndio, recalque, água quente, gás, guias dos elevadores e contrapesos, etc) poderão ser ligadas diretamente nas ferragens das lajes, através de fita perfurada estanhada ou na caixa de equalização, dependendo da distância.



Amarração do vergalhão do pára-raios com outras ferragens próximas



Amarração dos vergalhões estruturais dos pilares com outras ferragens próximas (lages ou vigas), 1 sim, 1 não, alternadamente

Observações técnicas

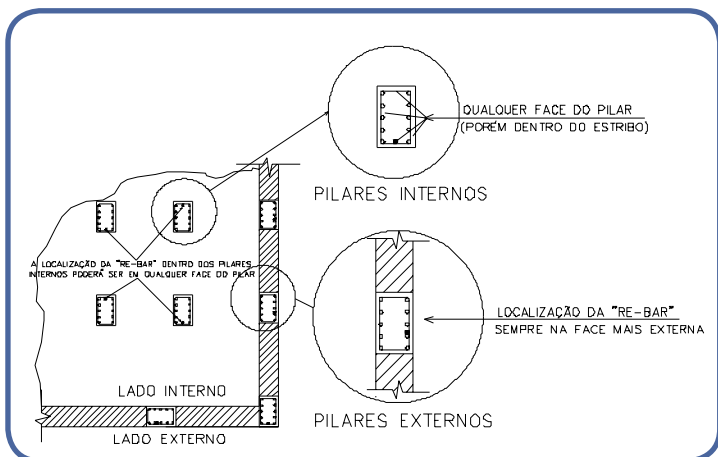
a) O SISTEMA ESTRUTURAL não necessita de anéis de cintamento horizontal (Ítem 5.1.2.5,d), conforme norma técnica, visto as ferragens de cada laje terem sido equalizadas com as ferragens dos pilares, fazendo a função de um anel horizontal em cada laje.

b) Pelo mesmo motivo acima, ao ligarmos as massas metálicas às ferragens da laje, estamos garantindo a equalização com o SPDA.

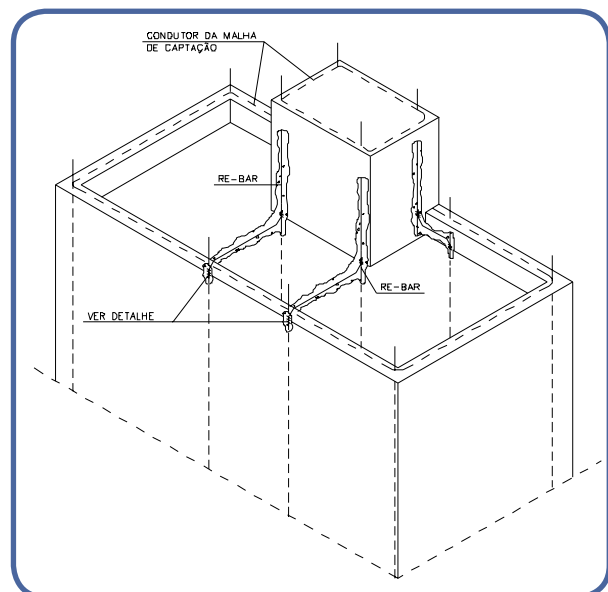
c) Recorda-se que este sistema seja executado desde o início das fundações pela construtora, com orientação do projetista, até o final da estrutura. A captação e equalizações deverão ser executadas por empresa especializada que emita uma ART junto ao CREA dos serviços prestados

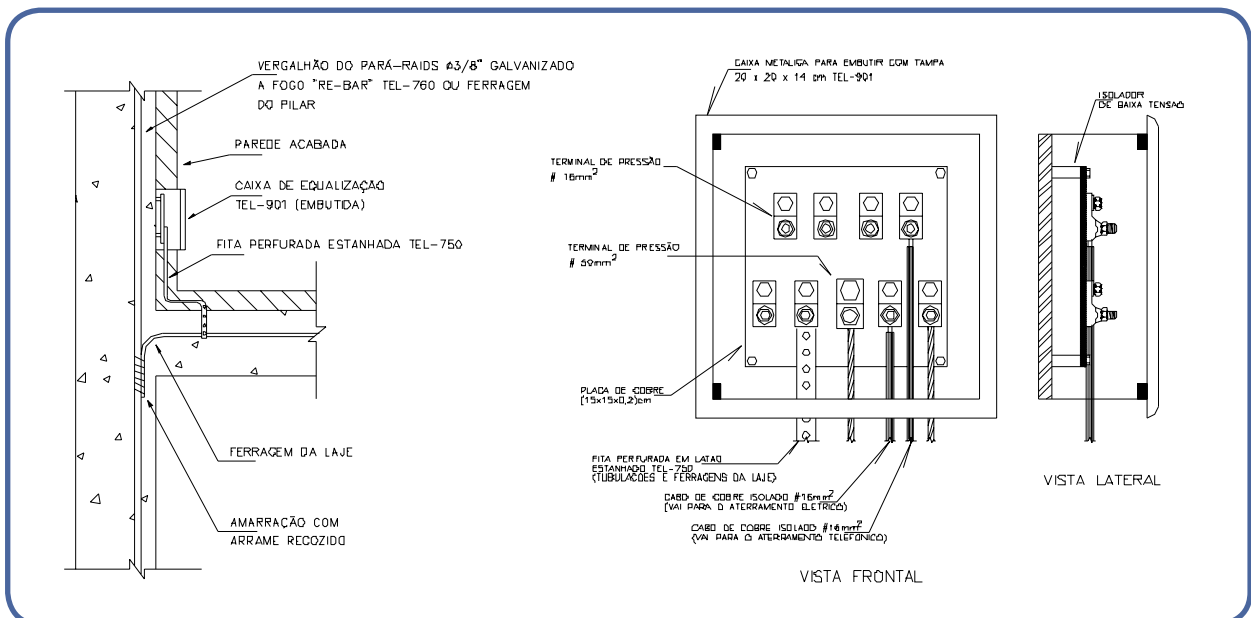
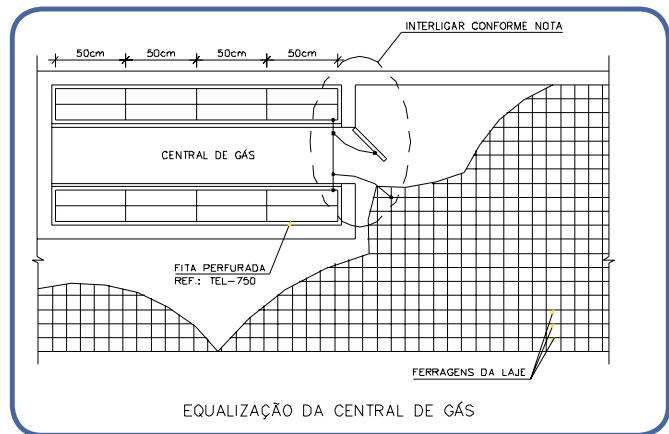
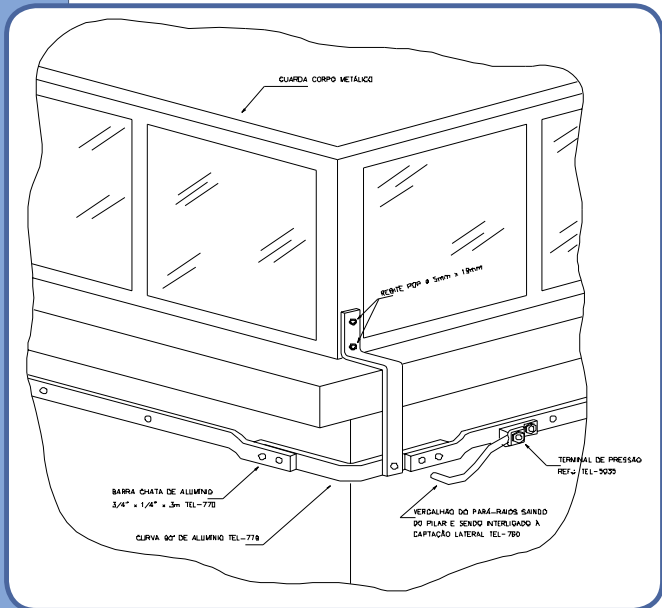
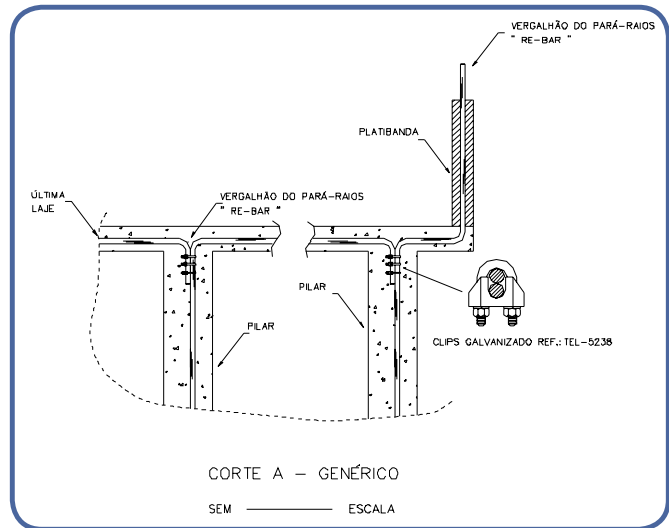
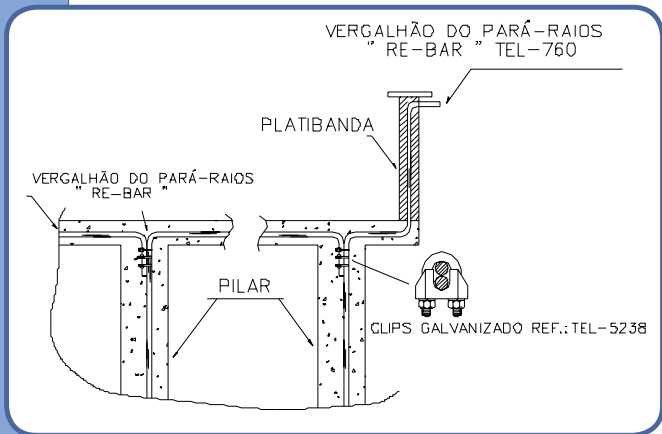
d) O custo deste sistema é de aproximadamente 20% a 30% mais barato que o sistema externo/embutido, pelos seguintes motivos:

- ◆ 1) Ao invés de cabos de cobre serão usadas as barras de aço galvanizadas a fogo (mais baratas que o cabo de cobre).
- ◆ 2) A mão de obra empregada não é especializada (Aterramento e descidas).
- ◆ 3) Não acarreta em danos estéticos e desgastes em reuniões com arquitetos e proprietários.
- ◆ 4) É dispensada a execução dos anéis de cintamento horizontal a cada 20 m de altura.
- ◆ 5) É consagrado no meio científico mundial há muitas décadas, como sendo indiscutivelmente mais eficiente.
- ◆ 6) Equaliza os potenciais do prédio com o SPDA, diminuindo as probabilidades de centelhas. ◆



Localização das Re-Bars nos pilares internos e externos





Sugestão de ligações na caixa de equalização para embutir TEL-901



49º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC 2007



É imperdível.

Participe do maior evento técnico-científico da construção civil no Brasil. Atualize seus conhecimentos sobre a tecnologia do concreto e desfrute de tudo que a Serra Gaúcha tem a oferecer.

**De 1 a 5 de Setembro de 2007
em Bento Gonçalves/RS**



Temas

Gestão e Normalização

Management and Standardization

Materiais e Propriedades

Materials and Properties

Projeto de Estruturas

Structural Design

Métodos Construtivos

Construction Methods

Análise Estrutural

Structural Analysis

Materiais e Produtos Específicos

Specific Products

Sistemas Construtivos Específicos

Specific Construction System

Atrações Técnicas

- Apresentação de trabalhos técnicos
- Painéis Controversos
- Conferências Internacionais
- Concursos para estudantes
- FEIBRACON - Feira Brasileira das Construções em Concreto (acesse o site e veja como participar da feira)



EVENTO PARALELO

CT - MAB

VIII Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem

**Inscreva-se
pelo site:
www.ibracon.org.br**

www.operamarketing.com.br



INFORMAÇÕES SOBRE ESTANDES

Arlene Lima - (11) 3735.0202 - arlene@ibracon.org.br - **Informações gerais:** www.ibracon.org.br

Estruturas de concreto para obras de saneamento: a necessidade de normalização específica

José Márcio Calixto e Ronaldo Chaves
UFMG

Fausto Ribeiro
ABECE/BH

Milva Galdina de Moraes e Silva
Cristiane Pinto Ferreira Costa
COPASA



O Brasil possui indicadores bastante preocupantes no que diz respeito aos serviços de saneamento básico oferecidos à população. A oferta de água tratada, com qualidade, se restringe aos centros mais desenvolvidos e é rara a localidade que trata o seu esgoto, antes de lançá-lo nos córregos, rios e oceano. As consequências desta situação são altamente prejudiciais, tanto ao meio ambiente quanto à própria população, que sofre com doenças que

estão diretamente relacionadas a essas péssimas condições de higiene.

O crescimento desordenado dos centros urbanos contribui acentuadamente para o agravamento deste quadro. Porém, pode-se afirmar que a sociedade, tanto através dos órgãos governamentais quanto das entidades civis, começa a se sensibilizar mais com o problema. Vários projetos estão atualmente em andamento em todo o país, com o objetivo de reduzir a deficiência de oferta

de serviços de saneamento básico. Nunca se investiu tanto no setor como nos últimos anos. A sociedade espera que estes investimentos sejam duradouros para que o problema seja, se não eliminado, pelo menos reduzido a um patamar mínimo condizente com a dignidade humana.

Diante deste quadro de significativos aportes financeiros destinados ao setor, o profissional de engenharia possui um papel fundamental. Cabe a ele garantir o máximo de eficiência na aplicação destes recursos, que tanto custam à nação. É preciso que a técnica seja utilizada com todo esmero para que evitemos desperdícios decorrentes de projetos e obras mal executados. Tão ruim quanto não fazer, é fazer errado e precisar consertar em seguida, implicando em recursos gastos em duplicidade.

Grande parte das unidades de saneamento destinadas ao tratamento de água e esgoto é construída em concreto. Logo, é fácil entender a importância do papel exercido por toda a cadeia produtiva do setor, que envolve cimenteiras, concreteiras, fornecedores de insumos, construtoras, projetistas, órgãos reguladores e fiscalizadores, laboratórios de controle, etc. O resultado final só será satisfatório se todos os elos desta corrente funcionarem com eficiência.

Normalização das obras de saneamento

Um dos elos mais importantes trata-se, sem dúvida, do projeto estrutural. É possível consertar um erro cometido em obra quando se tem um bom projeto estrutural, porém se o mesmo for mal executado, as conseqüências serão percebidas por toda a vida útil da unidade, por mais que se tente eliminá-las.

O projeto estrutural de qualquer edificação em concreto no Brasil hoje, é regido pelas prescrições constantes da norma NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento, cuja versão em vigor é a de 2003, corrigida em 31 de março de 2004. Esta norma estabelece os requisitos básicos exigíveis para projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, de uma maneira genérica, não entrando no mérito do tipo de utilização final da edificação. Ocorre que existem recomendações que são específicas a certos tipos de estruturas e têm menor importância para outras. No caso de uma ponte rodoviária, é fundamental que seja dimensionada para resistir às oscilações de esforços provenientes do trânsito de veículos, de maneira a evitar a ocorrência do fenômeno de ruptura por fadiga de materiais, e complementando às prescrições da NBR 6118, a

norma NBR 7187 - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento, fixa exigências específicas aos projetos estruturais de pontes em concreto. Já uma edificação residencial, salvo situações excepcionais, pode dispensar tal verificação.

Existe uma importante lacuna hoje, na normalização brasileira, já que não temos ainda uma norma específica para os projetos de estruturas de concreto para obras ditas hidráulicas e de saneamento. Tal fato acaba por induzir alguns projetistas a adotarem critérios não apropriados a estes tipos de estruturas, tais como:

- ◆ Limite máximo de abertura de fissuras de flexão;
- ◆ Cobrimentos da armadura;
- ◆ Resistência mínima do concreto;
- ◆ Armadura de retração;
- ◆ Espessura mínima de paredes de reservatórios;
- ◆ Taxa mínima/máxima de armadura.

Seria importante também um estudo mais aprofundado e recomendações bem específicas para a construção das estruturas hidráulicas a fim de atender a durabilidade e estanqueidade, desde a dosagem e classe do concreto, especificação de agregados e aditivos, relação água /cimento, transporte, lançamento, adensamento e cura. Sem esquecer também das soluções para os escoramentos, fôrmas e juntas.

Uma preocupação constante também é a necessidade de novas soluções hidráulicas a fim de compatibilizar as exigências do projeto básico às novas considerações de dimensionamento das peças estruturais. Tais como nichos para apoio das comportas, calhas internas, vigas e pilares atendendo às dimensões mínimas.

Estas preocupações são resultado de consenso entre pesquisadores, projetistas, construtores, fornecedores e equipes técnicas de concessionárias de água e esgoto reunidos no 1º Seminário Estruturas de Concreto para Obras de Saneamento (SECOS), promovido pela ABCE – Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural e COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais, em Belo Horizonte, em maio de 2006.

Como ponto de partida, vale lembrar que o American Concrete Institute (ACI) já possui uma especificação própria para execução das obras de saneamento denominada “ACI 350 – Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures”. A justificativa para sua existência está mencionada na própria introdução desta especificação: em relação a edifícios usuais, as estruturas de obras de saneamento estão sujeitas aos carregamentos diferenciados, condições mais severas de exposição e critérios mais restritivos para a situação de serviço. Os carregamentos di-

ferenciados incluem, além de cargas permanentes e acidentais, cargas dinâmicas devido a equipamentos eletromecânicos (por exemplo, bombas, geradores, motores), bem como ao próprio fluxo da água. A presença de agentes químicos agressivos em contato direto com o concreto e os ciclos de molhagem e secagem são exemplos das condições mais severas de exposição. Como critério de serviço, a necessidade de estanqueidade é uma premissa básica destas construções.

É fundamental que as estruturas hidráulicas sejam projetadas e executadas visando aliar a condição de máxima durabilidade, com o mínimo de manutenção. Toda interrupção de uma unidade em operação é acompanhada de custos elevados e transtornos para os clientes. Como tais estruturas estão expostas a condições mais severas de agressividade do que as demais edificações, seus requisitos de desempenho devem ser igualmente mais rigorosos.

Portanto, uma normalização específica para estruturas de concreto para saneamento não é só uma necessidade dos projetistas. Vários outros segmentos fazem parte desta cadeia produtiva, onde um procedimento específico resultaria em um produto final com mais durabilidade e segurança. Seriam eles:

- ◆ Construtores;
- ◆ Fornecedores de equipamentos;
- ◆ Fiscalização;
- ◆ Concessionárias e/ou proprietários dos empreendimentos;
- ◆ Operadores;
- ◆ Manutenção;
- ◆ Agências de fomentos de recursos.

Neste sentido, a COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais, visando obter estruturas estanques, duráveis, com alta qualidade construtiva e técnica elaborou uma norma interna que está em vigor desde 1994, cuja nomenclatura é T 175, fixando as condições exigíveis para projeto, execução, fiscalização, controle e recebimento de materiais e manutenção de estruturas de concreto em obras de saneamento. Porém, é imprescindível a elaboração de um documento com abrangência nacional, que servirá para a unificação dos critérios adotados, além de servir de excelente oportunidade para compartilhamento de informações e experiências. Com certeza, os disputados recursos financeiros passarão a ser aplicados com maior eficiência, o que tornará viável a oferta dos serviços de saneamento básico a uma maior parcela da população. ◆

Programa MasterPec

Master em Produção de Estruturas de Concreto

Cursos programados para o 49º Congresso Brasileiro do Concreto, em Bento Gonçalves RS



Sábado, 1º de Setembro de 2007

Tarde – 14h00 às 15h30
Coffee Break – 15h30 às 16h00
16h00 às 18h00

Sala 1

Práticas de Projeto e Execução de Edifícios Protendidos

O curso discorre sobre as vantagens para a arquitetura e para a engenharia da adoção das lajes protendidas. Apresenta as particularidades do projeto e execução deste tipo de obra. Mostra os novos conceitos, materiais e equipamentos utilizados. Analisa o estado da arte no Brasil e as perspectivas de desenvolvimento.

Eugenio Luiz Cauduro

Engenheiro Consultor, especialista em protensão, reconhecido pelo destaque na introdução e desenvolvimento desta técnica no Brasil

Marcelo Silveira

Engenheiro Projetista, especialista em estruturas protendidas com mais de 200 projetos realizados

Patrocinador



Sala 2

Dimensionamento de elementos estruturais pela NBR 6118

O curso apresenta uma visão geral das mudanças introduzidas pela NBR 6118 no dimensionamento de elementos estruturais como lajes, vigas e pilares. Avalia a importância da adoção de dimensões mínimas em elementos de concreto. Discute sobre o estado da arte e as perspectivas de desenvolvimento do cálculo estrutural.

Túlio Nogueira Bittencourt

Professor Associado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PhD em Engenharia Estrutural pela Cornell University (EUA)

Patrocinador



Carga horária: 4 horas – Local: FUNDAPARQUE

Inscrição: www.ibracon.org.br

Informações: Marta

Tel.: 11 3735-0202 – marta@ibracon.org.br

Pára-raios usando armaduras de pilares

Marcos Carnaúba
Consultor

Dimas Pinto Medeiros
Consultor de Segurança

Introdução

COMENTÁRIOS AOS TÓPICOS DA NBR 5419:2001

5.1.2.5.4 – As armaduras de aço interligadas das estruturas de concreto armado podem ser consideradas condutores de descidas naturais, desde que:

a) cerca de 50% dos cruzamentos de barras da armadura, incluindo os estribos, estejam firmemente amarradas com arame de aço torcido e as barras na região de trespasse apresentem comprimento de sobreposição de no mínimo, 20 diâmetros, igualmente amarradas com arame de aço torcido, ou soldadas, ou interligadas por conexão mecânica adequada;

b) em alternativa, sejam embutidos na estrutura condutores de descida específicos com continuidade elétrica assegurada por solda ou por conexão mecânica adequada, e interligadas às armaduras de aço para equalização de potencial (ver anexo D);

c) em construções de concreto pré-moldado, seja assegurada a continuidade elétrica da armadura de aço de cada elemento, bem como entre os elementos adjacentes de concreto pré-moldado.

Nota – Em construções com concreto protendido, os cabos sujeitos a protensão, como nas telhas de concreto protendido, não podem fazer parte do sistema de escoamento de corrente de descarga atmosférica. Porém, as armaduras dos pilares (que nunca são protendidas) e as armaduras passivas (que sempre existem em lajes com elementos protendidos) podem ser utilizadas sem restrição como parte do SPDA – Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas.

5.1.2.5.5 – Para as edificações de concreto armado existentes, poderá ser implantado um SPDA com descidas externas ou, opcionalmente,

poderão ser utilizadas como descidas as armaduras do concreto. Neste último caso, devem ser realizados testes de continuidade e estes devem resultar em resistências medidas inferiores a 1. As medições deverão ser realizadas entre o topo e a base de alguns pilares e também entre as armaduras de pilares diferentes, para averiguar a continuidade através de vigas e lajes. As medições poderão ser realizadas conforme o anexo E.

5.1.2.5.6 – Os anéis horizontais externos, prescritos em 5.1.2.3.2, não são necessários se forem utilizados como condutores de descida os pilares metálicos da estrutura ou as armações de aço do concreto armado, desde que se admitam danos no revestimento dos elementos metálicos no ponto de impacto do raio.

5.1.2.5.7 – As equalizações de potenciais internos à estrutura seguem o mesmo critério do sistema externo. Isto significa que, próximo ao solo e, no máximo, a cada 20m de altura, todas as massas metálicas (tubulações, esquadrias metálicas, trilhos, etc.) deverão estar ligados diretamente a alguma armadura local (de pilar, viga ou laje). Os sistemas elétricos de potência e de sinal deverão ser referenciados a um barramento de equalização (TAP/LEP), o qual deverá ser ligado a uma armadura local e/ou ao eletrodo de aterramento.

ANEXO D (NORMATIVO) USO OPCIONAL DE FERRAGEM ESPECÍFICA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

D.1 Como aterramento das fundações

D.1.1 – Para as edificações novas, em concreto armado, onde a estrutura ainda não foi iniciada, deve ser instalado um condutor adicional de aço comum ou galvanizado a fogo, dentro da estrutura, de modo a garantir a continuidade desde as fundações até o topo do prédio.



D1.2 – O condutor adicional deverá ser instalado dentro das fundações, atravessar os blocos de fundação e entrar nos pilares de concreto.

D1.3 – Os condutores deverão ser emendados por conectores de aperto, solda elétrica ou exotérmica, desde que executada de forma duradoura, obedecendo (quando amarradas com arame de aço recozido ou conectores) a um trespasse de 20 diâmetros da barra.

D1.4 – Em fundação direta (pouco profunda), os condutores adicionais devem ser instalados nas vigas baldrame de modo a melhorar a condição de drenagem e o contato com o solo.

D.2 – Como descidas

D2.1 – Em cada pilar estrutural deverá ser instalado um condutor adicional (cabo de aço galvanizado, barra chata ou redonda de aço) paralelamente às barras estruturais e amarrado com arame nos cruzamentos com os estribos para assegurar a equipotencialização.

D2.2 – Nos locais onde haja deslocamento da posição dos pilares, ao mudar de laje, bem como quando houver redução da seção dos pilares, o condutor adicional deverá ser encaminhado de modo a garantir a continuidade elétrica.

D2.3 – Armaduras de aço dos pilares, lajes e vigas devem ter cerca de 50% de seus cruzamentos firmemente amarrados com arame recozido ou soldados. As barras horizontais das vigas externas devem ser soldadas, ou sobrepostas por no mínimo 20 vezes o seu diâmetro, firmemente amarradas com arame recozido, de forma a garantir a equalização de potenciais da estrutura.

NOTA – este subsistema deverá ser integrado ao subsistema captor.

ANEXO E (NORMATIVO) ENSAIO DE CONTINUIDADE DE ARMADURAS

Destaco, apenas, algumas exigências.

E.1 – O ensaio de verificação da continuidade das armaduras de um edifício deve ser feito por injeção de corrente. Para...

E.2 – A impedância entre dois pontos...

E.3 – O afastamento dos pontos onde se faz a injeção de corrente deve ser de dezenas de metros, por exemplo, entre o piso do térreo e a laje do último piso ou entre a fachada da frente e a dos fundos, de preferência na diagonal. Procedendo a diversas medições entre pontos diferentes, se os valores medidos forem da mesma ordem de grandeza e inferiores a 1Ω , pode-se admitir que a continuidade das armaduras é aceitável.

E.4 – A medição pode ser feita diretamente com o uso de um mili ou microohmímetro, capaz de fornecer corrente da ordem de 10A, sendo admissível o valor mínimo de 1A. Não é admissível a utilização de multímetro

A primeira pergunta que me veio à cabeça: quem fiscalizará o atendimento a essas exigências?

TRECHOS COLETADOS DE BIBLIOGRAFIA ESPECIALIZADA

1) A maioria das normas estrangeiras – e como já vimos, a brasileira também – aceita a utilização das armaduras do concreto como partes do SPDA sem definir o limite superior da resistência elétrica, exceto a norma italiana que define esse limite como inferior a $0,1 \Omega$ entre dois pontos quaisquer da estrutura. A norma francesa não permite a utilização de barras da armadura para conduzir a corrente de raios.

2) Segundo a Física de Nuvens, durante a descarga elétrica a resistência entre o solo e a nuvem pode atingir 1500Ω . Tal magnitude impede qualquer sistema de aterramento de se opor a um raio, sendo fundamental para a segurança da edificação e dos seus usuários o valor da resistência de aterramento.

3) É importante lembrar que quanto mais profundo o aterramento menores serão os riscos de tensão nas áreas superficiais circundantes.

4) As fundações diretas, sapatas, podem ser usadas como partes importantes do aterramento, exigindo-se o cálculo da sua resistência de terra obtida considerando-se a umidade e o

volume de concreto. Sendo “ ρ ” a resistividade elétrica, a resistência de terra de uma fundação rasa, molhada, é obtida da expressão, onde “ V ” é o volume de concreto: $R = 2 \rho / \pi^2 V^{1/3}$

5) Sendo de alta frequência as correntes dos raios o caminho percorrido ao longo de uma barra será a sua superfície externa, e não foram encontradas diferenças nas tensões de aderência entre a barra – submetida a passagens de correntes de impulso- e o concreto em experiências realizadas na USP. Sublinhei para o que será dito mais adiante.

6) Nas obras de concreto armado não há necessidade de fixar, rigidamente, umas nas outras, as barras a serem emendadas por traspasse. No caso de aproveitá-las como parte do SPDA elas terão que se manter rigidamente fixadas porque, se não existir um perfeito contato entre as barras emendadas, fatalmente surgirá um arco elétrico (de uma para a outra) que, em questão de segundos, eliminará a água do concreto com riscos de sérios danos ao pilar. Ensaios de laboratório demonstraram que junções de barras com resistências de contato acima de 5-10 Ω não resistem a *correntes de impulso* acima de 50kA.

7) No caso de barras utilizadas para escoar, também, correntes de curto circuito – 5kA escoando em até 5 segundos – a barra do pilar poderá aquecer a 700° C comprometendo a sua aderência no concreto – citada no item 5.

8) No caso de sapatas serem utilizadas para o aterramento, têm que ser levados em consideração os resultados de testes realizados em laboratórios que concluíram o seguinte sobre a possibilidade de danos ao concreto sob a ação de alguns valores da corrente elétrica gerada pelo raio:

- a) nenhum dano se $< 5A/cm^2$;
- b) alguns danos se $> 10A/cm^2$ e $< 15A/cm^2$
- c) poderá comprometer o concreto se $> 15A/cm^2$

9) Existem recomendações de especialistas nessa área de SPDA para que se utilizem com segurança as barras de pilares como proteção de raios, dentro da realidade brasileira.

a) Todos os pilares terão uma barra especial – desconsiderada no dimensionamento – emendada por soldagem ou conectores especiais; armaduras específicas, contínuas, a serem conectadas nas barras dos pilares, serão inseridas, também, em vigas e lajes formando uma malha de terra em cada pavimento. Tem que ser verificada a utilização futura dos pavimentos, quais os equipamentos que ali serão operados para dimensionar o tamanho ideal dessas malhas.

b) Para utilizar as sapatas como parte do aterramento é recomendável inserir as barras

especiais também nas cintas, o que tornará o conjunto no melhor sistema de aterramento da atualidade.

10) Por exigência de normas específicas todo sistema de pára-raios deve estar devidamente aterrado e facilitar a medição de resistência de terra, através de caixas de inspeção no solo – no último subsolo para prédios – para acesso às hastes de cobre cravadas na terra e que estão interligadas aos cabos do pára raios.

11) Inspeções obrigatórias.

a) Inspeção visual, anual, de todos os componentes do SPDA, para verificar se estão em bom estado, as conexões firmes e livres de corrosão.

b) inspeções periódicas, completas, de acordo com a Norma, em intervalos de:

b.1 – cinco anos para estruturas destinadas a fins residenciais, comerciais, administrativos, agrícolas e industriais, excetuando-se as áreas classificadas como de risco de incêndio ou explosão;

b.2 – três anos para estruturas destinadas a grandes concentrações públicas, como hospitais, escolas, teatros, cinemas, estádios esportivos, shoppings, pavilhões e outros; indústrias contendo áreas com risco de explosão, conforme a NBR 9518, e depósitos de materiais inflamáveis;

b.3 – um ano para estruturas contendo munições ou explosivos.

Nota: em locais expostos à corrosão severa o intervalo entre as inspeções deve ser adequadamente reduzido.

Na fase de projeto do SPDA deverá ser avaliada a resistividade do solo de uma determinada área, e o procedimento padronizado pela ABNT é o método de Wenner. Baseado nesses resultados o projetista definirá o melhor sistema de aterramento para o SPDA. O aterramento dos pára-raios deverá ser integrado ao aterramento das instalações elétricas – exceto para computadores – para constituírem um sistema único de proteção equipotencial.

Influenciam na resistividade do solo a sua composição química e a umidade. Se a resistividade for alta o aterramento usando, somente, as fundações, poderá ser insuficiente e carecerá de estudos mais abrangentes que envolvem a inserção de hastes complementares vinculadas a armaduras.

Comentários

1 – A fricção entre pequenas partículas de água contidas nas nuvens, impulsionadas

de baixo para cima por ventos fortes, dá origem a grandes quantidades de cargas elétricas positivas que se posicionam no topo das nuvens, e negativas que se posicionam nas suas bases. A migração de cargas positivas da terra para a nuvem desencadeia o processo elétrico do qual resulta uma faísca que se chama raio.

2 – O conhecido “poder das pontas” tende a atrair os raios para os pontos mais altos dos edifícios onde se instalam os pára-raios – dispositivo criado por Benjamin Franklin – composto de uma haste implantada no topo dos edifícios, um cabo de descida e um aterramento profundo para evitar que a difusão superficial da descarga elétrica afete homens e animais nas suas cercanias.

3 – Durante a condução do raio ao longo do cabo de descida forma-se, no entorno, um campo magnético que, se variável, induz tensão em qualquer material condutor de eletricidade que esteja nas proximidades, podendo gerar o centelhamento pelo ar, ou pelo interior de paredes, com riscos de incêndio e ao próprio homem. Daí a importância da equipotencialização do conjunto.

4 – Está se tornando usual a eliminação do fio terra – da base ao topo do edifício – que é substituído por um aterramento em barras dos pilares. Nesse caso, não só a corrente de impulso gerada pelo raio atuará no edifício, mas, também a de curto circuito, com riscos a usuários, e de danos a equipamentos eletroeletrônicos, e à própria estrutura.

5 – Ficou claro – dentro das exigências normativas – que o uso de barras dos pilares em substituição das hastes metálicas, externas, do conhecido pára-raios de Franklin é uma opção factível obedecidos todos os condicionantes acima relacionados que envolvem os pilares, vigas, lajes, vigas baldrame e sapatas.

Conclusões

1 – A orientação das normas ficou clara para obras novas, recomendando a inserção de uma barra especial, complementar, contínua, desde o topo até a base da edificação; dá como opção a utilização de barras comuns das armaduras de pilares sob os cuidados acima requeridos.

2 – Grande parte dos pára-raios existentes em edifícios é inócua porque eles não estão associados a malhas que formam a gaiola de Faraday. Salvo exigências arquitetônicas em

monumentos, não encontramos justificativas – avaliando o parâmetro risco/benefício que imponham a sua embutidura, se considerarmos os itens seguintes.

3 – A mão de obra brasileira não está preparada, ainda, para atuar dentro da tecnologia que o procedimento de usar barras comuns de pilares (lajes, vigas, etc.) requer.

4 – Não há confiabilidade - no Brasil como um todo – na sistemática de aferimento do sistema projetado por profissionais especializados, mas executado em canteiros de obras sem mão de obra qualificada, sem aferição coerente da resistividade e resistência do solo, e de peças estruturais.

5 – Há riscos de danos sérios – ao homem, à edificação, e equipamentos – se o sistema não for tecnicamente implantado, coerentemente aferido e periodicamente inspecionado.

6 – A eliminação do fio terra do projeto elétrico visa economizar no custo de eletrodutos – ao invés de três fios, conduzirão dois – que terão menor diâmetro, e gera um risco potencial se barras da estrutura forem, também, usadas como hastes de pára-raios.

7 – As estruturas de instituições de análise de projetos e fiscalização – no caso mais comum, o Corpo de Bombeiros – não estão, ainda, preparadas para opinar sobre a coerência desse sistema de SPDA.

8 – Há indicativos do mau funcionamento de equipamentos eletrônicos de precisão – onde o sistema foi empregado sem critérios precisos – e os campos magnéticos gerados podem afetar o uso de aparelhos celulares. Servirá como teste - para quem mora em apartamentos e tem áreas onde os celulares não funcionam – verificar se o aterramento elétrico está usando barras de armaduras.

Se, no dimensionamento e na execução de peças de concreto armado, as normas em vigor nem sempre são obedecidas – ou integralmente dominadas por engenheiros de obras – poderá ser uma temeridade utilizar um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas – SPDA utilizando barras comuns das armaduras dos pilares como parte do SPDA cuja eficiência só será testada durante tempestades elétricas como a da foto.

Como o sistema proposto pela norma é polêmico, envolve, também, o Calculista de Estruturas, e está sendo utilizado em grande escala Brasil afora, entendemos como pertinente sugerir a ampla discussão do assunto durante uma Jornada de Estruturas ou do IBRACON. ♦

Estação de tratamento de esgoto do Ribeirão Arrudas – aspectos de projeto e construtivos

Ana Paula Reis

Milva Galdina

Carlos A. C. d'Ávila

Companhia de Saneamento de Minas Gerais

1. Introdução

Há três décadas, o Estado de Minas Gerais criou, na cidade de Belo Horizonte, a COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais, com vistas a enfrentar os problemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário que afligiam um grande número de Municípios. O avanço industrial e o acelerado processo de urbanização da sociedade contribuíram com o aumento da necessidade de cuidar dos nossos rios; paralelamente, a humanidade começa a perceber que a água, desvalorizada e desperdiçada há décadas – é o mais primordial de todos os recursos naturais.

Belo Horizonte abriga uma população estimada de 3.250.564 habitantes. Cerca de 40% de toda a carga orgânica da Região Metropolitana de Belo Horizonte tem por destino o Ribeirão Arrudas, que como agravante, recebe efluentes industriais em seu leito. Com base nos princípios ambientais de esgotamento sanitário e com o

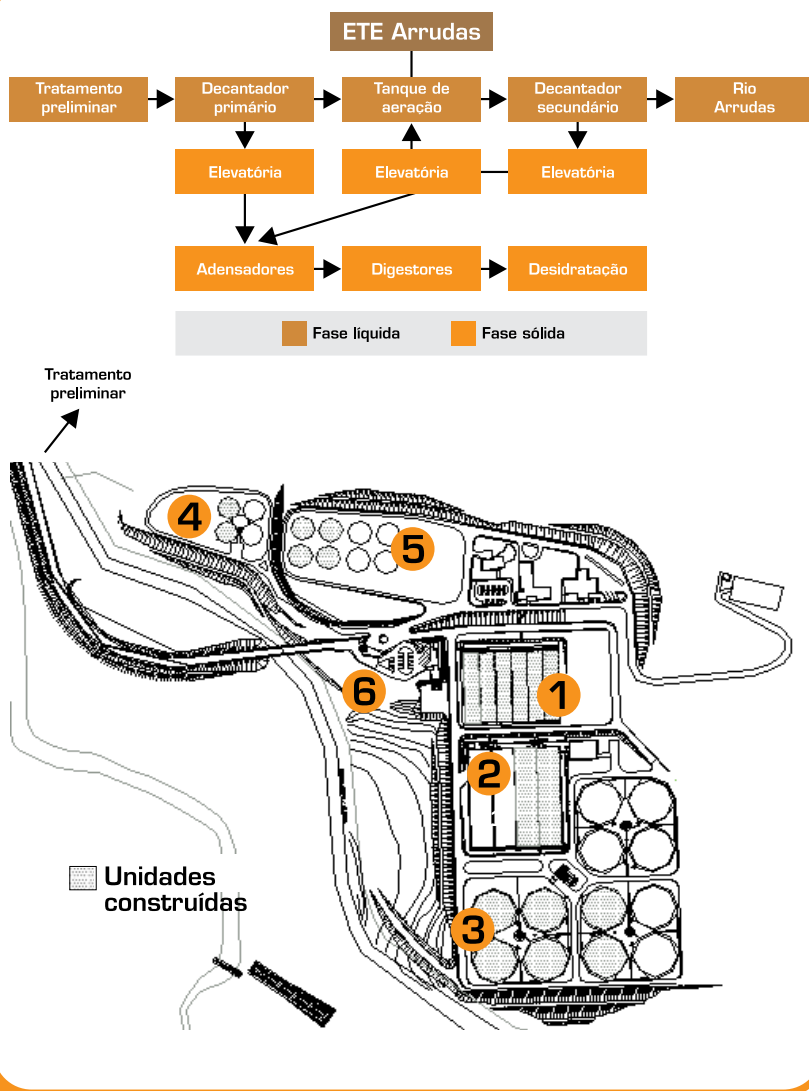
intuito de melhorar a qualidade deste ribeirão, a COPASA investiu, em 1999/2001, cerca de R\$100 milhões de reais na construção da Estação de Tratamento de Esgoto do Ribeirão Arrudas.

A obra da ETE Arrudas foi dividida em três etapas de construção, sendo a primeira delas iniciada em julho de 1999 e concluída dois anos e três meses depois. A segunda etapa foi concluída em 2002 e, desde então, está sendo operada com sucesso, passando a ser um marco para a empresa, beneficiando grande parte da população e melhorando a qualidade do leito do rio. A terceira e última etapa, ainda não há previsão de execução; no entanto, o fato de não estar finalizada, não afeta a operação e situação atual, pois sua conclusão incidirá somente no aumento da vazão de esgoto tratado.

A importância em divulgar este projeto e a obra propriamente dita está na oportunidade de compartilhar a complexidade de parâmetros que foram detalhadamente estudados, tanto no que se refere ao projeto estrutural quanto às peculiaridades adotadas durante sua execução, com

Quadro 1 – Unidades da ETE ARRUDAS

Nome da unidade	Unidades construídas	Unidades previstas	Unidades a serem concluídas
Tratamento Preliminar	1 unidade	1 unidade	–
Decantador Primário	6 unidades	6 unidades	–
Tanque de aeração	2 unidades	4 unidades	2 unidades
Decantador secundário	6 unidades	12 unidades	6 unidades
Adensador	2 unidades	4 unidades	2 unidades
Digestor anaeróbico	4 unidades	8 unidades	4 unidades
Elevatória	3 unidades	3 unidades	–



por um tratamento preliminar que é o responsável pela retenção de sólidos de maiores dimensões, materiais flutuantes e materiais inorgânicos arenosos que se encontram contidos no esgoto. Através de um emissário de concreto armado, o efluente deste tratamento preliminar é conduzido em conduto forçado aos decantadores primários [1], responsáveis pela remoção dos sólidos em suspensão sedimentáveis e os sólidos em suspensão flutuantes. O líquido decantado é então encaminhado aos tanques de aerção [2], de onde será removida a matéria orgânica pela ação de microorganismos aeróbios, formando uma biomassa em suspensão que será submetida à aerção artificial mediante fornecimento de oxigênio. Dando seqüência ao tratamento, o líquido é conduzido aos decantadores secundários [3], onde ocorre a separação sólido/líquido do efluente do tanque de aerção com dupla finalidade: remover sólidos em suspensão para clarificar o esgoto tratado e encaminhá-lo ao Rio Arrudas; e concentrar o lodo no fundo dos decantadores. Na fase sólida, duas elevatórias enviam o excesso de lodo produzido no processo para os adensadores [4], enquanto a terceira recircula continuamente o lodo do fundo dos decantadores secundários para os tanques de aerção. Finalizando a fase sólida, o lodo sai dos adensadores e são conduzidos aos digestores anaeróbios primários e secundário[5], onde ocorre a estabilização da matéria orgânica e a redução dos sólidos voláteis, criando condições favoráveis para a desidratação do lodo. A partir daqui, o lodo é submetido à desidratação mecânica [6]. Este processo pode ser ilustrado e observado no organograma, esboço e figura 1.

o objetivo único de garantir o sucesso de sua operação, através da estanqueidade das estruturas, do aumento da vida útil e durabilidade das mesmas.

2. Projeto e execução das estruturas de concreto armado

2.1 DESCRIÇÃO DAS UNIDADES DA ETE ARRUDAS

O detalhamento das unidades já construídas e demais pode ser visualizado no quadro 1.

Na conclusão da terceira etapa, a estação de tratamento terá capacidade para tratar um volume aproximado de 4500 (quatro mil e quinhentos) litros por segundo, o que equivale ao esgoto doméstico de uma população de 1.600.000 habitantes. Atualmente, com as unidades já construídas e em operação, o esgoto tratado é de aproximadamente 2,25 m³ por segundo.

O processo pode ser dividido em fase líquida e fase sólida. Na fase líquida, o efluente passa



Figura 1 – Vista aérea da ETE Arrudas

Quadro 2 – Geometria das unidades que compõem a ETE Arrudas

	Decantadores Primários	Tanques de Aeração	Decantadores Secundários	Adensadores	Digestores Primários	Digestores Secundário
Comprimento	85 m	115 m	–	–	–	–
Largura	17,5 m	25 m	–	–	–	–
Altura	3,5 m	6 m	5 m	3 m	18 m	12 m
Diâmetro	–	–	50 m	25 m	27 m	27 m

2.2 DISPOSIÇÕES ESPECIAIS DE PROJETO

É importante ressaltar que as estruturas de concreto armado da ETE Arrudas são bastante singulares. Tanto o projeto estrutural como os procedimentos de execução buscam alcançar condições mínimas desejáveis de qualidade, significando desta forma, obter uma estrutura estanque e durável. Cabe lembrar que, uma vez em carga, este tipo de estrutura é de difícil paralisação e recuperação, pelo que se procura esmerar no controle de qualidade, tanto no que se refere ao projeto estrutural quanto à execução da obra. Para se ter uma idéia do porte desta construção, o volume de concreto empregado foi equivalente a 39.401,63 m³, enquanto a quantidade de aço foi de aproximadamente 3.232,69 toneladas.

As características geométricas de cada unidade estão dispostas no quadro 2.

No âmbito da Empresa, para que seja possível alcançar os padrões de segurança, estabilidade e qualidade desejáveis, além da Norma Brasileira 6118 – Projeto de Estrutura em Concreto, é adotada uma norma interna da COPASA, a T 175/1 – “Norma para Projeto e Execução das Estruturas de Concreto para Obras de Saneamento”, que vem a ser um complemento da NBR6118, priorizando especificidades das estruturas em contato com um meio agressivo,

sejam estações de tratamento de água ou esgoto. Esta norma interna fixa condições exigíveis para projeto e execução das estruturas em questão, onde a estanqueidade e a durabilidade são primordiais.

Consideram-se como premissas que a estanqueidade das obras hidráulicas é assegurada pelo atendimento simultâneo dos seguintes requisitos: compacidade do concreto e limitação da abertura de fissuras.

Objetivando alcançar a estanqueidade das estruturas da ETE Arrudas e baseando-se nos princípios da T175/1, adotou-se para efeito da verificação do estado de fissuração do concreto, um limite de abertura equivalente a 0,1 mm. Este valor foi utilizado na primeira etapa

do projeto/obra (tratamento preliminar, decantadores primários, adensadores e digestores primários e secundários); entretanto ficou constatado que a elevada densidade de armadura, conforme figuras 2 e 3, ocasionava problemas na concretagem e, conseqüentemente, o surgimento de pequenas fissuras nas paredes, além de algumas segregações localizadas, sobretudo em locais onde havia junta de dilatação, conforme figura 4.

Essa elevada densidade de armadura foi ligeiramente alterada na etapa seguinte (tanques de aeração, decantadores secundários), onde se optou por redimen-



Figura 2 – Densidade de armadura



Figura 3 – Densidade da armadura



Figura 4 – Colocação da junta de dilatação

sionar a armadura adotando um limite de fissuração equivalente a 0,2 mm, obtendo desta forma consideráveis melhorias.

O fck adotado foi de 30 MPa (NBR6118:1980). A T175/1 fixa valores como consumo mínimo de cimento e fator água/cimento, equivalentes a 360 kg/m³ e 0,45 respectivamente, para estruturas em contato com esgoto. O cimento utilizado na primeira etapa de construção foi o CPIII RS (Cimento Portland Resistente à Sulfatos); já, na segunda etapa, optou-se por utilizar o ARI RS (alta resistência inicial resistente à sulfatos), buscando otimizar a utilização e reaproveitamento das fôrmas. Devido ao elevado consumo e modificação do cimento empregado, e o baixo fator água/cimento, passou-se a utilizar, na segunda etapa, um aditivo superplastificante de 3ª geração, melhorando assim a trabalhabilidade do concreto. O aditivo utilizado exigiu especial cuidado na dosagem, fato este que demandou diversos ensaios de abatimento do tronco de cone ou



Figura 5 – Estudos do traço de concreto com adição de superplastificante

slump-test, para definição do traço adequado, conforme pode ser observado na figura 5. Este aditivo fez com que o concreto, que antes possuía uma baixa plasticidade, atingisse uma plasticidade de aproximadamente 220 ± 20mm no slump-test.

A norma T175/1 não prevê o uso de impermeabilizante nas estruturas que devam ser estanques. Entretanto, com a preocupação no que diz respeito à durabilidade e vida útil das estruturas, a norma define outros parâmetros que irão garantir a integridade e estanqueidade de cada unidade. Dentre eles, a definição do tipo de agregado graúdo a ser utilizado. Segundo Sperling (1986), para estruturas em contato com esgoto, como é o caso, recomenda-se utilizar a brita calcária, por possuir características que as fazem mais resistentes ao ataque dos sulfatos presentes neste tipo de estrutura. Ademais, são exigidas mísulas, com 15 cm de lado, no encontro entre paredes e entre parede e laje de fundo. O objetivo destas mísulas é reduzir as tensões nos cantos, além de evitar a deposição de materiais sólidos. Outra consideração importante é a exigência com o recobrimento da armadura. Em todas as unidades onde a estanqueidade seja primordial, foi exigido um recobrimento de 4,0 cm, objetivando proporcionar maior proteção às barras da armadura. A norma ainda define que o menor diâmetro de armadura a ser utilizado nas obras de saneamento é de 5,0 mm. A armadura de distribuição deve ter, no mínimo, 20% da seção da armadura principal e espaçamento máximo igual à dimensão mínima da peça, não podendo, entretanto, ser maior do que 15cm. As partes da estrutura que devam ser estanques, devem ter, junto às faces interna e externa, malhas de armadura com espaçamento máximo de 15cm em cada direção, observando-se os requisitos mínimos especificados anteriormente. Também as juntas de concretagem já devem estar previstas no projeto estrutural, o que vem a auxiliar e aprimorar a execução das unidades.

Com base nos estudos geotécnicos e as sobrecargas especificadas em projeto, foram adotadas fundações diretas para todas as unidades à exceção dos tanques de aeração, onde foram utilizadas estacas perfuradas, conforme figura 6. Pode-se considerar que a movimentação de terra foi de grande porte, uma vez que tanto os decantadores primários e secundários, quanto os tanques de aeração foram executados como estruturas apoiadas e, após o teste de estanqueidade, foram totalmente aterrados, conforme demonstrado na figura 7.

Todos os principais parâmetros de projeto (fck, a/c, consumo mínimo de cimento,



Figura 6 – Execução das estacas – Tanques de Aeração

c_{nom} , entre outros) estão explicitados nas notas de cada prancha (desenho), objetivando oferecer o maior número de informações ao executante.

Numa obra de grande porte, faz parte dos cuidados especiais e dos critérios específicos de projeto, a apresentação do método executivo. Consideramos que um bom projeto está diretamente associado a um bom planejamento, o que certamente incidirá em uma melhoria na qualidade da execução.

2.3 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

No aspecto construtivo, são inúmeras as peculiaridades de uma obra deste porte. A norma T175/ define parâmetros relacionados ao procedimento de recebimento em obra dos diversos materiais e equipamentos, além de um critério de armazenamento e controle de qualidade desses materiais. Estão especificados todos os ensaios de caracterização que devem ser realizados.



Figura 7 – Movimentação de terra

Foi exigido um plano de concretagem, onde ficou definida a ordem de concretagem das partes da estrutura; o volume a concretar e a duração das concretagens; o equipamento necessário para o lançamento, adensamento e o pessoal necessário para cada tarefa; o traço para cada peça e, finalmente, o plano de desforma e cura da estrutura.

Para a fixação das fôrmas paralelas, foi utilizado um sistema de união de faces opostas do tipo trespassante. O tirante fica envolto em um tubo de PVC e, após a desforma, ambos eram retirados simultaneamente. Em obras de edificações ou onde a estanqueidade não seja primordial, este é um procedimento comum e sem grande importância. No entanto, em se tratando deste tipo de estrutura, cada furo era tratado com especial cuidado. Após a retirada do tirante e do PVC, cada furo foi preenchido com "grout", devidamente adensado, de maneira a garantir a estanqueidade da unidade em questão.

No caso dos digestores, optou-se por utilizar o sistema de protensão. Devido a este processo adotado, foi grande a dificuldade em se fazer a concretagem das paredes, uma vez que a espessura das mesmas era de apenas 25 cm e considerando a dimensão das cordoalhas, sobrava-se pouco espaço para executar a vibração e adensamento do concreto. Outra particularidade adotada no caso dos digestores foi o uso da tecnologia de fôrmas deslizantes, de matriz francesa, que permitia erguer as paredes dos tanques a um ritmo de 20 centímetros por hora. Este fato permitiu executar cada um dos digestores de 18 metros de altura em apenas três dias. No preenchimento dos furos deixados pelos barrões da fôrma deslizante, foi utilizada uma calda composta por cimento portland de alta resistência inicial e um aditivo cristalizante, de maneira a garantir a aderência e estanqueidade do local.

Tanto o lançamento quanto o adensamento do concreto foram executados dentro dos padrões e recomendações das normas NBR6118 e T175/1. A altura de queda livre no lançamento do concreto não podia ultrapassar 1,5m, sendo que, em algumas peças, o concreto era lançado através de janelas executadas nas fôrmas. Estas, por sua vez, eram devidamente preparadas, limpas e saturadas para receber o concreto. Especial cuidado foi considerado ao se fazer o adensamento, uma vez que a densidade da armadura é bastante elevada. A máxima distância de introdução da agulha do vibrador era da ordem de dez vezes o diâmetro da mesma, não sendo permitido vibrar



Figura 8 – Segregação do concreto na região das juntas de dilatação

em regiões próximas à forma ou à armadura. O tempo máximo de vibração era de trinta segundos, recomendado para evitar uma segregação do concreto.

Para execução das juntas de concretagem, com ou sem a presença da junta de dilatação, era exigido que a superfície estivesse preparada. Esta preparação incide em apicoar a área delimitada até que o agregado graúdo ficasse exposto. Em seguida, foi efetuado um jateamento de água para retirar todas as partículas soltas que pudessem prejudicar a aderência. No processo de calafetação das juntas de dilatação, foi utilizado um produto à base de poliuretano com espessura máxima de 1 cm.

Nas paredes e laje de cobertura foi utilizada cura química, enquanto que, na laje de fundo, fez-se uso de lona umedecida ou lâmina d'água, em alguns casos.

Durante a execução da primeira etapa, observou-se o surgimento de microfissuras ocasionadas pelo elevado consumo de cimento e, conseqüentemente, elevada temperatura de reação interna dos componentes do concreto. Optou-se por contratar o especialista em tecnologia de concreto, Eng. W. Pacelli, que sugeriu algumas alternativas. Primeiramente houve a substituição da água de amassamento do concreto por água na fase sólida (gelo), na tentativa de reduzir a temperatura e a evaporação da mesma. Não foi possível observar uma melhoria considerável. Logo, optou-se por introduzir uma mangueira composta de pequenos orifícios por onde era liberada água de amassamento do concreto. Tampouco foi alcançado o resultado esperado ou alterações significativas. Por estas razões, para a segunda etapa de construção, foi necessária a alteração do traço, modificação no índice de fissuração, redução do consumo de cimento e adição de um aditivo superplastificante.

2.4 REPAROS NO CONCRETO

A norma interna da empresa, a T175/1, proíbe a execução de qualquer reparo antes da inspeção da Fiscalização. Todo reparo decorrente de falha construtiva deve ser executado com metodologias e materiais determinados pela Fiscalização.

No caso específico desta obra, foram observadas algumas falhas construtivas como segregação, sobretudo na região das mísulas e juntas de dilatação, conforme figura 8, pequenos orifícios em locais de fixação dos andaimes e dos tirantes das fôrmas, recobrimento insuficiente, pequenas fissuras e vazamento de líquido e dos gases no caso dos digestores.

Os testes de estanqueidade, como demonstrado na figura 9, foram efetuados em todas as unidades. Em alguns casos, somente após a realização destes testes foi possível detectar a presença de algumas fissuras e, conseqüentemente, pontos de infiltração. Estes locais foram tratados interna e externamente com diferentes sistemas, de acordo com cada situação.

Foram realizados diferentes procedimentos para o tratamento das fissuras, como pode ser visualizado na figura 10, definidos de acordo com a abertura das mesmas. As fissuras foram divididas em fissuras com abertura inferior a 2 mm e superior a 2 mm. Utilizou-se resina epoxídica com viscosidades diferentes, sendo a de baixa viscosidade aplicada nas fissuras com abertura inferior a 2mm. O processo de tratamento seguia o mesmo roteiro executivo para ambos os casos: demarcação da área, considerando uma faixa de 5 cm para cada lado da fissura e em toda sua extensão; utilização de uma lixadeira elétrica, limpeza da superfície sem utilização de água (somente um pano ume-



Figura 9 – Teste de estanqueidade – decantador secundário

3. Conclusões



Figura 10 – Recuperação da parede do decantador secundário

decido), aplicação da resina. Em alguns casos, foram utilizadas injeções de poliuretano com excelentes resultados.

As peças que apresentaram algum tipo de anomalia foram mapeadas e estudadas caso a caso, buscando desta forma a melhor solução e o procedimento mais adequado para a reparação.

No local onde ocorreram segregação e presença de pequenos orifícios, foi feito um apicoamento numa área previamente delimitada eliminando o concreto desagregado, seguido de uma jateamento de água para limpeza e umidificação do substrato. Finalizando, foi feito um preenchimento com grout.

Na laje superior dos digestores, onde foi detectado vazamento de gás, optou-se por utilizar um revestimento à base de poliuretano aromático elastomérico. Resultou ser de grande eficiência e o problema foi totalmente solucionado.

A elaboração de um projeto de uma grande estação de tratamento de esgoto requer toda uma tecnologia não só no que se refere ao processo de tratamento em si, como à conciliação entre um tratamento eficiente e um projeto estrutural que permita e forneça possibilidades para tal. Paralelamente, um processo construtivo cuidadoso e baseado nos princípios da responsabilidade, em tecnologia atualizada e na aplicação da ciência é fundamental para o êxito completo. Certamente ocorrem e ocorrerão falhas, mas o importante é fazer delas um aprendizado e estímulo para buscarmos sempre a perfeição.

Quanto à norma interna da COPASA, a T175/1 tantas vezes mencionada neste texto, está atualmente em revisão em função da recente reformulação da norma da ABNT NBR6118:2003. Os projetos atuais já estão mais rigorosos segundo alguns aspectos, como é o caso do fck e do recobrimento da armadura. Acreditamos, entretanto, que o sucesso de uma obra está no conjunto de fatores que somados garantem a qualidade da estrutura e o bom funcionamento da mesma. Esta preocupação começa, portanto, no projeto preliminar, passando pelo projeto básico, pelo estrutural e, finalmente, pelo controle rigoroso da execução. Ademais, é importante fornecer um manual de operação e utilização das estruturas, além da programação de uma manutenção e inspeção de cada unidade. ♦



Figura 11 – Foto aérea da ETE ARRUDAS

Construção e Saneamento

Samara Miyagi
Austin Asis

A precariedade das condições estruturais do Brasil, como por exemplo nos setores de transportes, habitação e saneamento básico, inibem diretamente um desenvolvimento mais expressivo da economia.

O setor de saneamento, em particular, possui um preocupante déficit de atendimento, em especial nos serviços relacionados a esgoto. Os resultados insatisfatórios do setor devem-se principalmente aos reduzidos investimentos, visto que, além de serem insuficientes para sanar os problemas existentes, os valores previstos nos orçamentos são bem diferentes dos aplicados efetivamente.

Tendo em vista esse cenário adverso da infra-estrutura nacional, o Governo Federal lançou, no início de 2007, o Programa de Aceleração de Crescimento (PAC). O principal objetivo do programa é aquecer áreas chaves para um melhor desenvolvimento da economia do País.

De acordo com o planejamento original do PAC, o investimento para 2007, somente nas áreas de habitação e saneamento será de R\$ 36,3 bilhões, sendo R\$ 27,5 bilhões e R\$ 8,8 bilhões, respectivamente. No setor de saneamento básico, o projeto prevê um total de R\$ 40 bilhões em investimentos, até 2010.

Os investimentos anunciados para este ano representam um considerável incremento comparativamente aos anos anteriores – em relação ao valor previsto e, possivelmente, no

montante real investido –, conforme pode ser observado no histórico apresentado na tabela abaixo, que contém investimentos efetivamente realizados.

A expansão dos investimentos em infraestrutura, inclusive na área de saneamento, deverá refletir diretamente no setor de construção, com destaque para as grandes obras.

Um dos segmentos que deverá sentir os reflexos positivos é o de tubos de concretos, tanto para escoamento sanitário – emissários e redes troncos de esgotamento sanitário – como em tubos utilizados na drenagem fluvial, empregados principalmente na drenagem de aeroportos, rodovias, galerias e bueiros.

Cabe ressaltar que o setor de saneamento básico poderá atrair a iniciativa privada, através das Parcerias Público-Privadas (PPPs), já que nos municípios brasileiros essa é uma área bastante carente em investimentos.

No entanto, como o mercado de saneamento não possui leis eficazes e específicas regendo o setor – no que tange a entrada de capital privado – o que, conseqüentemente, gera muitas incertezas e riscos aos possíveis investidores, estudos vêm sendo elaborados no intuito de se analisar a viabilidade de investir em parcerias.

Podemos inferir que para que as PPPs passem a ser uma realidade no setor de saneamento, de modo a incentivar ampliação

Fontes de recursos do PAC – Saneamento
(em R\$ bilhões – 2007/2010)

Fonte	2007	Investimento 2008-2010	Total
OGU	1,8	10,2	12,0
Financiamento ao Setor Público	3,0	9,0	12,0
Financiamento ao Setor Privado	2,0	6,0	8,0
Contrapartida (de estados, municípios e prestadores)	2,0	6,0	8,0
TOTAL	8,8	31,2	40,0

Fonte: Ministério das Cidades

Elaboração: Austin Asis

**Gastos federais efetuados em saneamento
(em R\$)**

ÓRGÃO	2003	2004	2005	2006
FGTS	119.025.437,76	317.266.292,15	547.968.773,94	858.143.754,07
BNDDES	0,00	12.305.900,00	27.122.596,88	874.446.390,98
Subtotal Oneroso	119.025.437,76	329.572.192,15	575.091.370,82	1.732.590.145,05
Cidades	163.850.580,97	224.926.122,56	267.636.737,15	521.602.897,13
Funasa/Saúde	336.729.094,07	344.215.388,51	246.648.551,68	587.187.289,86
Ministério da Integração Nacional	75.309.125,43	130.592.001,40	217.799.792,11	255.137.554,74
Outros	43.773.417,72	4.842.594,64	67.101.427,63	66.672.237,32
Subtotal Não Oneroso	619.662.218,19	704.576.107,11	799.186.508,57	1.430.599.979,05
TOTAL	738.687.655,95	1.034.148.299,26	1.374.277.879,39	3.163.190.124,10

Fonte: Ministério das Cidades

Elaboração: Austin Asis

de obras e maior cobertura de serviços, se faz necessária uma política de incentivos mais eficiente e atrativa para a iniciativa privada – ponto este, pouco explorado na nova lei de saneamento, estabelecida no início de 2007.

De maneira geral, caso os investimentos orçados para a área sejam realmente empregados, as perspectivas para o setor de saneamento serão bastante promissoras.

Em que pese os efeitos do PAC e a histórica problemática em relação aos atrasos na implementação efetiva dos recursos disponibilizados, estima-se que os primeiros resultados venham a ser sentidos a partir de 2008.

A partir daí, muitas obras e empreendimentos já deverão ter sido iniciados e, seguindo essa tendência, novos negócios deverão aquecer o desempenho do setor de construção no Brasil. ♦

Estudo do Setor de Saneamento Básico



A Austin Asis acaba de lançar a análise setorial de Saneamento Básico, que consiste numa importante ferramenta para o planejamento estratégico de companhias que atuam nesse mercado, bem como das construtoras que buscam maior demanda nessa área. O estudo aborda as principais barreiras e oportunidades de investimentos em melhorias e também os relevantes investimentos destinados ao setor para os próximos anos, tanto por parte do governo como por parte dos grandes investidores, influenciando e gerando oportunidade para outros setores da economia nacional. Tendências e perspectivas a curto e médio prazo são delineadas no estudo.

Para maiores informações: setorial@austin.com.br

Tecnologia e produção de concreto para obras de saneamento

Oswaldo da Rocha Soares Filho
Retech Serviços Especiais de Engenharia Ltda.

Flávio Renato Pereira Capuruço
Holcim Brasil S.A.

Este artigo tem como objetivo principal indicar alguns procedimentos básicos para se produzir o concreto, transportá-lo e aplicá-lo, visando atender à qualidade desejável e garantir as características especificadas nas normas técnicas e nos projetos estruturais para as obras de saneamento.

Atualmente, tem sido dada uma grande importância à área de tecnologia do concreto, principalmente no que se refere à durabilidade das estruturas de concreto, assunto este que ganhou grande destaque na última revisão das normas técnicas "NBR 6118/2004 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento" e "NBR 12655/2006 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento – Procedimento". Em se tratando de estruturas de concreto para saneamento, este conceito de durabilidade é ainda mais relevante, uma vez que o ambiente é bastante agressivo e a paralisação dos sistemas, tanto de água quanto de esgoto, é sempre complexa. Na falta de uma norma da ABNT, específica sobre concreto para obras de saneamento, a COPASA – Companhia de Saneamento de Mi-



Foto 1 – medição de slump test antes da aplicação do super plastificante

nas Gerais elaborou a *Norma Técnica T.175/1 "Projeto e Execução de Estruturas em Concreto para Obras de Saneamento"* (1993), atualmente em fase de revisão.

Se o concreto é fornecido por uma concreteira ou é produzido na própria central do construtor, as condições para obter-se um bom concreto são mais favoráveis. Nestes casos, é possível administrar as diversas variáveis envolvidas e ajustá-las. Conforme o porte e a localização do empreendimento, existe ainda a possibilidade da instalação de central móvel. Porém, nestas condições,

deve-se levar em consideração o prazo de execução da obra e o volume de concreto a ser produzido, pois em muitos casos estes itens não favorecem a logística, mobilização e montagem deste tipo de central.

Numa terceira e última hipótese, também se levando em consideração o volume de concreto a ser empregado na obra, a solução que resta é a adoção da produção do concreto através de betoneiras ou misturadores estacionários. Tal hipótese se constitui na de maior dificuldade para a obtenção de concretos nas condições de

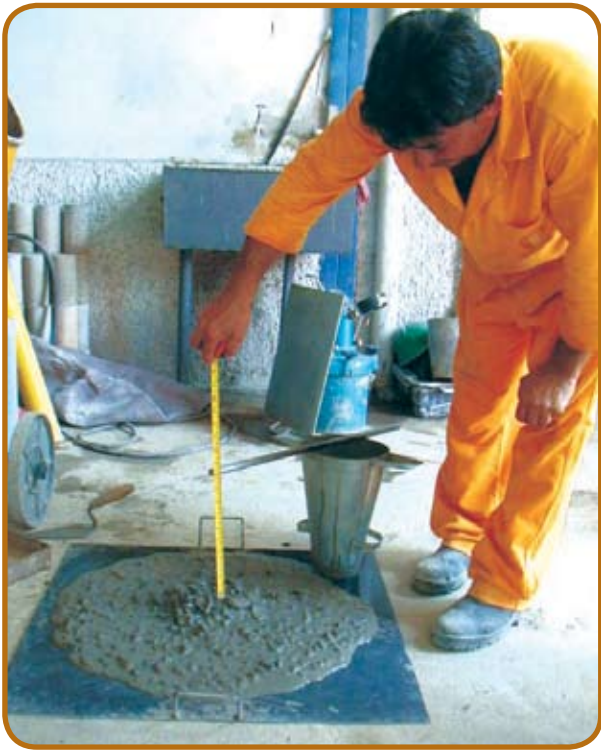


Foto 2 – medição de slump test após aplicação do super plastificante

qualidade desejadas. Os volumes produzidos por betonada são pequenos e o controle de umidade é bastante difícil por tratar-se de produção de concreto por sistema volumétrico. Para estes casos, é fundamental ter na obra um laboratório equipado, pelo menos, para execução de ensaios de caracterização dos agregados, controle da sua umidade, determinação da plasticidade e moldagem de corpos de prova. A operação deverá estar a cargo de um laboratorista experiente com capacidade para produzir, quando necessário, ajustes na dosagem. Nesta condição, o uso de aditivo super-plastificante, no intuito de se reduzir as possibilidades de fissuração, material importante quando se trabalha com baixos consumos de cimento e baixo fator água/cimento, seria praticamente impossível. Devido ao pequeno tempo “em aberto” que propicia ao concreto, seu uso fica difícil em função da velocidade de produção nestas condições.

A seguir apresentamos alguns critérios, por nós usados, para o estudo de concretos em Reservatórios de Água e de Esgoto, em obras de porte médio a grande.

Relação água/cimento

Conforme previsto na NBR 6118, em seu item 6 – “Diretrizes para a durabilidade

das estruturas de concreto”, pode-se enquadrar as obras de saneamento, em contato com água tratada ou esgoto, nas classes III ou IV, conforme a tabela 6.1 “Classes de agressividade ambiental”.

Com base nesta classificação, a NBR 12.655, em sua tabela 2 “Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto”, estabelece, para a Classe de agressividade III, relação água/cimento $\leq 0,55$ e para a classe IV, relação água/cimento $\leq 0,45$. Na Tabela 3, desta mesma norma, tem-se a recomendação para “Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água”, a relação água/cimento deverá ser $\leq 0,50$.

A Norma T.175 da COPASA, define em sua Tabela 3 – “Parâmetros estabelecidos em função das condições e local de exposição”:

- ◆ “Estruturas para Tratamento de Água”:
relação A/C $\leq 0,50$
- ◆ “Estruturas em contato com Esgoto e seus Gases”: A/C $\leq 0,45$.

Estes têm sido os valores, por nós adotados, para elaboração das Dosagens Racionais.

Agregados

Necessário se faz, inicialmente, uma avaliação na região onde será executada a obra, para conhecimento dos agregados disponíveis, bem como a capacidade de fornecimento de cada instalação.

Em todos os fornecedores que se encontram em condições de atender à obra, são coletadas amostras para ensaios de caracterização, conforme a norma NBR 7211 da ABNT. A partir destes ensaios, serão definidos os agregados a serem utilizados.

Na Central de Concreto os agregados deverão ser estocados em baias separadas, de forma a se impedir a contaminação entre eles. Devem ser cobertos por lona nos períodos chuvosos e homogêneos antes de se medir a umidade. A determinação da umidade deverá ser feita, pelo menos, três vezes ao dia, durante as concretagens.

Cimento

Tendo em vista as características das estruturas de concreto em obras de sanea-

mento, tem-se utilizado cimentos dos tipos CPIII, CPIV e CPV-RS ou cimentos especiais com propriedades específicas de baixo calor de hidratação, resistência a sulfatos, inibidor da reação álcali-agregado e resistências inicial e final compatíveis com o prazo de execução ou cronograma da obra.

Aditivos

Os aditivos usados normalmente para estes concretos são: plastificantes, plastificantes retardadores e super-plastificantes, estes últimos em geral a base de policarboxilato.

Dosagem racional

Para que se possa atender aos requisitos de durabilidade, estanqueidade e resistência à compressão, a dosagem racional do concreto, devido a sua complexidade, deverá ser desenvolvida por Laboratório de Tecnologia do Concreto e Materiais, com experiência comprovada.

Quando se adota uma dosagem de concreto, previamente estudada em laboratório, busca-se, numa primeira etapa, a reprodutibilidade e repetibilidade necessárias à execução da obra. Desta forma, devem ser levadas em consideração:

- ◆ As exigências estabelecidas no projeto estrutural e nas Normas Técnicas;
- ◆ As características geométricas das peças;
- ◆ Os materiais disponíveis na região;
- ◆ O equipamento em que será produzido;
- ◆ O meio de transporte e a distância entre o ponto de produção e o de lançamento do concreto;
- ◆ As condições de lançamento, inclusive com relação ao tempo necessário;
- ◆ O sistema de adensamento a ser adotado, entre outros.

Quanto à dosagem propriamente dita, no que tange aos aditivos, normalmente se faz uso combinado de polifuncional com super-plastificante a base de policarboxilato. Nestas condições, o concreto deverá ter inicialmente uma plasticidade da ordem de 20 a 40 mm, obtida com a ajuda do polifuncional, devendo atingir uma plasticidade de 200 a 220 mm com a adição do policarboxilato.

Uma característica muito importante é o tempo em aberto (*pot life*) deste concreto,

que, normalmente se situa entre 50 e 70 minutos, dependendo das condições atmosféricas, das dosagens e dos materiais utilizados. Para se conhecer este parâmetro, estuda-se a perda de abatimento do concreto, em intervalos de 15 minutos.

Com relação aos agregados é necessário, para se conseguir um bom funcionamento do policarboxilato, que o teor de finos passando na peneira 0,15 mm, existente no traço, seja da ordem de 480 kg/m³ do concreto. O teor de argamassa usual é da ordem de 54%.

Com base nestes parâmetros é possível, quando a relação A/C = 0,45, trabalhar-se com consumo de cimento da ordem de 370 kg/m³, e para A/C = 0,50 com 330 kg/m³, dependendo dos agregados e do cimento.

Central de concreto

As instalações deverão ser compatíveis com as características e volumes dos concretos a serem produzidos. Todos os equipamentos deverão estar aferidos: as baias deverão ter cobertura e as balanças deverão ter capacidade de pesar, de uma só vez, os materiais necessários ao carregamento do volume do Caminhão-Betoneira.

O fluxo de entrada e saída dos Caminhões Betoneira, na posição de carregamento, deverá ser previamente estudado de forma a reduzir ao máximo o tempo de cada carregamento e assim melhorar a produtividade da Central.



Foto 3 – medição de espalhamento do concreto – flow

Caminhões-betoneira

Deverão ser vistoriados periodicamente, visando avaliar o número de rotações por minuto da cuba em velocidade de mistura, a limpeza das cubas e das palhetas, o nível de desgaste das palhetas e a aferição do hidrômetro.

Preparo da carga do caminhão-betoneira

Neste caso, deve-se considerar duas hipóteses:

- ◆ Central de Concreto instalada na obra ou próxima a mesma;
- ◆ Central de Concreto externa.

Na primeira hipótese, pode-se ajustar o concreto na própria Central e liberar o Caminhão Betoneira para a frente de concretagem.

Na segunda hipótese, o concreto deverá ser transportado até a frente de concretagem, sendo aí então adicionado o aditivo superplastificante e liberado para lançamento.

Em ambos os casos, deverá ser medida a plasticidade do concreto e acompanhado o tempo de descarga, em função do tempo estabelecido pelo Laboratório responsável pela dosagem.

Lançamento

De uma maneira geral, as obras de porte médio a grande fazem o lançamento do concreto através de bombas. Neste caso é fundamental que se faça, com antecedência, o plano da concretagem de forma a se definir a capacidade de aplicação do concreto, o posicionamento das bombas, o sentido da concretagem, bem como as alternativas existentes em caso de ocorrer alguma falha nos equipamentos.

O lançamento deverá ser feito considerando a capacidade de suporte das fôrmas, quando se tratar de paredes, o tempo em aber-

to do concreto, o tempo de aplicação de cada camada de forma a se evitar junta fria.

Adensamento

Os concretos com plasticidade da ordem de 200 mm são praticamente auto-adensáveis. Assim sendo, a vibração tem a função de acomodar o concreto e deverá ser feita com cuidado para se evitar a segregação.

Cura

Nos concretos para obras hidráulicas a cura é fundamental para se evitar a fissuração por retração. Assim sendo, deve-se adotar, para lajes, cura com lâmina d'água. Neste caso, em peças de maior dimensão usa-se, durante a fase de concretagem e tão logo se perceba a perda superficial de água, manta de "bidin" saturada. Para as paredes deve-se usar a cura química que deverá ser aplicada simultaneamente com a desforma.



Foto 4 – medição de ar incorporado no concreto

Fissuras

Fechando este artigo é importante um pequeno comentário sobre as fissuras, anomalia extremamente prejudicial em obras de reservatórios. Nem sempre se consegue evitar o seu aparecimento, principalmente quando ocorrem nas paredes devido à coação exercida pela laje concretada e já resistente, em relação às paredes recém concretadas. A tentativa para se impedir o seu aparecimento passa por um acréscimo significativo na armadura, fazendo com que, o custo daí advindo torne, na maioria das vezes, inviável tal procedimento. Assim sendo, deve-se tomar o máximo cuidado em todas as fases do processo e se ainda assim vierem a ocorrer, podem ser tratadas através de injeção de resina de poliuretano, microcimentos, etc. ◆

A importância da boa comunicação na prática da engenharia

Maria Regina Leoni Schmid
Rudloff Sistema de Protensão Ltda.

Introdução

Após alguns anos de trabalho no desenvolvimento de comunicação voltada à engenharia, constatamos a existência de um vazio entre a prática da comunicação visual e a realidade da comunicação técnica no panorama nacional. Devido a isso, desenvolvemos uma pesquisa inédita a respeito desta forma de comunicação, que foi a base para dissertação de mestrado desenvolvido na Universidade de São Paulo, finalizado em 2006. A pesquisa mostrou-se de grande utilidade para faculdades de engenharia perceberem a importância da inserção de disciplinas de comunicação em seus currículos, assim como mostrou-se útil como orientação à atuação dos profissionais envolvidos com a criação da comunicação técnica em geral.

A escolha do tema desta pesquisa deu-se após percebermos que a comunicação visual de assuntos técnicos de engenharia nem sempre apresenta a informação de forma fiel ao seu conteúdo original, ou nem sempre o faz com a preocupação de oferecer conforto ao usuário da informação. Contudo, a engenharia depende da transmissão adequada de informações, principalmente técnicas, para o seu bom funcionamento e crescimento. Assim, a comunicação é a sua principal ferramenta e o estímulo fundamental para o seu desenvolvimento. É ela que garante a disseminação dos conceitos e descobertas no campo da engenharia e possibilita que eles sejam usados e desenvolvidos.

O foco de estudo

Para limitarmos o campo de estudos da pesquisa, definimos como foco de estudo o catá-

logo técnico de produtos de engenharia, devido à sua característica intrigante de ser um elemento cuja existência transita entre uma manifestação pura de comunicação técnica e uma ferramenta de marketing institucional. A realidade do catálogo técnico encontra-se entre dois objetivos, um instrucional e técnico, o outro publicitário; um com a função de instruir e convencer ética e tecnicamente, o outro de persuadir e convencer comercialmente; um responsável pela transmissão do conteúdo explícito e claramente exposto, o outro por transmitir idéias implícitas sutilmente colocadas. Isso também acontece em outros tipos de comunicação de conteúdos técnicos.

A necessidade da atenção especial a este tipo de comunicação pode ser justificada pelos critérios expostos por Rosenfeld e Morville¹, entre os quais destacamos:

- ♦ O custo para se encontrar informações em ambientes mal organizados é caro. O tempo no ambiente profissional é um bem precioso e a sucessão de pequenos períodos extras gastos diariamente em busca de informações que existem, mas não estão claras, pode prejudicar o desempenho dos funcionários e frustrar clientes.
- ♦ O custo por não se encontrar informações relevantes no ambiente profissional é igualmente elevado e pode resultar em decisões inadequadas, duplicação de esforços para se realizar uma tarefa, perda de clientes que não encontram informações necessárias no material da empresa, desperdício de tempo para se providenciar o suporte à ausência das informações.
- ♦ O valor da educação de clientes, ao se apresentar de forma adequada novas informações relativas aos assuntos de seu interesse, é inestimável.

-Serviços de fabricação, colocação protensão e injeção dos cabos

5.3. Injeção

Os equipamentos de mistura e injeção de calda (mata) de cimento são de concepção avançada e garantem a execução segura e conforme as normas existentes dos serviços de injeção do cabo. A injeção é um serviço de alta responsabilidade. O nível da estrutura de execução de obras da Rudloff - pessoal treinado e equipamentos modernos e eficientes - facilita o trabalho dos órgãos de fiscalização, contribuindo assim para o sucesso da operação.

VOLUMES DE CALDA, Kg DE CIMENTO E LITROS DE ÁGUA POR METRO LINEAR DE CABO, PARA RELAÇÃO ÁGUA-CIMENTO = 0,40-0,42

Baixa legibilidade da tabela

Diâmetro do Cabo	Kg de Cimento por Metro de Cabo	Litros de Água por Metro de Cabo	Volumen de Agua	
			kg/m	l/m
2 # 1/2"	φ 30	0,38	0,49	0,20
2 # 1/2"	φ 30	0,38	0,49	0,20
4 # 1/2"	φ 40	1,01	1,46	0,60
4 # 1/2"	φ 40	1,01	1,46	0,60
6 # 1/2"	φ 42	1,59	1,98	0,81
6 # 1/2"	φ 50	1,90	2,64	0,83
6 # 1/2"	φ 45	1,80	1,38	0,58
7 # 1/2"	φ 50	1,40	1,80	0,78
12 # 1/2"	φ 60	2,60	3,72	1,50
12 # 1/2"	φ 65	2,40	3,30	1,30
12 # 1/2"	φ 70	2,80	3,91	1,50
19 # 1/2"	φ 80	4,00	5,50	2,30
12 # 1/2"	φ 85	3,70	5,20	2,10
12 # 1/2"	φ 85	4,40	6,00	2,50
12 # 1/2"	φ 90	4,00	5,44	2,20
27 # 1/2"	φ 100	5,70	7,92	3,10
27 # 1/2"	φ 100	5,70	6,94	2,80
27 # 1/2"	φ 110	6,40	8,78	3,60

OBSERVAÇÕES:

Os valores dados acima são de utilidade para planejar uma operação de injeção de água e cimento necessárias, exceto nos aspectos das bainhas, nas lações da água do interior do cabo, e adas no mínimo em 20% para o cimento e água.

Lações de injeção com relação água-cimento 0,40-0,42 tem as seguintes características, que variam ligeiramente com as diversas marcas de cimento e quantidade de aditivos:

100 Kg de cimento (2 sacos) e 40-42 litros de água produzem 73-75 l. de calda

1 litro de calda tem 0,55-0,57 litros de água

1 litro de calda tem 1,34-1,38 Kg de cimento

Densidade da calda = γ = 1,9 Kg/litro

ENSAYO DE FLUÍDEZ COM O CONE DE MARSH

Procedimento

O cone será montado e nivelado firmemente em um tripé ou pedestal, sobre uma prancheta de vidro graduada até 1.000 ml.

Fechar o orifício de descarga inferior com o dedo.

Preencher o cone com a calda a ser ensaiada, até o nível indicado no orifício.

A medida do tempo de descarga será controlada através de um cronômetro a partir do momento da retirada do dedo do orifício inferior do "Cone de Marsh".

Observar se a subida da calda na prancheta, e quando o nível passar pela marca 1.000 ml., interromper o cronômetro.

O tempo indicado caracteriza a fluidez da calda.

Para uma injeção primária normal, 10-16 segundos é considerado um bom tempo.

Pouco espaço "em branco" ao redor dos elementos



Baixa qualidade da ilustração

O índice de fluidez da água no "Cone de Marsh" é de 6 segundos. **MISTURADOR "RUDLOFF"**
Tipo hélice, com motor elétrico de 2 HP e 1.200 rpm. Tempo de mistura: 6 minutos.
Capacidade: 2 sacos de cimento e 36 a 41 litros de água potável, segundo fator água cimento recomendado em ensaio de laboratório.

Pouca relação entre figura e texto ao redor



Baixa qualidade da ilustração

Remoção de um macaco automático com capacidade de 46 l. O cabo protendido de 27 cordoalhas de 12,7 mm é munido de uma ancoragem Rudloff tipo E 5-27.

Preparação
Retirada das formas e, caso do cabeçote da ancoragem rhas.

Colocação do equipamento
Posicionamento do apoio hidráulico.

Protensão
Protensão do cabo. O macaco com orifício central e dupla ação é acionado por uma bomba elétrica. Durante a protensão as cordoalhas são puxadas simultaneamente pela ancoragem auxiliar do macaco. A pressão hidráulica e o alongamento do cabo são registrados.

Ancoragem
Quando o perfil chegar ao fim do seu curso ou quando se atingir o alongamento desejado, a pressão no macaco é aliviada e as cordoalhas se ancoram automaticamente no cabeçote da ancoragem.

Acabamento
Remoção do equipamento do local de ancoragem.

Corte das pontas das cordoalhas.

Concretagem do nicho da ancoragem.

Injeção do cabo com calda de cimento.

Muita informação em pouco espaço

- ♦ O custo para se produzir um material de comunicação é muito elevado para que ele necessite ser refeito por não ter sido bem organizado.
- ♦ O custo do treinamento para se usar um sistema é elevado e pode ser reduzido através da sua simplificação, com informações apresentadas de forma coerente.
- ♦ O valor de uma marca não está somente associado à estética agradável apresentada por seu material de comunicação, mas também à sua eficiência em transmitir informações úteis de forma prática.

O catálogo técnico é uma das diversas formas possíveis de manifestação do design da informação, disciplina que orientou o desenvolvimento desta pesquisa.

técnicos, publicações científicas, materiais educativos, sinalizações, softwares, websites e vários outros.

Design da informação é uma junção de disciplinas, envolvendo pelo menos soluções visuais, de escrita e de usabilidade. Assim, disciplinas como o design gráfico, a lingüística e a arquitetura da informação, entre outras, estariam para o design da informação, assim como geometria, cálculo e álgebra estão para a matemática, formando um conjunto complexo onde cada elemento é igualmente importante. Conseqüentemente, para atuar perante as diversas áreas constituintes do design da informação, cabe ao profissional uma formação multidisciplinar, além do conhecimento das tec-

nologias tratadas em cada produto específico que ele desenvolve.

A comunicação técnica

A comunicação técnica é uma ferramenta essencial a ambientes técnicos e científicos para possibilitar a transformação de assuntos técnicos em informações mais práticas e acessíveis, daqueles que as conhecem e dominam, para aqueles que delas necessitam. Na prática da engenharia, esta é a forma de comunicação que permite a transmissão de resultados de estudos técnicos de maneira clara e compreensível, possibilitando o seu entendimento tanto a profissionais da área, com os mais variados graus de instrução, quanto a leigos.

Para ser bem sucedida, esta forma de comunicação requer que se leve em consideração os seus três principais constituintes, que são a mensagem, o emissor e o receptor, de forma cuidadosa.

Ao se tratar de uma comunicação técnica, existe uma necessidade natural do material ter um conteúdo relevante, prioritária à necessidade da sua satisfação do ponto de vista estético. Enquanto outros tipos de comunicação podem ser bem sucedidos somente por uma apresentação estética adequada, a comunicação técnica requer mais do que isso, ela necessita gerar credibilidade pelo seu conteúdo. Uma produção visual excepcional não substitui eventual falta de conteúdo técnico.

Na transmissão da informação, o fato de um material possuir deficiências em sua apresentação estética, sendo porém legível e confiável no que diz respeito ao seu conteúdo, não impede a sua utilidade, do ponto de vista da transmissão de informações técnicas. Porém, a recíproca não é verdadeira e, se as deficiências estiverem relacionadas ao conteúdo técnico, não há recursos estéticos que possam esconder essa realidade e criar a mesma confiabilidade que informações técnicas proporcionariam. Mijksenaar² explica o motivo disto, ao defender que a beleza de um material é uma consequência de seus aspectos racionais, e não uma característica que ocorre de forma independente.

O profissional da comunicação técnica

No dia-a-dia da engenharia, a comunicação técnica costuma ser desenvolvida principal-

mente por um engenheiro ou por um comunicador. Porém, percebemos que na realidade da prática da engenharia ocorre que em grande parte dos casos, tanto comunicadores quanto engenheiros não têm uma formação adequada para unir comunicação com engenharia e chegar a um resultado eficaz.

Acreditamos que esta é a principal justificativa para o fato de que em países europeus e norte-americanos, onde a prática da disciplina comunicação técnica é mais intensa, é comum o seu ensino ser responsabilidade de faculdades de tecnologia, e não de comunicação. Existe, atualmente, um reconhecimento da comunidade científica internacional de que engenheiros devem estar habilitados para comunicar, além de atuar tecnicamente. Em se tratando da realidade nacional, porém, esta mentalidade ainda não é senso comum. Através de consulta a diversas faculdades nacionais de engenharia, constatamos que boa parte delas não possui, em sua grade curricular, alguma disciplina diretamente voltada à prática da comunicação técnica ou ao estudo da informação.

Contudo, a percepção de que a atuação do engenheiro no local de trabalho envolve não somente problemas técnicos parece estar, aos poucos, mudando o ensino de engenharia. A alteração do foco na formação de profissionais da engenharia, em busca de um profissional mais versátil e dinâmico, parece ser uma tendência mundial.

É importante esclarecermos, porém, que ao abordar a comunicação em seus currículos, a engenharia não tem a pretensão de substituir profissionais da comunicação por engenheiros, uma vez que ambos possuem seus campos de trabalho bem delimitados e necessitam de anos de formação e prática para adquirir suas habilidades. Não estamos defendendo que atividades profissionais de comunicação sejam feitas por engenheiros, nem que engenharia seja feita por comunicadores. Porém, o que tem se mostrado como uma necessidade, é que os profissionais de comunicação técnica sejam mais especializados para a atividade de "comunicar tecnicamente", com a habilidade de possibilitar uma transdisciplinaridade entre conhecimentos de comunicação e conhecimentos do assunto técnico a ser comunicado. Assim como a formação de engenheiros está se abrindo mais para o lado da comunicação, seria desejável que a formação de comunicadores atuantes junto à comunicação técnica envolvesse igualmente assuntos mais técnicos.

O que defendemos é a presença de um profissional mais completo para desenvolvimento da comunicação técnica, seja ele engenheiro ou comunicador. Um profissional que tenha domínio do assunto que está sendo tratado no material de comunicação e que, além de sua formação convencional, tenha capacidade de:

- ◆ Oferecer um material confiável – isso pode gerar a necessidade de mostrar ao receptor fontes oficiais e seguras que geraram as informações.
- ◆ Pesquisar e aprender através de fontes diversas sobre a informação que precisa ser transmitida. Dificilmente, uma fonte única será capaz de sintetizar todos os dados que farão parte de uma informação bem projetada.
- ◆ Entender como a informação que está sendo criada será experienciada e comunicada aos receptores. A informação somente tem valor quando comunicada com sucesso. Se não pode ser acessada ou compreendida, não tem qualquer valor.
- ◆ Manter-se fiel aos objetivos que a informação está direcionada a atender durante todo o processo de desenvolvimento do material. Alcançar os objetivos corretos é a proposta de informações e a razão pela qual elas precisam de um design específico.
- ◆ Estar atento ao contexto e eventuais funções implícitas no material, normalmente relacionados a organizações. Transformá-los pode significar tanto a necessidade de alterações na sua aparência, quanto na forma de funcionamento das organizações. Pode significar adição de algo novo ao que já existe ou extinção de algo existente para resultar em uma nova forma de circulação de informações.
- ◆ Entender o contexto político, cultural, social, mercadológico, etc., onde a informação será inserida. Receptores são influenciados por fatores externos.
- ◆ Estar atento ao fato do design de uma boa informação não estar limitado ao produto final – é necessária atenção para a criação e disseminação de informações durante todo o seu desenvolvimento. Se a informação e a comunicação com o cliente não forem bem projetadas, é provável que a informação não seja transmitida de forma adequada e não alcance a compreensão desejada.
- ◆ Buscar simplicidade e clareza: materiais muito complexos podem causar problemas

de usabilidade e falta de transparência ao usuário da informação. A análise de documentos existentes pode auxiliar na criação de documentos mais claros.

- ◆ Verificar a possibilidade de reduzir a informação do material – nem sempre é necessário se mostrar tudo de uma só vez, o que em muitos casos sobrecarrega o receptor.
- ◆ Ter certeza que a informação promove compreensão e é facilmente integrada, destacável de ruídos, memorável e suficientemente relevante, considerando tanto as necessidades do receptor, quanto os objetivos do emissor.
- ◆ Ter capacidade de dar formas variadas a uma mesma informação, direcionando-a apropriadamente a diferentes canais, que podem envolver materiais publicados em mídias diversas, impressas ou eletrônicas.
- ◆ Prever maneiras de medir o impacto causado pelas modificações conseqüentes de um desenvolvimento diferenciado do material de comunicação.
- ◆ Estar aberto a toda e qualquer disciplina do campo de conhecimento, encorajando e participando da prática de pesquisas sobre a informação, visando compreendê-la melhor e entender como as pessoas respondem a ela, como o cérebro humano a processa e constrói o conhecimento e como o homem organiza o conhecimento e o converte em comportamento.

Percebemos que a atividade de comunicar tecnicamente é bastante abrangente para ser feita por um único profissional. Acreditamos, porém, que isso não pode ser um fator de impedimento ao desenvolvimento de um bom material, pois na inexistência deste profissional, o desenvolvimento da comunicação técnica pode ser feito através de um conjunto de profissionais. Esse conjunto seria constituído por especialistas em comunicação e especialistas no assunto técnico tratado, trabalhando de forma integrada e procurando, através da parceria, superar as suas limitações. Uma exposição de Drucker nos possibilita fechar este raciocínio:

A evolução do conhecimento demanda, pela primeira vez na história, que pessoas com conhecimentos assumam a responsabilidade de se fazerem compreendidas por pessoas que não têm a mesma base de conhecimentos. Isso

³ DRUCKER, Peter. *Managing in a time of great change*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1995. p. 208.

requer que as pessoas aprendam, preferencialmente cedo, como assimilar no seu trabalho conhecimentos específicos de outras áreas e outras disciplinas³.

Considerações finais

A análise da comunicação técnica do ponto de vista do design da informação nos permitiu avaliar que sua prática não é tarefa simples. Porém, a interseção das duas disciplinas pode resultar em uma integração positiva e equilibrada entre o conhecimento intelectual inerente a uma informação técnica e a representação visual advinda de um produto de comunicação.

O estudo nos mostrou que a aceitação da informação por parte do seu receptor está relacionada ao valor que ela lhe representa. Já a aceitação da informação por parte do seu emissor está relacionada à ferramenta que ela lhe representa. Ao comunicador, cabe o desafio de conhecer o receptor da informação e desenvolver um material cuja funcionalidade atinja o maior número de consumidores possível. A comunicação técnica, acima de tudo,

requer interação contínua entre comunicador e seu cliente, em busca do balanceamento ideal entre a estética e o conteúdo, entre técnicas manipulativas e a transmissão de conteúdos técnicos.

Procuramos, com esta pesquisa, colaborar com a prática da comunicação de engenharia e de assuntos técnicos em geral. Pudemos constatar que o design da informação, com seu caráter multidisciplinar, é capaz de possibilitar à comunicação técnica resultados surpreendentes. Ainda há muito para ser estudado, pois as evidências que encontramos se referem a uma pesquisa de campo bem restrita. Porém, são suficientes para concluirmos que é possível existir uma relação positiva entre conhecimento intelectual e representação visual, entre um conhecimento abstrato e a comunicação visual, cuja relação é freqüentemente mal-entendida ao se tratar de comunicação técnica. No seu desenvolvimento, é possível se estabelecer critérios para que a polaridade comunicação técnica x comunicação visual constitua um conjunto integrado e eficaz.

A dissertação de mestrado citada neste artigo foi desenvolvida na USP e encontra-se disponível para download no site www.rudloff.com.br ♦

Programa MasterPec Master em Produção de Estruturas de Concreto

Cursos programados para o 49º Congresso Brasileiro do Concreto,
em Bento Gonçalves RS



Domingo, 2 de Setembro de 2007

Manhã – 9h00 às 10h30
Coffee Break – 10h30 às 11h00
11h00 às 13h00

Sala 1

Técnicas modernas para Diagnosticar, Reparar e Prevenir deficiências em Estruturas de Concreto

O curso apresenta uma visão global da problemática das anomalias estruturais e suas possíveis soluções racionais. Discorre sobre os conceitos modernos de responsabilidade social, custo total, confiabilidade, vida útil, prevenção de falhas aplicável às etapas do processo construtivo, entre outros. Apresenta exemplos de diagnóstico, recuperação e instrumentação.

Raul Husni

Engenheiro Consultor e Projetista. Professor Titular do Departamento de Construções e Estruturas da Faculdade de Engenharia da Universidade de Buenos Aires. Autor de numerosas publicações desta especialidade. Co-diretor da Revista Ingeniería Estructural da Asociación de Ingeniería Estructural, da qual já foi presidente.

Patrocinador



Sala 2

A evolução dos agregados na tecnologia do concreto convencional e arquitetônico

O curso apresenta histórico da evolução técnica na produção e nos critérios de escolha dos agregados para concreto e suas perspectivas. Analisa as principais alternativas de seleção e uso de agregados convencionais e alternativos. Discute sobre os resultados das pesquisas recentes e as tendências atuais no uso dos agregados e sua normalização.

Claudio Sbrighi Neto

Doutor em Engenharia. Geólogo Consultor, especialista em patologia dos materiais. Professor Titular da Faculdade de Engenharia da FAAP e do Curso de Pós-graduação do IPT. Coordenador do Comitê Técnico da ABNT sobre agregados. Diretor-Primeiro-Vice-Presidente do Ibracon.

Patrocinador



Carga horária: 4 horas – **Local:** FUNDAPARQUE
Inscrição: www.ibracon.org.br

Informações: Marta
Tel.: 11 3735-0202 – marta@ibracon.org.br

Armadura de retração em reservatórios

Antonio Carlos Reis Laranjeiras
Universidade Federal da Bahia

1. Introdução

A deficiência das armações para controle da fissuração provocada pela retração do concreto nas paredes e lajes de fundo dos reservatórios e piscinas é causa freqüente de seus vazamentos. A prática de projeto privilegia, geralmente, o dimensionamento das armações para resistir aos empuxos, sem dispensar a devida atenção ao controle da fissuração gerada pelas deformações impostas como a retração.

O objetivo desse documento é o de ressaltar a importância das armaduras de retração na garantia da estanqueidade de reservatórios e piscinas pelo relato de casos reais.

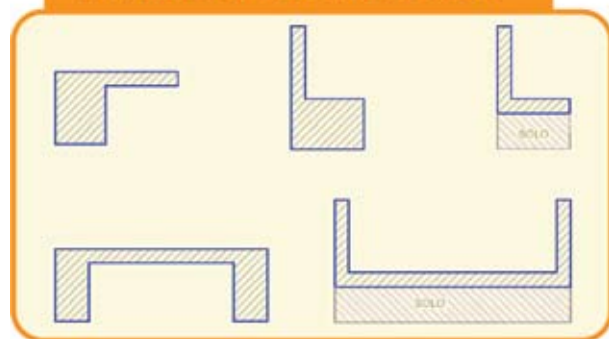
2. A origem da fissuração

Se um elemento de concreto estiver inteiramente isolado, as suas variações de volume, provocadas por retração, deformação lenta ou variação de temperatura, não induzirão quaisquer forças no mesmo. Nas estruturas reais, no entanto, as interligações entre os diversos elementos e com seus apoios funcionam como restrições a essas variações de volume. A fissuração ocorre quando as forças de tração geradas por essas restrições são suficientemente grandes para vencer sua resistência à tração. Nos reservatórios, esse é um problema crítico, pois essas fissuras ameaçam sua necessária estanqueidade.

A figura 2.1 identifica casos simples de interligação entre elementos que oferecem restrições às alterações diferenciadas de volume entre elementos mais robustos, que retraem mais lentamente, associados aos elementos esbeltos, que retraem mais rapidamente.

A última figura abaixo, à direita, pode representar a seção transversal de um reservatório ou mesmo de um canal, pela qual se percebe

Figura 2.1 – Interligações entre elementos estruturais que podem gerar restrições recíprocas às alterações volume dos mesmos



que o solo restringe o encurtamento da laje do fundo, por atrito, e esta, por sua vez, impede o livre encurtamento das paredes.

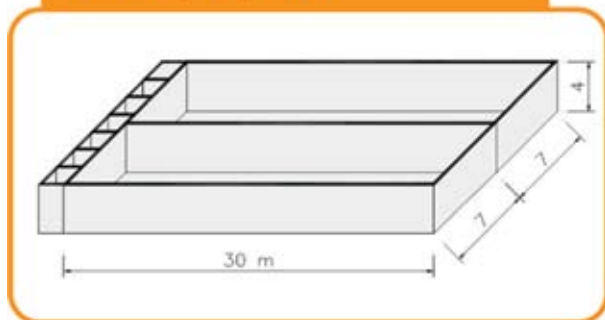
Essas restrições assumem caráter crítico quando geram forças de tração nas direções das peças em que os esforços provocados pelas cargas inexistem ou são pequenos, incapazes de se contrapor a essas forças. Exemplos de situações críticas como essas são as das lajes em balanço, na direção longitudinal, perpendicular ao balanço; as das lajes-corredor de grande comprimento, na direção do lado maior; as das paredes dos reservatórios, na direção horizontal e as das lajes de fundo, em ambas direções, quando apoiadas no solo.

3. Estudo de casos

3.1. CASO 1

Tanques de decantação da Estação de Tratamento de Água, na cidade de Juazeiro, BA. A Figura 3.1 identifica a forma e dimensões desses reservatórios apoiados no solo.

Figura 3.1 – Geometria dos tanques de decantação da E.T.A, Juazeiro, BA, 1967



Consta do Relatório de Vistoria: “O tanque de decantação da estação de tratamento de água de Juazeiro, BA, de concreto armado, apresentou vazamento de água, após ter sido colocado em carga, o que prejudicou sua utilização.”

Pela configuração das fissuras (figura 3.2), supõe-se que deficientes armações, horizontal das paredes e longitudinal da laje do fundo, entraram em escoamento com a fissuração e seus alongamentos permitiram as acentuadas trincas e vazamentos observados.

3.2. CASO 2

Tanque de decantação de água do mar, estação TS-2, campo de Taquipe, Petrobrás, BA. Esse reservatório, cujas dimensões são apresentadas na figura abaixo, tem as paredes e laje do fundo divididas em painéis de 10 e 15m, interligados por perfilados SIKA, do tipo Fugenband. As paredes têm espessura de 1m na base e a laje do fundo entre as fundações das paredes tem apenas 10cm de espessura.

Do Relatório Técnico da vistoria consta: “Os decantadores de água do mar da estação TS-2, apesar de concluídas suas obras há mais de um ano, não foram ainda recebidos definitivamente pelo seu proprietário - a Petrobrás. A razão desse fato é que, ainda em fase de experimentação, apresentaram fissuras e vazamentos que impedem sua utilização.”

Figura 3.2 – Fissuração dos tanques de decantação da E.T.A, Juazeiro, BA, 1967

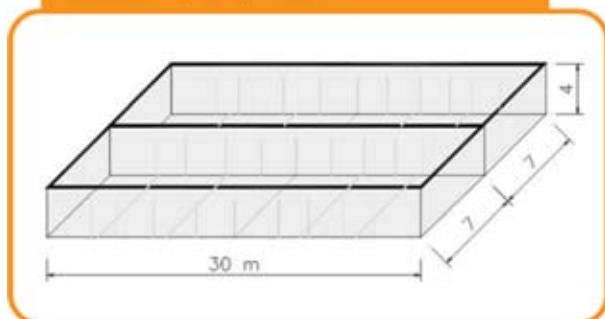
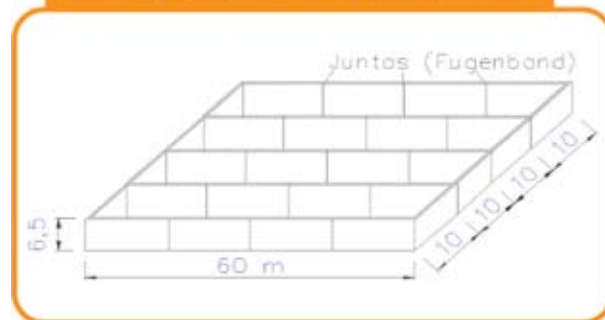


Figura 3.3 – Geometria dos tanques de decantação, campo de Taquipe, Petrobrás, BA, 1972



A Figura 3.4 representa, esquematicamente, as fissuras localizadas nas paredes, nos intervalos entre juntas verticais

3.3. CASO 3

Tanque de água bruta da Estação de Tratamento de água do mar, campo D. João, Petrobrás, BA, 1972.

O reservatório, cujas dimensões estão indicadas na figura abaixo, tem paredes com espessura variável, de 50cm na base e 20cm no topo, divididas em painéis de 8m de comprimento, interligados por perfilados do tipo Fugenband. A laje do fundo com 15cm de espessura é, do mesmo modo, dividida em painéis. As linhas verticais da Figura 3.5 representam as juntas.

Consta do Relatório da Vistoria: “Constata-se presença sistemática de fissuras na laje do fundo e fissuras verticais nas paredes a meia distância ou a 1/3 da distância entre juntas.” O quadro de fissuração observado é típico do efeito das restrições à retração.

3.4. CASO 4

Tanques de Detenção da Central de Incineração da CETREL (Central de Tratamento de Efluentes Líquidos), Polo Petroquímico, Camaçari, BA, 1991.

Figura 3.4 – Fissuração dos tanques de decantação, campo de Taquipe, Petrobrás, BA, 1972

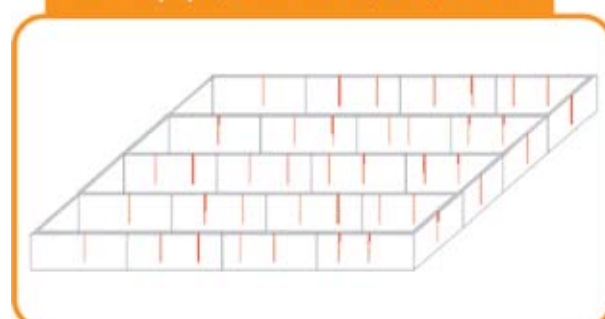
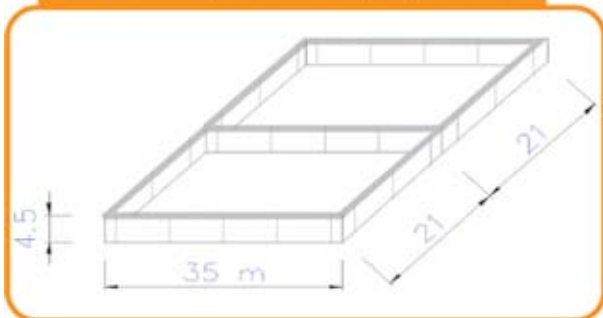


Figura 3.5 – Geometria dos tanques de água bruta do campo de D.João, Petrobrás, BA, 1972



Trata-se de um reservatório semi-enterado, com as paredes e laje do fundo com 20cm de espessura, e demais dimensões conforme indicadas na Figura 3.6.

Consta do Relatório da vistoria: “Observam-se trincas bem visíveis em todas as paredes...” “Estas trincas estendem-se verticalmente por toda a altura das paredes, seccionando-as de um lado a outro, com aberturas medidas de 0,2 a 0,3 mm (ao topo das mesmas).” “A armadura horizontal das paredes é de apenas 0,4% de sua seção.”

3.5. CASO 5

Tanques de decantação (separador de água e óleo), Refinaria Landulfo Alves, Madre de Deus, BA.

Trata-se de um reservatório apoiado no solo, com comprimento de 56m, paredes de 20cm de espessura, laje do fundo de 25cm e demais dimensões na Figura 3.7.

Os vazamentos devidos à fissuração das paredes podem ser observados na foto que se segue, pelas manchas de óleo e eflorescências nas faces externas das mesmas.

O que chama a atenção nesse caso é que a armadura de retração utilizada já é maior do que o usual na prática corrente de projetos, mas ainda assim insuficiente para garantia da estanqueidade. A armação horizontal de pro-

Foto 3.1 – Vista parcial dos tanques de decantação da CETREL, Camaçari, BA, 1991



reto nas paredes é de $\phi 10$ C/10, em cada face, que corresponde a uma taxa de 0,8%.

3.6. CASO 6

Canal de Adução da Pequena Central Hidrelétrica de Alto Fêmeas, BA, com mais de 1000 m de comprimento, vistoriado ainda na fase de construção, em 1989, em virtude da acentuada fissuração das paredes, no trecho já executado.

O canal, cujas dimensões estão indicadas na figura abaixo, tinha juntas de movimento a cada 24 m e juntas de concretagem a cada 6 metros, todas vedadas com perfilados do tipo Fugenband.

Consta do Relatório de vistoria: “As paredes do Canal apresentam trincas verticais, coincidentes com as juntas verticais de concretagem, com aberturas máximas de 0,4 mm” “Observam-se outras trincas intermediárias, entre juntas de concretagem, com valor máximo de 0,35 mm”

A taxa de armadura horizontal nas paredes, referida à espessura média das mesmas, é de apenas 0,22%, equivalente a uma simples armadura de pele.

Figura 3.6 – Geometria dos tanques de decantação da CETREL, Camaçari, BA, 1991

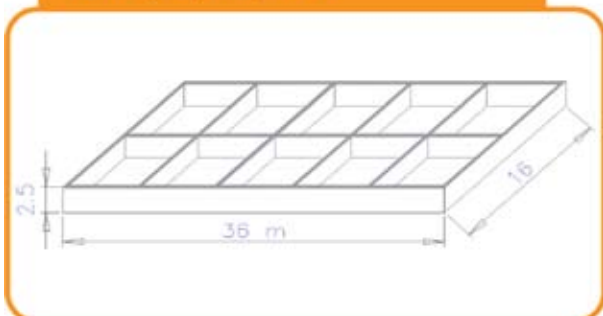


Figura 3.7 – Geometria dos tanques de decantação da Refinaria Landulfo Alves, Madre de Deus, BA, 1991

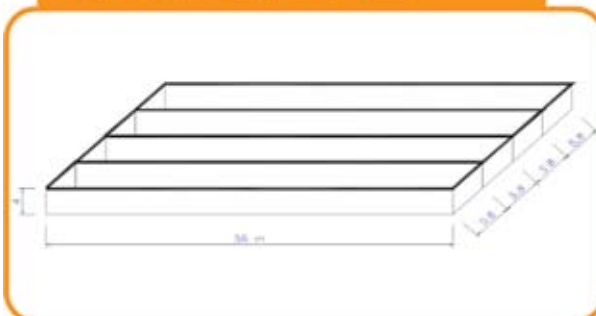
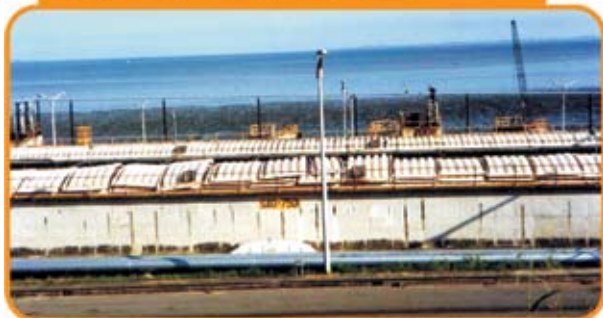


Foto 3.2 – Vista parcial dos tanques de decantação da Refinaria Landulfo Alves, Madre de Deus, BA, 1991



4. Omissão dos projetos

Algumas circunstâncias, relatadas a seguir, dificultam a incorporação de adequadas armaduras de retração à prática de projeto de reservatórios, canais e piscinas, apesar dos severos danos que sua deficiência provoca – como já salientavam, há mais de 30 anos, os Professores Fritz Leonhardt e Huber Rüschi.

A primeira dificuldade é o desconhecimento por grande parte dos engenheiros da existência desses severos danos de que fala a literatura técnica. Realmente, são danos que não ocorrem à época da construção ou imediatamente após a obra ser entregue ao uso, mas sim após decorridos, geralmente, alguns meses, quando os engenheiros já se afastaram e alimentam a falsa imagem de que tudo está bem em suas construções, e não há defeitos a registrar.

A segunda dificuldade é que os engenheiros associam essa armação àquela outra que a Norma e a literatura costumam designar de “armadura de pele”. Essa armadura, utilizada nas faces das vigas altas, tem função bem distinta da armadura de retração. De fato, a armadura de pele pretende evitar a ocorrência do fenômeno designado em Portugal por “arborização das trincas”, isto é, pretende evitar que as múltiplas fissuras existentes ao nível das armações longitudinais, na face inferior das vigas, se juntem mais acima para formar fissuras em menor número e, desconfortavelmente, mais abertas.

Essa armadura de pele, recomendada em nossa Norma, é de apenas 0,10% da seção da viga, em cada face (item 17.3.5.2.3). É natural que cause assombro que essa pseudo “armadura de pele”, de repente, para controlar a fissuração devido à retração, necessite ser 5 vezes maior. Ocorre-me a respeito que um colega, com justa razão, observou-me, em tom irônico,

sobre a exigência do item sobre a armadura de retração: Isso não é mais armadura de pele! Parecem mais “costelas de dinossauros”! Como aceitá-las tão desproporcionais?!!

A terceira dificuldade é que os engenheiros de estruturas, quando defrontados com esses tipos de danos, costumam transferir a causa de seus males para os vícios da prática construtiva. Imaginam que o problema bem que poderia ser resolvido na área da tecnologia, extraprojeto, através de dosagens e curas adequadas. Na verdade, o fenômeno da retração hidráulica começará sempre após a cura, não importa quão demorada e eficiente ela seja.

A quarta e última dificuldade aqui listada é que a exigência da armadura de retração é uma exigência nova e inédita nos textos de nossa Norma (item 17.3.5.2.2). É natural que ocorram questionamentos como, por exemplo: “Se é tão importante, por que só agora?” “O que há de errado em manter a prática anterior?”

A melhor ação para superar essas dificuldades é a de conscientizar os engenheiros da ocorrência das fissuras danosas nos reservatórios e assemelhados, que comprometem sua estanqueidade, em decorrência dos fenômenos da retração e da eficácia de uma armação adequada no controle dessa fissuração.

5. Conclusões

Os efeitos da retração são causa frequente de fissuração em paredes e lajes de fundo de reservatórios, piscinas e canais, com prejuízo de sua condição de estanqueidade.

As taxas de armação necessárias para controle dessa fissuração em paredes até 30cm de espessura é de pelo menos 1%. Esse valor refere-se a uma abertura de fissura $w_{90}=0,15\text{mm}$, a qual se colmata pela carbonatação do cimento, mantendo-se estanque. ♦

Figura 3.8 – Geometria da seção do canal de adução da Central Hidrelétrica de Alto Fêmeas, BA, 1989



Propiedades reológicas del hormigón autocompactable

Raúl Zerbino
Conicet-Lemit/UNLP

Bryan Barragán
Universitat Politècnica de Catalunya

Resumen

El diseño y aplicación del Hormigón Autocompactable (HAC) constituye uno de los temas de mayor interés en la actualidad dentro de la tecnología del hormigón. La caracterización reológica en estado fresco brinda información para diseñar diferentes clases de HAC y permite valorar la influencia de los materiales componentes así como el efecto de diversas variables externas. En términos reológicos un HAC se caracteriza por poseer una tensión umbral de cizallamiento muy baja y una viscosidad plástica capaz de garantizar el transporte, llenado y consolidación del hormigón sin segregación. Este trabajo analiza la reología del HAC, en primer lugar se presentan los conceptos reológicos y las variables que modifican la respuesta del hormigón fresco, destacando las características particulares del HAC; en segundo término se muestran resultados correspondientes a un programa de investigación en el que se empleó un BML Viscometer 3 (CONTEC) con el fin de ponderar la influencia de factores que afectan la producción del HAC como la temperatura del hormigón, el tiempo transcurrido luego de finalizar mezclado y las condiciones de exposición luego de la elaboración; finalmente se analiza la vinculación entre los parámetros reológicos y las medidas de los ensayos de tipo ingenieril más frecuentemente utilizados (escurrimiento y embudo en V).

Introducción

En las últimas décadas se han producido avances muy importantes en el campo de

la tecnología del hormigón. El desarrollo de los aditivos superfluidificantes ha dado lugar a nuevos tipos de hormigones denominados especiales. Entre los más recientes y que en la actualidad suscita gran interés por parte de la industria de la construcción se destaca el Hormigón Autocompactable (HAC). Este material fue desarrollado por iniciativa del profesor Okamura en Japón, quien lo definió como un hormigón capaz de fluir en el interior de los encofrados, pasar a través de las armaduras de refuerzo y llenar los elementos estructurales, compactándose solamente por la acción de su propio peso (1). En pocos años el HAC se ha desarrollado y aplicado en el resto del mundo (2-7).

Las propiedades en estado fresco constituyen una de las características salientes del HAC, ya que de ellas depende la calidad final de los elementos estructurales. En distintos países ya se han redactado especificaciones de uso y normas de ensayo. Como ocurre con otros hormigones para caracterizar al HAC en estado fresco se emplean ensayos de tipo ingenieril, sencillos, económicos y fáciles de realizar en obra. Sin embargo el uso de viscosímetros o reómetros permite una más completa caracterización del comportamiento y un mayor conocimiento del material y de los factores que lo modifican. Los estudios de reología han permitido interpretar el comportamiento del hormigón bombeado, el hormigón de alta performance y, más recientemente, la caracterización y diseño del HAC.

En este trabajo describe y analiza el comportamiento reológico del HAC. En primer lugar incluye una breve presentación de los conceptos de reología aplicados al hormigón y de las variables que modifican la respuesta de este material en estado fresco. Luego se muestran algunos resultados obtenidos en un extenso

programa experimental realizado con el propósito de analizar variables que afectan la producción del HAC, como el mezclado, la temperatura y las condiciones de exposición (8). Finalmente se muestran ejemplos de la vinculación entre las medidas de los ensayos ingenieriles y los parámetros reológicos.

Comportamiento reológico del hormigón fresco

La reología es la ciencia que estudia la deformación y flujo de la materia. Para definir el comportamiento reológico de un fluido se recurre a la denominada curva de flujo, que representa la relación entre el esfuerzo aplicado (τ , tensión de corte) y el gradiente de velocidades de deformación ($\dot{\gamma}$). En la Fig. 1 se muestran curvas de flujo de diferentes tipos de materiales (9). A los materiales que poseen un valor umbral por debajo del cual no se produce el movimiento se los conoce como viscoplásticos. Algunos fluidos responden al modelo de Bingham. Este modelo es uno de los que mejor representa el comportamiento de la pasta de cemento, el mortero y el hormigón; emplea dos parámetros para caracterizar el movimiento: el umbral de cizallamiento (τ_0) que representa la resistencia a la deformación en condiciones estáticas y la viscosidad plástica (μ), que se puede asociar a una resistencia creciente al movimiento (ecuación 1).

$$\tau = \tau_0 + \mu\dot{\gamma}$$

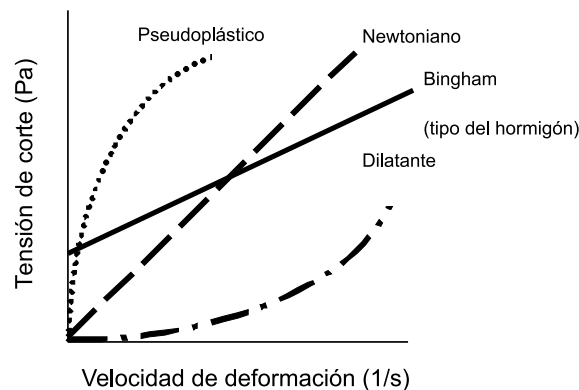
[1]

Los materiales que por encima de la tensión umbral se comportan como *dilatantes* o *pseudoplásticos* son mejor representados por otros modelos como el de Herschel-Bulkley (ecuación 2) donde a y b son constantes (10). Este modelo también ha sido utilizado para representar el comportamiento del HAC (11).

$$\tau = \tau_0 + a\dot{\gamma}^b$$

[2]

Figura 1 – Curvas de flujo características de diferentes tipos de materiales



Actualmente existen reómetros y viscosímetros especialmente desarrollados para determinar los parámetros reológicos del hormigón, entre los que merecen mencionarse el UBC rheometer, el BT RHEOM y el viscosímetro BML de cilindros coaxiales. Se ha comprobado una buena correlación entre las medidas de diversos aparatos (12). El comportamiento reológico típico responde a la ecuación [3] donde (T)

es el esfuerzo torsor, g es la resistencia al flujo (N.m) y h la viscosidad del torque (N.m.s).

$$T = g + h N$$

[3]

Los estudios reológicos han contribuido al mayor conocimiento de las propiedades en estado fresco de los materiales a base de cemento portland. Aunque la pasta es esencialmente agua y partículas de cemento, su comportamiento es bastante diferente a una suspensión de sólidos inertes; existen fuerzas de atracción entre las partículas que dan lugar a la formación de flóculos, poco tiempo después del contacto con el agua se producen rápidas reacciones que dan lugar a la disolución de iones y luego comienzan a formarse productos hidratados sobre las superficies de las partículas. Estas membranas que se forman en torno a los flóculos se rompen durante el mezclado por lo que el esfuerzo necesario para mover el sistema cambia en función de la velocidad de deformación (9).

La mayoría de los cambios que se producen en la composición del hormigón afectan su respuesta reológica (9). El contenido de agua afecta en forma notoria la viscosidad plástica y la resistencia al flujo, a mayor contenido de agua ambos parámetros se reducen en forma significativa. Los aditivos reductores de agua, en especial los superfluidificantes, reducen ligeramente la viscosidad plástica pero disminuyen en gran medida la resistencia al flujo. El aire incorporado reduce ambos parámetros, en general a medida que aumenta el contenido de

aire los efectos sobre la viscosidad son menores. En la Fig. 2 se esquematiza el efecto del cambio en los contenidos de agua, superfluidificante y aire incorporado.

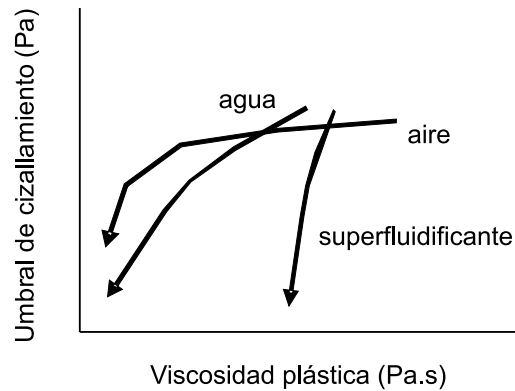
El tipo de cemento y las adiciones minerales también afectan la respuesta reológica. No es sencillo acotar el efecto del tipo de agregado, ya que cuando éste se modifica también cambian parámetros como el contenido de agua o el volumen de pasta; se ha encontrado que agregados con formas

redondeadas reducen significativamente la viscosidad plástica y, en parte, la tensión umbral. Además para el mismo conjunto de materiales existen otros factores que modifican la respuesta reológica, entre ellos se destacan el paso del tiempo y los cambios de temperatura.

Los estudios reológicos han permitido comprender el comportamiento del HAC y de ese modo han contribuido a un diseño más racional de este nuevo hormigón. En la Fig. 3 se comparan en forma esquemática curvas de flujo de un HAC, un hormigón convencional (HC) y un hormigón fluido de alta resistencia (HAR). Un HAR posee habitualmente mayor viscosidad plástica que un HC, debido a su menor relación agua/ligante, y también presenta menor umbral de cizallamiento. Un HAC posee tensión umbral casi nula y una viscosidad suficiente para garantizar el transporte, llenado y consolidación del hormigón sin que segregue.

En HAC la fluidez, la capacidad de pasaje y la resistencia a la segregación son fundamentales, pero en general las dos primeras se oponen a la última. Para lograr un HAC se

Figura 2 – Efectos sobre los parámetros reológicos del incremento en el contenido de agua, superfluidificante y aire intencionalmente incorporado



requiere una adecuada combinación entre la tensión umbral y la viscosidad plástica para lograr movilidad sin riesgos de segregación; en mezclas con alta viscosidad se requiere que la tensión umbral sea prácticamente nula, mientras que en un HAC menos viscoso es conveniente que aumente. Una combinación donde ambos parámetros (τ_0 y μ) fueran extremadamente bajos podría implicar riesgos de segregación. Esto coincide con lo sugerido por Nielsson and Wallevik (13) que han pro-

puesto (Fig. 4) una zona de autocompactabilidad en base a los parámetros reológicos determinados con un aparato CONTEC Viscometer 3.

Experiencias

La calidad final del HAC está directamente relacionada con sus propiedades reológicas en estado fresco; existen diversos factores que las pueden modificar y en consecuencia inciden en el control de producción del HAC. Entre ellos se destacan la temperatura del hormigón y la energía de mezclado.

En la Fig. 5.a se muestran curvas momento torsor (N.m) vs. velocidad (revoluciones por segundo) obtenidas con el viscosímetro BML sobre tres HAC con agregados de 12 mm de tamaño máximo, elaborados con idénticas proporciones y tipo de materiales pero variando la temperatura del agua, que fue incorporada a 2, 22 y 37 °C. Si bien los hormigones alcanzaron temperaturas apenas diferentes (21,

Figura 3 – Curvas de flujo características de un HAC, un hormigón convencional (HC) y un hormigón fluido de alta resistencia (HAR)

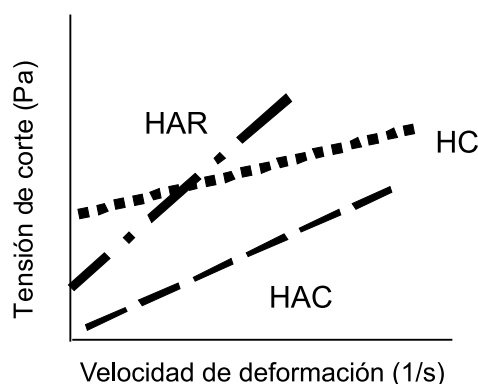
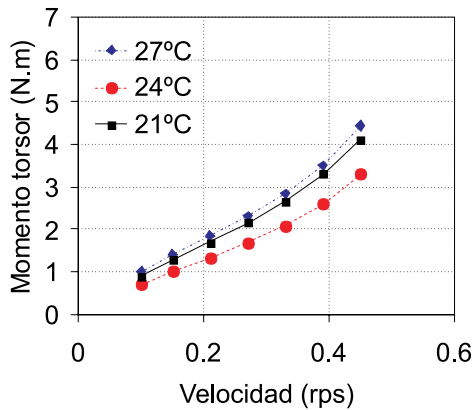
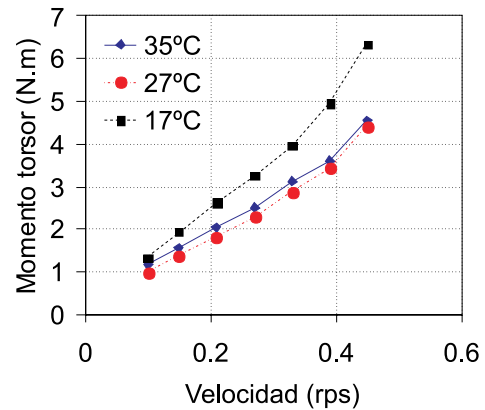


Figura 5 – Curvas momento torsor velocidad para HAC con distintas temperaturas



5a: elaborados con agua a distinta temperatura



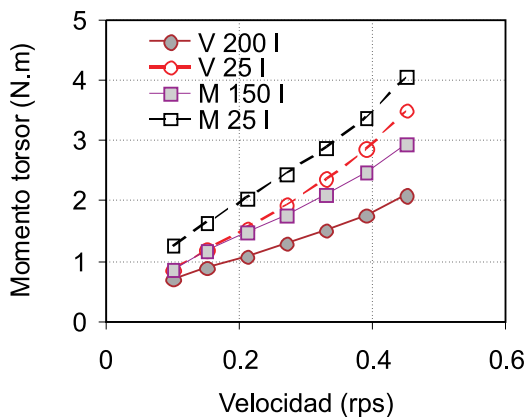
5b: elaborados con todos los materiales a distinta temperatura

24 y 27 °C respectivamente) las curvas se modificaron y la mayor fluidez correspondió al HAC con temperatura intermedia.

En la Fig. 5.b se presentan las curvas de otras mezclas con agregados de 20 mm de tamaño máximo, también se elaboraron con las mismas proporciones de materiales y todos los componentes (a excepción del aditivo) se mantuvieron herméticamente embolsados durante 24 horas a 5, 20 o 40 °C. Los HAC alcanzaron temperaturas de 17, 27 y 35 °C respectivamente; nuevamente la mayor fluidez se obtuvo con la temperatura intermedia y la mayor viscosidad con los materiales más fríos.

En la Fig. 6 se comparan las curvas momento torsor vs. velocidad correspondientes a hormigones con idénticas proporciones elaborados con diferentes mezcladoras y en distintos volúmenes; la experiencia se realizó en verano (V) y luego se repitió meses más tarde a temperaturas moderadas (M). El material de los pastones pequeños mostró mayor viscosidad plástica que el HAC elaborado en mayor volumen. Esto confirma el significativo efecto del tipo y energía de mezclado sobre las propiedades del HAC. Las mediciones reológicas fueron consistentes con los resultados obtenidos en los ensayos ingenieriles de escurrimiento y embudo en V que se realizaron al mismo tiempo (ver Tabla 1).

Figura 6 – Curvas momento torsor velocidad de hormigones de iguales proporciones elaborados con diferentes mezcladoras



Parámetros reológicos y ensayos ingenieriles

Cuando surge el HAC fue necesario desarrollar nuevos métodos de ensayo para poder caracterizarlo en estado fresco; atendiendo a sus propiedades particulares como la capacidad de pasaje, la capacidad de llenado y la resistencia a la segregación. Para ello se plantearon ensayos de tipo ingenieril entre los que se destacan el ensayo de escurrimiento (slump flow) y el embudo en V (V-funnel). El primero utiliza un Cono de Abrams que se llena sin compactar, se obtienen como resultados el diámetro final (D_f) y el tiempo (T_{50}) en el cual el HAC alcanzó un diámetro de 500 mm. El embudo en V mide el tiempo de pasaje (T_v) a través de un recipiente con forma de V y una

Tabla 1 – Parámetros reológicos y resultados de ensayos ingenieriles de hormigones elaborados en pastones con diferentes volúmenes

HAC	Viscosímetro		Escurrimiento		Embudo en V	Temperatura
	τ_0 (Pa)	μ (Pa.s)	D_f (mm)	T_{50} (s)	T_v (s)	(°C)
V, 200 litros	19	24	635	1.0	3.7	25
V, 25 litros	5	55	640	1.7	5.8	26
M, 150 litros	17	45	660	2.0	6.4	19
M, 25 litros	21	60	615	3.0	6.8	17

boquilla de salida de 65 x 75 mm de sección. Los detalles de los dispositivos y forma de realización de los ensayos han sido ampliamente descriptos en la bibliografía (6, 7).

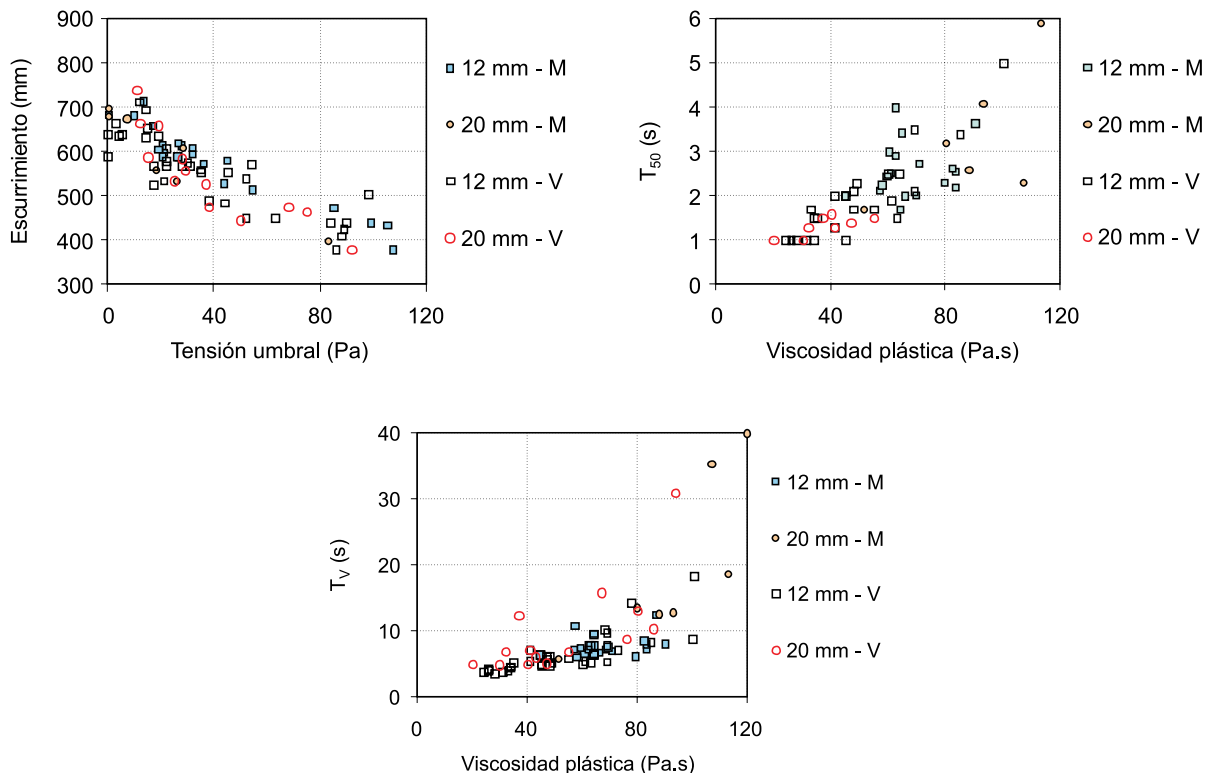
Además recientemente en las European Guidelines for Self Compacting Concrete (7) se han propuesto tres clases de HAC en base al ensayo de escurrimiento según el tipo de aplicación para el que esté destinado el material. En forma similar se han planteado dos tipos de HAC según la viscosidad a partir de los valores del T_{50} en el ensayo de escurrimiento o del tiempo de vaciado del embudo en V (T_v).

Los estudios reológicos han permitido una mayor comprensión del significado de los resulta-

dos de los ensayos ingenieriles. Se ha encontrado que para un mismo conjunto de materiales algunos ensayos se correlacionan con los parámetros reológicos, sin embargo las correlaciones pueden variar entre distintos tipos de HAC.

En las experiencias realizadas se realizaron los ensayos de escurrimiento y embudo en V en forma simultánea con las medidas del viscosímetro para dos tipos de HAC que difieren en el tamaño máximo de agregado utilizado. Si bien los materiales componentes son similares se realizaron experiencias en diferentes épocas y a distintas temperaturas. Además de las mediciones realizadas inmediatamente al finalizar el mezclado, en varios casos se tomaron medidas

Figura 7 – Relaciones entre los ensayos ingenieriles y los parámetros reológicos



del HAC en estado fresco durante las dos horas siguientes. Durante este lapso algunos hormigones perdieron su condición de HAC.

En la Fig. 7 se presenta la variación de los resultados del ensayo de escurrimiento (D_f , T_{50}) y los tiempos del embudo en V en función de los parámetros reológicos. Los datos se diferencian según el tamaño máximo del agregado de cada HAC (12 o 20 mm); y según las condiciones ambientales (M: a temperaturas moderadas, V: en verano). Es posible observar que se encontraron buenas correlaciones entre el diámetro de escurrimiento y la tensión umbral, y entre la viscosidad plástica y los tiempos de flujo (T_{50} o T_v). Por el contrario al representar la tensión umbral en función de los tiempos de flujo surge un panorama muy disperso, lo mismo que si se considera la relación entre la viscosidad plástica y el diámetro de escurrimiento.

Consideraciones finales

Los estudios reológicos del hormigón fresco han posibilitado una mayor comprensión del comportamiento del hormigón autocompactable (HAC), este hormigón representa uno de los mayores avances en el campo de la tecnología del hormigón. El HAC posee una tensión umbral prácticamente nula si se la compara con la de un hormigón convencional, mientras que la viscosidad plástica puede ser de un orden similar. Una

adecuada combinación de ambos parámetros permite lograr la movilidad deseada evitando la segregación; en mezclas con alta viscosidad es conveniente una tensión umbral extremadamente baja, mientras que en HAC con menor viscosidad es deseable que aumente la tensión umbral. El estudio experimental comprobó que para un mismo HAC los parámetros reológicos se modifican con la temperatura o con la energía de mezclado, por lo que estos factores pueden constituir una causa importante de variación en la producción. Finalmente se observó que para un mismo conjunto de materiales existen buenas correlaciones entre el diámetro de escurrimiento y la tensión umbral y entre la viscosidad plástica y los tiempos de flujo (T_{50} o T_v). Desde este punto de vista las medidas reológicas permiten una mayor comprensión del significado de los ensayos ingenieriles.

Agradecimientos

Al personal del Departamento de Ingeniería de la Construcción de la UPC por su ayuda para la realización del programa experimental. Los trabajos de investigación en UPC contaron con el apoyo del Programa Alβan, Programa de becas de alto nivel de la Unión Europea para América Latina, beca n° E04E047473AR, y del proyecto PSS 11-2005, PSE-380000-2007-1: HABITAT 2030, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España. ♦

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (01) Okamura, H., Ozawa, K. and Ouchi, M., "Self-Compacting Concrete". Structural Concrete, Journal of the FIB Vol. 1, N° 1, March 2000, pp. 3-17.
- (02) RILEM Pub. PRO 007, 1st Int. RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Ed by Å. Skarendahl and Ö. Petersson, 1999, Stockholm, Sweden. 804 p.
- (03) RILEM Report rep023, State-of-the-Art report of RILEM Technical Committee 174-SCC. Self-Compacting Concrete. Edited by Å. Skarendahl and Ö. Petersson, 2000. 168 p.
- (04) RILEM Pub. PRO 33. 3rd Int. RILEM Symp. Reykjavik, Iceland, 2003, Ed. O. Wallevik and I. Nielsson, 1056 p.
- (05) Sec. North Am. Conf. on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete (SCC) and the Fourth Int. RILEM Symp. on Self-Compacting Concrete, 2005, Ed. S. P. Shah, H. Wood Pub., Addison, IL, USA. Vol. 1 and 2, 1270 p.
- (06) EFNARC 2002, Specifications and Guidelines for Self-compacting Concrete, <http://www.efnarc.org/pdf/SandGforSCC.pdf>
- (07) EPG 2005, The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification Production and Use. <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf>
- (08) Zerbino, R., Agulló, L. Barragán, B., García, T. y Gettu, R. "Caracterización reológica de hormigones autocompactables", Ed: Dto. Ing. de la Construcción Univ. Politècnica de Catalunya, Barcelona, ISBN: 84-87691-40-4-2, 2006, 83 p.
- (09) Beaupré, D. and Mindess, S. "Rheology of Fresh Concrete: Principles, Measurement, and Applications", in Materials Science of Concrete V, Ed. J. Skalny and S. Mindess, American Ceramic Society, USA, 1998, pp 149-190.
- (10) de Larrard, F., Ferraris, C. F., Sedran, T., "Fresh Concrete: A Herschel-Bukley Material" Materials and Structures, Vol. 31, N° 211, 1998, pp. 494-498.
- (11) Mouret, M. and Cyr, M. Discussion of "The effect of measuring procedure on the apparent rheological properties of self-compacting concrete" by M. R. Geiker et al, Cement and Concrete Research Vol. 33, 2003, pp. 1901-1903.
- (12) Brower L.E. and Ferraris C.F. "Comparison of concrete rheometers". Concrete International, Aug. 2003, pp. 41-47.
- (13) Nielsson, I. and Wallevik, O.H. "Rheological evaluation of some empirical test methods—Preliminary results". 3rd Int. RILEM Symp. Reykjavik, Iceland, Ed. O. Wallevik and I. Nielsson, (RILEM Pub. PRO 33), 2003, pp. 59-68.

Deterioração, durabilidade e intervenção em estruturas de concreto de obras de saneamento

Simone Kochepki Campaner
Maria José Herkenhoff Carvalho
Adriana Verchai de Lima Lobo

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

Introdução

As companhias de saneamento do Brasil têm um grande patrimônio em obras com estrutura de concreto, dentre as quais edifícios, estações de tratamento de água, estações de tratamento de esgoto, estações elevatórias, reservatórios, interceptores, emissários e canais diversos.

Somente a SANEPAR possui, em operação atualmente, 216 estações de tratamento de esgoto e 179 estações de tratamento de água, além de centenas de reservatórios. A estação de tratamento de água mais antiga do Paraná entrou em operação em 1945 e permaneceu em funcionamento durante 59 anos.

Reservatórios de concreto armado estão em carga há mais de 40 anos. Reatores anaeróbios de manto de lodo operam no sistema da SANEPAR há 25 anos. Antes disso, há décadas, já existiam outros tanques construídos e funcionando em várias cidades paranaenses, os quais fo-



Figura 1 – Corrosão de armaduras em laje de poço de sucção de água potável



Figura 2 – Eflorescências e estalactites na parte inferior da laje de fundo de canal de água tratada

ram sendo abandonados paulatinamente em favor de outros tipos ou outras modalidades de tratamento.

Essa grande quantidade de estruturas suscita a necessidade de programação de obras de manutenção, bem como reabilitação, modernização e eventual *retrofit*. Parte de tais obras tem um agravante de complexidade, pois precisam ser executadas em curto espaço de tempo,

muitas vezes limitado a poucas horas.

Diante desse quadro, a área técnica tem o desafio de selecionar tecnologias e materiais compatíveis com a necessidade funcional e com o tempo disponível para a paralisação operacional, de modo a evitar, por exemplo, o desabastecimento das cidades, com possibilidade de graves riscos à saúde pública e à qualidade de vida.

Deterioração e durabilidade

Frente às condições fortemente agressi-

vas do meio e à ação mecânica dos líquidos em movimento, grande parte das obras hidráulicas apresenta, em determinada idade, manifestações patológicas diversas que comprometem sua operação, funcionalidade e durabilidade.

Outros fatores que contribuem para o surgimento de problemas patológicos estão relacionados a falhas de projeto, de planejamento e à não observância

dos critérios técnicos durante a execução das obras. Infelizmente, a engenharia não tem dado devida atenção ao treinamento da mão-de-obra da construção civil, a qual ainda é pouco qualificada. Ademais, o Brasil ainda não dispõe de programas nacionais de certificação de pessoal. Como conseqüência, tem-se a diminuição significativa e precoce da vida útil das obras.

Dentre as inúmeras manifestações patológicas, podem-se citar fissuras, deslocamentos, corrosão de armaduras, desintegração do concreto por ação de sulfatos, desgaste superficial, fadiga de juntas de dilatação, lixiviação, eflorescências, expansão, entre outras. As Figs. 1 a 4 exemplificam quatro dos tipos de anomalia relacionados. Dependendo da natureza dos problemas, do componente estrutural lesionado e do grau de severidade do ambiente, podem até mesmo acarretar problemas de instabilidade.

As obras executadas sob a luz da antiga NBR 6118:1978, ou ainda executadas em conformidade com a NB 1:1960, ou até mesmo anteriormente a esta norma técnica, foram, na sua maioria, concebidas sem consideração de aspectos de deterioração e critérios de durabilidade da estrutura.

Com as alterações substanciais quanto à durabilidade, ao dimensionamento e verificação das estruturas de concreto introduzidas pela NBR 6118:2003 "Projeto de Estruturas de Concreto" e com a entrada em vigor da NBR 14931:2004 "Exe-



Figura 3 – Deterioração do concreto na parte interna de tanque utilizado para tratamento de esgoto sanitário

mente, o novo texto da NBR 6118:2003 ainda não estipula o prazo de vida útil desejável. Observa-se também que a NBR 6118:2003 introduziu modificações no que se refere aos limites para fissuração, apresentando valores menos conservadores para o concreto armado, em relação às aberturas máximas características (w_k) previstas pela NBR 6118:1978, apesar de o cálculo empregar expressões bastante semelhantes àquelas da norma antiga ⁽¹⁾.

A norma de 1978 prescrevia abertura máxima de fissura de 0,1mm para peças não protegidas em meio agressivo; 0,2mm para peças não protegidas em meio não agressivo e 0,3mm para peças protegidas. A norma atual admite aberturas de até 0,4mm para casos de agressividade ambiental fraca a até 0,2mm para ambientes extremamente agressivos.

Uma característica das estruturas em concreto das obras de saneamento, principalmente reservatórios de água e estações de tratamento de água e de esgoto sanitário, evidencia que, mesmo com as evoluções importantes trazidas



Figura 4 – Água percolando através de junta de concretagem em colapso, em estação de tratamento de água.

cução de Estruturas de Concreto", é de se esperar que as novas obras tenham vida útil compatível com o período de alcance dos projetos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, conforme é a necessidade das companhias de saneamento e a expectativa da sociedade.

Dever-se-ia considerar, pelo menos, uma vida útil de projeto de 50 a 60 anos. Infeliz-

mente, o novo texto da NBR 6118:2003 ainda não estipula o prazo de vida útil desejável. Observa-se também que a NBR 6118:2003 introduziu modificações no que se refere aos limites para fissuração, apresentando valores menos conservadores para o concreto armado, em relação às aberturas máximas características (w_k) previstas pela NBR 6118:1978, apesar de o cálculo empregar expressões bastante semelhantes àquelas da norma antiga ⁽¹⁾.

A norma de 1978 prescrevia abertura máxima de fissura de 0,1mm para peças não protegidas em meio agressivo; 0,2mm para peças não protegidas em meio não agressivo e 0,3mm para peças protegidas. A norma atual admite aberturas de até 0,4mm para casos de agressividade ambiental fraca a até 0,2mm para ambientes extremamente agressivos.

Uma característica das estruturas em concreto das obras de saneamento, principalmente reservatórios de água e estações de tratamento de água e de esgoto sanitário, evidencia que, mesmo com as evoluções importantes trazidas

pela NBR 6118:2003, haverá prejuízos à estanqueidade necessária. Isto porque tais estruturas estão sujeitas ao carregamento máximo durante todo o período de sua vida útil, enquanto que as edificações em geral, via de regra, estão sujeitas ao carregamento máximo por pequenos períodos de tempo durante a sua vida útil.

Por esta razão, as estruturas das obras de saneamento ten-

dem a apresentar a fissuração máxima permitida, ou seja, aberturas de até 0,2mm. Em termos práticos, considerando que o diâmetro de uma molécula de água é 10^{-10} m, uma abertura de 0,2 mm permite percolação de 2 milhões de moléculas de água. Ou seja, para obras de saneamento, que necessitam de estanqueidade, a nova ordem de grandeza permitida para a abertura das fissuras contribuirá para o estabelecimento precoce de mecanismos de envelhecimento das estruturas.

Diagnóstico, projeto e obras de reabilitação

Diante do exposto, não são raros os processos de licitação, compras e contratação para execução de serviços de reparo, recuperação ou reforço estrutural nas obras de saneamento (vide Figs. 5 a 7), por vezes com poucos anos de operação e mesmo para aquelas cujos projetos atendem a NBR 6118:2003.

A especificação dos trabalhos de reabilitação deve ser precedida de uma inspeção e diagnóstico feitos por profissionais especializados, pois a qualidade dos serviços depende da análise precisa das causas que os tornaram necessários e do estudo dos efeitos produzidos. A avaliação prévia do custo dos trabalhos não é tarefa fácil e, portanto, informações detalhadas nesta etapa são de extrema necessidade.

Na seqüência, projeto executivo detalhado, especificação de materiais e serviços, cronograma físico-financeiro compatível, plano de trabalho, treinamento, controle tecnológico e fiscalização de qualidade são importantíssimos.

A especificação dos materiais, sistemas e procedimentos a serem utilizados nas obras



Figura 5 – Reforço de laje de sustentação de reservatório elevado, através de sistema com uso de fibra-carbono



Figura 6 – Recuperação estrutural da laje de tampa de reservatório enterrado de água potável

a serem reabilitadas usualmente têm sua qualidade prejudicada, por ser norteada por uma seleção entre muitas alternativas oferecidas pelo mercado, porém sem suporte técnico através de documentação consensuada.

O mercado de construção civil oferece uma diversidade de resinas, grautes, argamassas cimentícias e poliméricas, aditivos, adesivos, inibidores, tintas, revestimentos e outros produtos, cada qual com suas vantagens e desvantagens, porém sem respaldo de normas técnicas. Sabe-se que todas as soluções têm suas limitações e elas devem ser levadas em conta durante sua especificação e aplicação, a fim de que detalhes determinantes e específicos das obras hidráulicas sejam devidamente atendidos, garantindo o sucesso do tratamento.

Os catálogos técnico-comerciais são deficientes nesse aspecto. A normalização brasileira a respeito de reabilitação das estruturas ainda é incipiente. Aliado a isso, não há ensaios prescritivos ou de desempenho normalizados que permitam prever os problemas e possibilitem discernir, entre várias técnicas, materiais, produtos e sistemas, qual aquele mais adequado a uma necessidade.

Necessidades dos procedimentos de intervenção

Com a impossibilidade de desvio da água ou esgoto, o tempo para intervenção nas estruturas de concreto das obras de saneamento

pode ficar limitado a, no máximo, 10 a 12 horas, por exemplo. Nesse período devem ser cumpridas todas as etapas do tratamento, além de que a recolocação da estrutura em carga não pode comprometer o desempenho dos produtos e sistemas recém empregados.

Segundo Hele-
ne⁽²⁾, o preparo do substrato pode ser considerado uma das partes mais importantes do reparo ou reforço, sendo responsável por 100% do sucesso destes trabalhos. A equipe de execução tem o desafio de preparar o substrato, preparar e aplicar o material (cujas qualidade também é responsável por 100% do sucesso), dar acabamento e curar no tempo disponível e diante das condições de trabalho geralmente adversas: ambientes pouco iluminados, sem ventilação, de dimensões por vezes reduzidas e com várias interferências.

Além do atendimento adequado ao prazo e condições de trabalho existentes, os produtos e sistemas devem atender a: não prejudicar a potabilidade da água e a eficiência dos processos do tratamento da água ou do esgoto; resistir aos agentes químicos e biológicos inerentes aos processos de tratamento; não serem tóxicos; apresentarem características e propriedades adequadas de impermeabilidade, aderência, flexibilidade, fluidez, resistência mecânica, à abrasão, à difusão de vapor d'água e a pressões negativas ou positivas adequadas, conforme cada caso; possuírem alta qualidade e grande durabilidade; não criarem impactos ambientais negativos.

Em presença das necessidades elencadas, verifica-se que faltam produtos e sistemas "personalizados" para bem atender às obras de saneamento. Tal fato, aliado à carência de documentação técnica para balizar a seleção das



Figura 7 – Recuperação estrutural de canal de água filtrada em estação de tratamento de água – ambiente pouco iluminado e com dimensões reduzidas

tecnologias e materiais, gera um panorama complexo, que muitas vezes resulta na escolha inadequada. Seleções incorretas não podem ser compensadas em outras etapas, implicando em prejuízo à qualidade técnica e durabilidade do sistema como um todo.

Necessidades do setor de saneamento

Com a visão de progresso tecnológico constante, a indústria da construção civil

deve aprimorar o desenvolvimento de tecnologias que convirjam para as necessidades das intervenções em estruturas de concreto das obras de saneamento. As necessidades são especiais e devem ser cuidadosamente interpretadas.

Considerando que uma recuperação ou reforço estrutural pode implicar em custos da ordem de 50% a 150% do custo total da obra nova, entende-se que é urgente e necessário avançar em estudos e discussões que visem maior durabilidade das estruturas de concreto das obras hidráulicas.

Mesmo com a grande atualidade da NBR 6118:2003, é importante ressaltar que as obras novas de saneamento requerem normas e procedimentos de projeto, especificação, execução e controles específicos e mais cuidadosos que a maioria das obras de concreto. Assim, devem ser realizados esforços nacionais no intuito de aumentar o número de documentos normativos consensuados neste setor.

No campo dos materiais e sistemas de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto das obras de saneamento, a carência de normas ainda é mais crítica e deve ser enfrentada urgentemente. Há um importante e valioso patrimônio histórico e tecnológico a zelar, e ele é de concreto! ♦

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SANTOS, S., SAGAVE, A. DUARTE, L. A Nova NBR 6118 e a Durabilidade das Estruturas. Florianópolis. Alto QI – Tecnologia aplicada à engenharia, 2003.
- (2) HELENE, Paulo R. L. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto. São Paulo, Rede Rehabilitar, 2005.

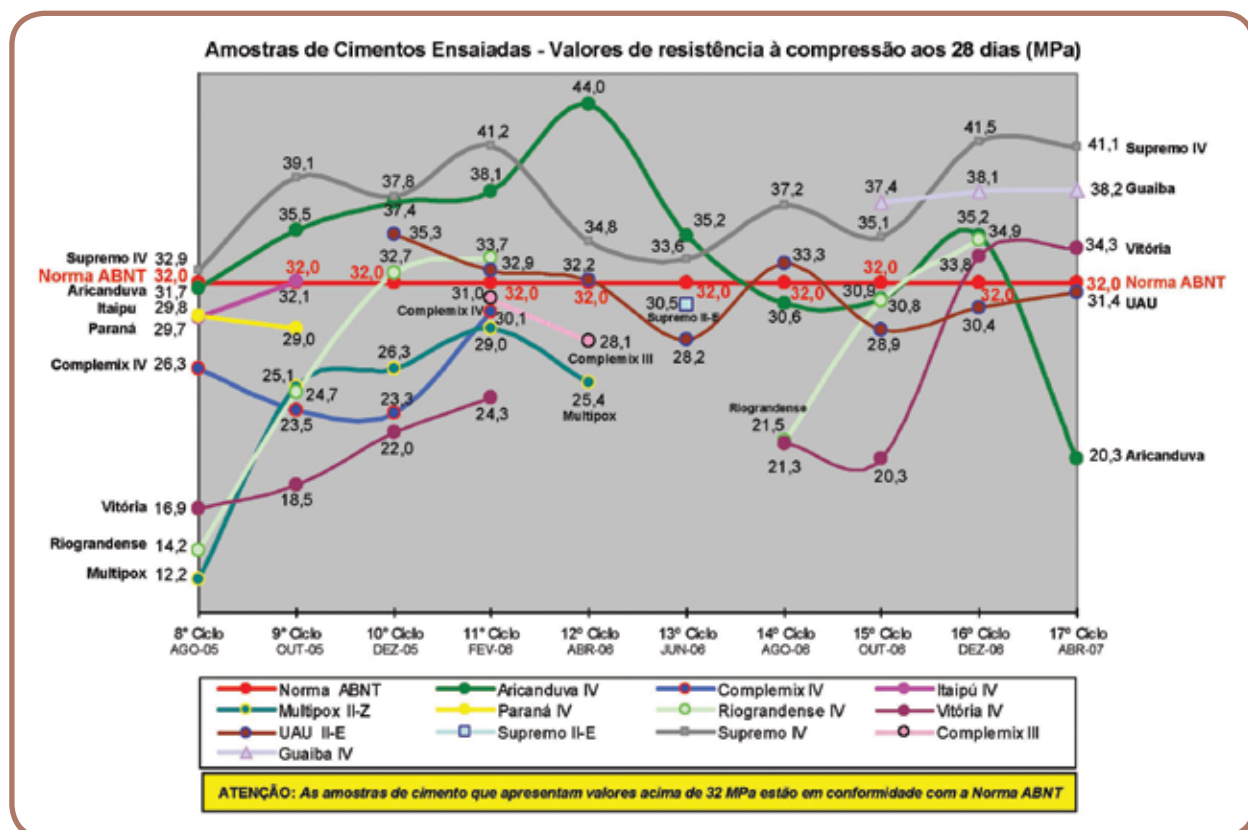
Alerta aos consumidores de cimento

A ABCP, no intuito de proteger o interesse dos consumidores de cimento, estabeleceu, por intermédio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, a partir de Junho de 2004, um programa de ensaios coletando amostras comercializadas em algumas cidades do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Essas amostras – que também passaram a ser colhidas, a partir de Novembro de 2004, pelo próprio Instituto em pontos de vendas – sempre desses fabricantes e de novos que porventura surjam, são encaminhadas, ainda nos sacos lacrados originais, aos laboratórios do IPT, em São Paulo, para as análises prescritas pelas normas técnicas.

Os resultados históricos indicam que grande parte das amostras dessas empresas não obedeciam aos requisitos de resistência à compressão estabelecidos pelas normas da

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), conforme ilustra o gráfico. Os resultados do presente ciclo de coleta, contudo, evidenciam que apenas duas amostras não cumpriram as normas. Vale lembrar que valores de resistência à compressão aos 28 dias abaixo do limite mínimo estabelecido de 32 MPa indicam oscilações não compatíveis com processos industriais dotados de controles eficazes de qualidade. Acrescenta-se ainda que as informações contidas nas embalagens devem condizer com seu conteúdo.

Cimentos fora de norma colocam em risco a durabilidade e a segurança das obras, uma vez que está sendo comercializado um produto com características distintas das dos produtos normalizados, como aqueles detentores de Selo de Qualidade outorgados pela ABCP e outros organismos.



A responsabilidade pelos danos causados pelo cimento fornecido em desacordo com as normas da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) envolve não só o fabricante como o comerciante do produto e as penalidades civis e criminais previstas pelo Código de Defesa do Consumidor compreendem a aplicação de multa, a apreensão do produto e a interdição do estabelecimento fornecedor do cimento.

Fato agravante é o desconhecimento dos consumidores da existência desses cimentos, que podem se precaver exigindo dos seus fornecedores a comprovação de que os cimentos atendem às normas da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).

A sociedade e os comerciantes precisam ficar atentos à venda de cimento em de-



sacordo com as normas vigentes, que muitos prejuízos podem causar à construção civil e aos consumidores do produto.

SAC / DCC 0800-0555776 – dcc@abcp.org.br
www.abcp.org.br ♦

Programa MasterPec Master em Produção de Estruturas de Concreto

Cursos programados para o 49º Congresso Brasileiro do Concreto,
em Bento Gonçalves RS



Domingo, 2 de Setembro de 2007

Tarde – 14h00 às 15h30
Coffee Break – 15h30 às 16h00
16h00 às 18h00

Sala 1

Terapia das estruturas de concreto

O curso apresenta os conceitos gerais sobre tecnologia de recuperação, reforço e proteção de estruturas de concreto, mostrando aos participantes as técnicas mais usadas, os materiais e procedimentos. São apresentados e discutidos diversos estudos de casos.

José Eduardo Granato

Engenheiro Consultor, especialista com 30 anos de experiência na área de recuperação e de impermeabilização

Patrocinador



Sala 2

Sustentabilidade na Construção Civil

O curso propicia uma visão global das pesquisas e do conhecimento tecnológico da reciclagem, do reaproveitamento de resíduos de recursos minerais utilizáveis na construção civil. Apresenta exemplos práticos de reciclagem adotados no Brasil e no exterior. Discorre sobre as contribuições já realizadas pelo Comitê Técnico "Meio Ambiente" do IBRACON (CT – AM). Apresenta o atual estágio da normalização brasileira sobre o assunto.

Salomon Levy

Doutor em Engenharia. Professor da UNINOVE. Coordenador do CT sobre Meio Ambiente do Ibracon

Márcio Estefano

Doutor em Engenharia. Professor da UNESP/UNITAU. Fundador do CT sobre Meio Ambiente do Ibracon

Patrocinador



Carga horária: 4 horas – **Local:** FUNDAPARQUE
Inscrição: www.ibracon.org.br

Informações: Marta
Tel.: 11 3735-0202 – marta@ibracon.org.br

Sistemas de impermeabilização e proteção para obras de saneamento

Jaques Pinto
Emilio Minoru Takagi
MC-Bauchemie Brasil

1. Introdução

O concreto armado é atualmente o material de construção mais utilizado em obras de saneamento. Porém, apesar da grande evolução de sua tecnologia, os sistemas de tratamento de água e esgoto são cada vez mais agressivos e podem colocar em risco a operação e durabilidade das estruturas de saneamento. Portanto, hoje em dia, a utilização de sistemas de impermeabilização e proteção se faz necessária tanto em estruturas novas, para aumentar sua durabilidade, como em estruturas existentes, pois a tecnologia de concreto empregada no passado não mais atende aos atuais requerimentos.

Os níveis de ataque variam de acordo com cada ambiente das estações de tratamento de água e efluentes. Alguns produtos químicos usados rotineiramente no tratamento podem atacar o concreto. Também se deve considerar o efeito erosivo da água com partículas sólidas e, principalmente, a ação de bactérias em sistemas de tratamento de esgoto fechados, que costuma ocasionar grandes problemas de corrosão na parte superior de

grandes tubulações ou nos tetos das estruturas pela formação do ácido sulfúrico biogênico. No caso da água potável, aspectos de higiene são também fundamentais.

Em outubro de 2003, a ABNT divulgou a nova norma técnica NBR 9575 atualizando conceitos de projetos e a classificação das soluções de impermeabilização que atendessem às exigências de desempenho em relação à estanqueidade e à durabilidade. Esta norma NBR 9575:2003 – “Seleção e Projeto” cancela e substitui a versão anterior de 1998, além das normas NBR 8083, NBR 9689 e NBR 12190.

Na Europa a atual norma CEN EN 1504 rege os requerimentos para o reparo e proteção de estruturas.

Um grande esforço conjunto das entidades públicas e privadas está sendo realizado para que as estruturas de obras de saneamento alcancem um nível de desempenho de estanqueidade compatível com os aspectos técnicos de durabilidade. Sendo assim, torna-se necessária uma mudança substancial nos padrões de projeto, execução e manutenção das obras de saneamento. Portanto, é preciso tornar de amplo conhecimento público os principais con-

Tabela 1

Coagulantes	sulfato de alumínio, cloreto férrico e policloreto de alumínio
Desinfetantes	cloro gasoso, hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio
Correção de pH	hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio e carbonato de sódio
Fluoretação	fluossilicato de sódio e ácido fluossilícico
Algicidas	sulfato de cobre e desinfetantes
Seqüestrantes para ferro, manganês e dureza	Ortopolifosfatos

Tabela 2

Sólidos totais	1100 mg/L	Nitrogênio total	50 mgN/L	Alcalinidade	140 mgCaCO ₃ /L
DBO ₅	350 mg/L	Fósforo	14 mgP/L	Cloretos	35 mg/L
COT	250 mg/L	pH	6,7 ~ 7,5	Óleos e graxas	110 mg/L

dicionantes, benefícios e limitações das soluções de impermeabilização e proteção.

Este artigo visa contribuir na divulgação de importantes descobertas e as normas em vigor, principalmente na Europa onde existem em maior número e mais detalhadas. Mostraremos também brevemente os mecanismos de deterioração das estruturas de concreto para saneamento bem como uma comparação entre os principais sistemas de proteção disponíveis no mercado.

2. Características físico-químicas da água bruta e do esgoto

Para a avaliação da eficácia dos revestimentos para impermeabilização e proteção química, é necessária a quantificação das cargas físico-químicas, sendo necessários levantamentos de campo na área em estudo, incluindo amostragem, análise de laboratório, medição de vazão e outros, podendo-se complementar com dados de literatura.

A água bruta apresenta inúmeras impurezas, sendo várias delas inócuas e outras prejudiciais à saúde humana, tais como substâncias tóxicas, bactérias e vírus. Assim, o tratamento prévio da água é de fundamental importância para o consumo humano, pois confere à água características de potabilidade e boa aparência ao eliminar as impurezas presentes que devem ser removidas. Os principais produtos utilizados no tratamento são apresentados na tabela 1.

Na área dos efluentes, devido à ampla variabilidade das suas características qualitativas, torna-se difícil a generalização dos valores mais comuns. Também se deve considerar que a prática comum é a integração dos despejos industriais com os esgotos domésticos na rede pública de coleta. As características quantitativas químicas típicas de esgotos predominantemente domésticos encontram-se apresentados de forma sintetizada na tabela 2.

Sólidos totais: deve se considerar o efeito erosivo do fluxo de água contendo estas partículas principalmente em locais com velocidade de fluxos mais elevados;

DBO₅ e COT são parâmetros de determinação de quantidade de matéria orgânica no esgoto. As ações de microorganismos sobre o material orgânico produzem o gás sulfídrico (H₂S), que são inconvenientes por se oxidarem na forma de ácido sulfúrico (H₂SO₄), este ataca a superfície do concreto e a armadura, podendo ocasionar a fragilização das barras de ferro pelo processo de fragilização por hidrogênio molecular;

Nitrogênio total: o nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento dos microorganismos e algas; sais de amônio (NH₃) são inconvenientes porque reagem com a alcalinidade protetora do concreto;

Fósforo: é um nutriente essencial para o crescimento de microorganismos e algas;

pH: o valor é próximo ao neutro pH 7;

Cloretos: a presença de íons cloretos promove a corrosão eletroquímica pontual da capa passivante da armadura do concreto;

Alcalinidade: pela própria natureza química da pasta de cimento, pode-se prever que o concreto, devido à sua natureza alcalina, apresenta boa resistência à ação de bases. Entretanto, em presença de soluções concentradas alcalinas, pode se verificar a deterioração do concreto;

Óleos e graxas: a presença de solventes orgânicos ou compostos com ligações covalentes e, portanto considerados não-eletrólitos, dificilmente originam casos de corrosão, sendo que ficam mais relacionados com a presença de impurezas que podem existir nos mesmos ou na solução;

Ácido sulfúrico biogênico: atenção especial deve-se tomar ao ataque por ácido sulfúrico biogênico, pois se trata do maior potencial de deterioração existente em estruturas de esgoto.

Os problemas de formação de gás sulfúrico biogênico são bastante conhecidos em tubulações de grandes diâmetros nas estruturas das estações de tratamento de esgoto. O concreto de tubulações de esgoto está sujeito à ação de bactérias, como o *Thiobacillus thiooxidans* e *Thiobacillus concretivorus*, que oxidam compostos de enxofre (H₂S) presentes no esgoto e os transformam em ácido sulfúrico biogênico. Essas bactérias são aeróbicas e necessitam da presença de oxigênio e, portanto a ação

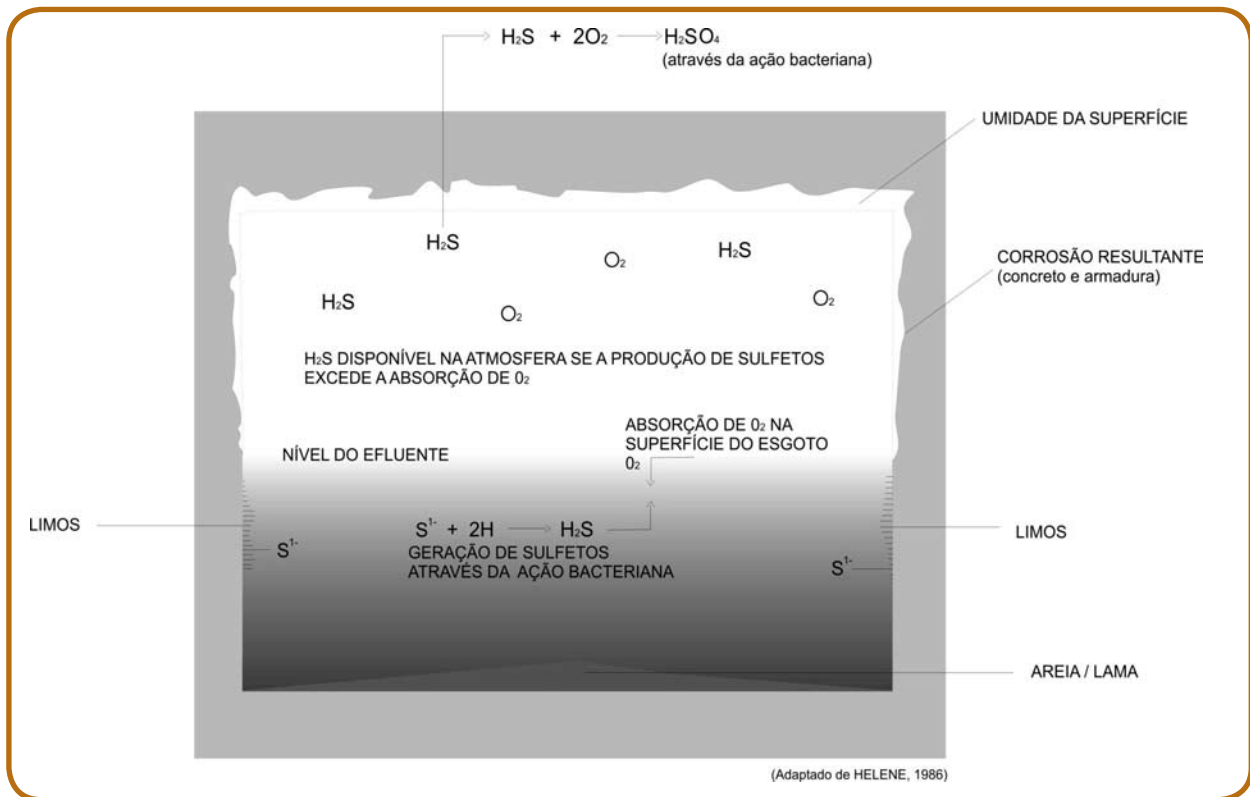


Figura 1 – Mecanismo de deterioração do concreto por ataque de ácido sulfúrico biogênico

oxidante dessas bactérias costuma ocasionar corrosão mais intensa na parte superior de grandes tubulações ou nos tetos das estruturas de armazenamento de esgotos. Seus processos metabólicos ocasionam valores de pH do ácido sulfúrico biogênico em torno de 2, podendo alcançar valores ainda menores de 0,7.

O ataque por ácido sulfúrico biogênico ocorre em estruturas de esgotos que necessitam de uma tampa para evitar a propagação

do gás sulfídrico como mostra a Figura 1. A formação de gás sulfídrico, H_2S , é proveniente da ação redutora de bactérias anaeróbicas *Desulfovibrio desulfuricans*, sobre compostos orgânicos ou inorgânicos de enxofre presentes nos esgotos, e possuem o inconveniente do cheiro de "ovo podre".

Grandes deteriorações podem ocorrer no concreto dos tetos destas estruturas com perdas que podem chegar a 7 cm de cobrimento do concreto em menos de 5 anos, como mostra a Figura 3.



Figura 2 – Instalação de tampas sobre aeradores de esgoto

3. Revestimentos minerais x resinas orgânicas

Durante as últimas décadas diversos sistemas de proteção foram desenvolvidos e utilizados para a proteção de estruturas de água e esgoto. Basicamente, podemos distinguir estes sistemas em dois, os orgânicos e os inorgânicos. Os sistemas orgânicos são

constituídos principalmente por resinas de epóxi, poliuretano, furânicas, fenólicas ou de poliéster. Os inorgânicos são principalmente à base de cimento ou outros sistemas minerais.

As principais características típicas encontradas nos sistemas minerais e orgânicos estão demonstradas na tabela 3.

4. Risco de osmose em revestimentos orgânicos

Um das principais diferenças entre os sistemas orgânicos e inorgânicos diz respeito a difusão de vapor de água. Normalmente, os revestimentos inorgânicos são considerados abertos à difusão de água enquanto os orgânicos fechados à difusão de vapor de água. Por esta característica, devem-se tomar cuidados especiais na utilização de revestimentos orgânicos em estruturas de saneamento, devido ao grande risco da ocorrência do fenômeno de osmose. Sabe-se que o movimento da água através de uma parede de concreto ocorre pelo gradiente de umidade entre os dois lados devido ao efeito osmótico, e não apenas pela pressão hidrostática. Este gradiente de umidade pode exercer uma pressão de vapor significativa, onde a umidade retida tende a sair e empolar películas impermeáveis (vide Figura 4).



Figura 3 – Ataque de ácido sulfúrico biogênico

Para um revestimento protetor ser considerado permeável ao vapor, este deve possuir um valor S_D (steam diffusion) menor que 5,0 metros em camada de ar, conforme os critérios preconizados na norma para revestimentos para proteção de superfícies de concreto EN 1504-2:2004. Caso o revestimento apresente um valor S_D maior que 50 metros de camada de ar, este é considerado impermeável à difusão de vapor e pode apresentar patologias de bolhas e deslocamentos, como mostrado na Figura 5. Para um melhor entendimento, o valor S_D (steam diffusion) é definido como a espessura em metros de camada de ar equivalente a resistência à difusão de vapor d'água do material de revestimento. A resistência à difusão do material é função da espessura do revestimento e do fator de difusão de vapor d'água no material (μ_{H_2O}).

Tabela 3

PROPRIEDADES	MINERAL	ORGÂNICA
Resistência Química (pH)	0 ~ 14	2 ~ 13
Resistência a Temperatura (°C)	570 °C	80 °C
Substrato para aplicação	Úmido	Seco
Densidade	2,2 g/cm ²	1,5 g/cm ²
Resistência a compressão (28 dias)	60,0 MPa	80 MPa
Resistência a tração (28 dias)	10,0 MPa	40 MPa
Difusão de vapor	SIM	NÃO
Resistência ao Raio UV	SIM	NÃO
Meio Ambiente	Inofensivo	Podem conter elementos voláteis

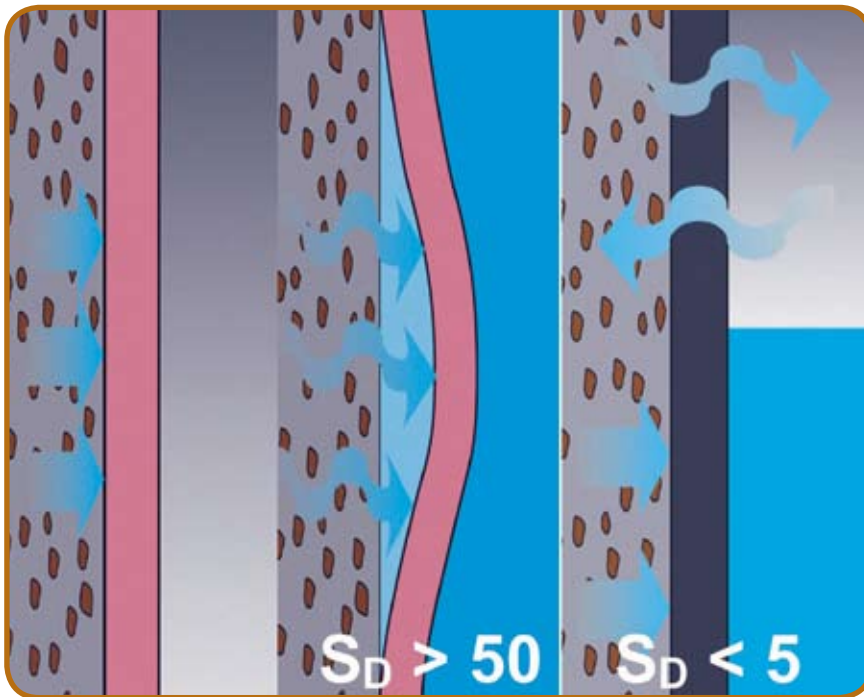


Figura 4 – Efeito de osmose

Deve-se considerar o efeito de pressão de vapor sobre revestimentos impermeáveis, pois a umidade retida tende a sair e empolar películas impermeáveis. O gradiente de pressão de vapor dentro do concreto, causada pelo movimento de vapor d'água, a partir de áreas de grande umidade para de baixa umidade, pode chegar a valores de 1,5 MPa de pressão de arranque. Portanto, encapsular o concreto com películas impermeáveis representa um grande risco.

5. Sistemas de impermeabilização e proteção minerais

Atualmente, os principais sistemas de impermeabilização e proteção de estruturas minerais estão divididos em:

5.1 SISTEMAS DE CRISTALIZAÇÃO

Os sistemas de cristalização são conhecidos e vêm sendo aplicados mundialmente com sucesso durante as últimas décadas. Trata-se

de sistemas que tornam o concreto menos permeável devido a reações de formações de cristais nos poros e capilares do concreto.

Diversos sistemas estão disponíveis, sendo os atuais manuseados da forma monocomponente e aplicados por pintura sobre o concreto em não mais do que duas camadas. Suas propriedades permitem sua aplicação em áreas de água potável e também de efluentes, pois sua resistência química encontra-se numa faixa de pH entre 3 e 11. Porém, cuidados devem ser tomados, pois estes sistemas não possuem resistência à abrasão.

5.2 REVESTIMENTOS A BASE DE CIMENTO POLIMÉRICO – BAIXA ESPESSURA (< 3 MM)

Os revestimentos à base de cimento polimérico consistem normalmente em produtos bicomponentes, sendo um pó a base de cimento e um líquido a base de polímeros. Como nos sistemas cristalizantes, os produtos mais atuais utilizam em sua formulação polímeros em pó e são manuseados da forma monocomponente, o que diminui a possibilidade de erros na dosagem. Suas propriedades



Figura 5 – Efeito de osmose em revestimento orgânico

permitem normalmente sua aplicação em estruturas de água, não sendo recomendados para a aplicação em estruturas de efluentes devido à sua baixa resistência química e falta de resistência à abrasão.

Porém, este sistema tem sido contestado na Alemanha onde recentemente foi publicado o resultado de um estudo da VDZ, associação alemã dos fabricantes de cimento. O estudo foi feito com base em uma pesquisa em diversos reservatórios e testes de laboratórios, que mostraram a formação de pontos de corrosão nos revestimentos. Esta corrosão deve-se principalmente a presença de metil-celulose e um alto fator água cimento nos produtos. Com base neste estudo a DVGW – “Associação Científica e Técnica Alemã para Gás e Água – Comitê de Armazenamento de Água”, publicou um manual de requerimentos básicos para o uso de revestimentos cimentícios em reservatórios de água potável, sendo os principais requerimentos os seguintes:

- ◆ Fator água cimento equivalente $< 0,5$;
- ◆ Ar incorporado na argamassa fresca $< 5\%$;
- ◆ Volume total de poros 90 dias $< 10\%$;
- ◆ Resistência a compressão $> 45\text{ MPa}$
- ◆ Aderência $> 1,5\text{ MPa}$;
- ◆ Espessura mínima 5 mm.

5.3 REVESTIMENTOS DE ALTA RESISTÊNCIA QUÍMICA À BASE DE CIMENTO – ALTA ESPESSURA ($> 5,0\text{ MM}$)

Os revestimentos minerais de alta resistência à base de cimento atendem aos requerimentos da DVGW e, preferencialmente, utilizam cimentos isentos de C3A em função da necessária resistência aos sulfatos. Podem ser aplicados manualmente ou projetados e são recomendados para aplicação em estruturas que armazenam água potável e em estruturas que contenham efluentes devido à sua grande resistência química (pH 3 a 14).

5.4 REVESTIMENTOS MINERAIS DE ALTA RESISTÊNCIA QUÍMICA ISENTOS DE CIMENTO

O sistema de revestimento de alta resistência química tem como base um silicato polimérico. Consiste de gel de silicatos amorfos ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) dentro da matriz endurecida desta substância mineral pura, cuja aderência, durabilidade e estabilidade dimensional o tornam ideal para proteção de superfícies de concreto e aço em estações de efluentes, indústrias químicas e instalações de energia elétrica.



Figura 6 – Teste de contato com ácido em pH menor que 1,0

Os revestimentos minerais à base de silicatos poliméricos são abertos à difusão de vapores de água e é resistente a todos os ácidos orgânicos e inorgânicos com pH próximos ao ZERO (exceto ao ácido hidrofúrico) e resistente a temperaturas de até 570°C. Este tipo de revestimento pode ser usado para aplicações onde altos carregamentos mecânicos e agentes agressivos são encontrados ao mesmo tempo. A Figura 5 mostra cubos de silicatos poliméricos e concreto com 35 MPa, após o contato com solução ácida com pH menor que 1,0.

6. Conclusões

Apesar da grande evolução de tecnologia do concreto, os sistemas de tratamento de água e esgoto são cada vez mais agressivos e podem colocar em risco

a operação e durabilidade das estruturas de saneamento. Portanto, hoje em dia, a utilização de sistemas de impermeabilização e proteção se faz necessária tanto em estruturas novas como em estruturas existentes, pois a tecnologia de concreto empregada no passado não mais atende os requerimentos atuais.

Diversos sistemas de proteção estão disponíveis, principalmente orgânicos à base de resinas e inorgânicos à base de cimento ou não. Características como a abertura a difusão de vapor de água, possibilidade de aplicação em substratos úmidos e a execução de reparos pontuais diminuem os riscos da utilização de sistemas minerais tanto durante a aplicação como na operação e manutenção. Portanto, por sua natureza, similar ao concreto, a aplicação de revestimentos minerais para a impermeabilização e proteção de estruturas parece uma tendência e a mais apropriada para estruturas de saneamento. ♦

Tabela 4 – Principais requerimentos e normas para estruturas de água e esgoto

Água potável	Esgoto – contato com o efluente	Esgoto – zona de gás
Impermeabilidade – NBR 10787 e DIN 1048	Impermeabilidade – NBR 10787 e DIN 1048	Impermeabilidade – NBR 10787 e DIN 1048
Potabilidade – NBR 12170	Aderência em superfícies úmidas	Aderência em superfícies úmidas
Higiene – DVGW W347	Difusão de vapor de água ≤ 4,0m (DIN 52615)	Difusão de vapor de água ≤ 4,0m (DIN 52615)
Microorganismos – DVGW W270	Aderência > 1,5 MPa – DVGW W300	Aderência > 1,5 MPa – DVGW W300
Aderência em superfícies úmidas	Total de Poros < 10 % – DVGW W300	Total de Poros < 10 % – DVGW W300
Difusão de vapor de água ≤ 4,0m (DIN 52615)	Resistência c compressão > 45 MPa – DVGW W 300	Resistência c compressão > 45 MPa – DVGW W 300
Aderência > 1,5 MPa – DVGW W300	Espessura > 5 mm – DVGW W300	Espessura > 5 mm – DVGW W300
Total de Poros < 10 % – DVGW W300	Resistência a águas agressivas – DIN 4030 e DIN 1045, parte 2	Resistência a águas agressivas – DIN 4030 e DIN 1045, parte 2
Resistência à compressão > 45 MPa – DVGW W 300	Resistência à penetração de cloretos	Resistência à penetração de cloretos
Espessura > 5 mm – DVGW W300	Resistência ao ataque de sulfatos – isenta de C ₃ A	Resistência ao ataque de sulfatos – isenta de C ₃ A
Fácil manutenção e limpeza	Resistência a abrasão – DIN EN 598	Resistência ao ácido sulfúrico biogênico
Amigável ao meio ambiente	Fácil manutenção e limpeza Amigável ao meio ambiente	Fácil manutenção e limpeza Amigável ao meio ambiente

Aplicação do concreto em estruturas *offshore*

Juliana Ferreira Fernandes
Túlio Nogueira Bittencourt
Paulo Helene
Universidade de São Paulo

Resumo

Este artigo apresenta uma revisão da aplicação do concreto em estruturas *offshore* nos últimos 35 anos. Atualmente, há 350 plataformas de concreto de gravidade e flutuante em operação e em projeto no Mar do Norte, norte do Canadá, Austrália, Holanda, Congo, Nigéria, Indonésia, Rússia, Filipinas, Brasil e no Golfo do México. Mais recentemente, um importante terminal de gás *offshore* LNG (*Liquefied Natural Gas*) foi projetado e está sendo construído em Algeciras, próximo ao estreito de Gibraltar na Espanha. Nos últimos 30 anos, houve uma considerável melhoria nas dosagens e nos aspectos construtivos na produção do concreto. Hoje, com o aprimoramento da tecnologia dos concretos e com o desenvolvimento de novos materiais componentes, como os aditivos redutores de água e as adições pozolânicas, como metacaulim e sílica ativa, é possível obter com facilidade alta resistência mecânica e elevada durabilidade. Também o uso de agregados leves, material importante para a redução do peso da estrutura, colabora para as questões de maior flutuabilidade. A execução de uma estrutura *offshore* de concreto no contexto atual pode ser uma excelente opção para as empresas petrolíferas.



Figura 1 – Tanques de estocagem de petróleo de Ekofisk I e quebra-mar

Introdução

O aço e o Concreto competem como material estrutural na exploração e na produção de óleo e gás *offshore*. Nenhuma dessas opções de material estrutural deve ser excluída sem uma análise prévia e criteriosa das condições encontradas no campo petrolífero.

Desde 1940, o aço foi preferido na execução de plataformas *offshore* que exploram e que produzem óleo, devido aos avanços tecnológicos desse material e aos equipamentos empregados na região do Golfo do México. Contudo, o aço apresenta algumas desvantagens, dentre elas, o custo e a disponibilidade do material na quantidade necessária, cuja oferta às vezes escasseia. O fator econômico foi um dos motivos para o incentivo de estudos de um material



Figura 2 – Plataformas offshore brasileiras: (a) PUB-2; (b) PUB-3

alternativo para a execução de estruturas *offshore*.

O concreto emergiu como uma resposta a estas questões por ser um material abundante e barato. Além disso, são bastante conhecidas as técnicas para sua produção contínua e lançamento adequado. Com o aprimoramento da tecnologia dos concretos e com o desenvolvimento de novos materiais componentes, como os aditivos redutores de água e as adições pozolânicas, podem-se obter com facilidade alta resistência mecânica e elevada durabilidade. Além dos concretos de alta resistência, há a tecnologia da protensão com cabos de aço de altíssima resistência, a tecnologia do pré-fabricado e os conceitos mais perfeitos de projetos com uso de computadores.

Plataformas de concreto *offshore* dispensam fixação com estacas. O peso próprio e o peso da armazenagem de óleo ou de água, usada como lastro em compartimentos especiais, são ao redor de centenas de mil toneladas sendo capazes de permanecer na sua posição sob carga de serviço. Devido a esses fatores, as plataformas de concreto *offshore* podem ser até 50% mais baratas do que a de aço equivalente. A possibilidade do uso de células cilíndricas ocas para armazenagem de óleo pode eliminar a necessidade da construção de grandes dutos entre o local da exploração de óleo e a costa. Todos esses fatores permitem ao concreto, mais precisamente o armado e o protendido, ser um material competitivo e atrativo para um projeto de estruturas *offshore*.

Na exploração e produção de óleo no Mar do Norte, as condições ambientais são muito severas, ondas de 29 metros altura, ventos acima de 210km/h e, principalmen-

taforma de concreto, denominada Ekofisk (Fig.1). O principal objetivo desta unidade *offshore* é a armazenagem de 159.000m³ de óleo. Ela está localizada no meio do Mar do Norte a uma distância de 170km da costa Norueguesa. Esta plataforma é uma estrutura de concreto protendido, com 90m de altura que se sustenta por uma base aproximadamente circular de 99m de diâmetro [1]. Essa unidade possui uma barreira de proteção projetada para reduzir a energia cinética das ondas. A barreira é feita de concreto pré-fabricado com 8634 furos. A resistência à compressão do concreto utilizado na estrutura de proteção foi em torno de 62 a 68 MPa com alta resistência à erosão. O objetivo dessa barreira é proteger a estrutura principal das condições severas apresentadas na região. O resto da estrutura foi construída com concreto de resistência média de 43MPa, aos 28 dias. A estrutura foi executada sobre a costa, montada em doca seca a 480km do local de locação.

Com o sucesso da Ekofisk I, 15 plataformas de concreto foram instaladas nos anos seguintes em diferentes setores do Mar do Norte. Essas estruturas consumiram juntos mais do que um milhão de metros cúbicos de concreto.

No Brasil, no mesmo período, 3 plataformas *offshore* de concreto de gravidade GBS (*Gravity Base Structure*) foram construídas. Essas plataformas foram executadas no campo de Urbanas. Elas foram denominadas de PUB-2, PUB-3 e PUB-4 e foram destinadas a perfuração, a produção e ao armazenamento de petróleo.

O consórcio Mendes Junior-Campeon Bernard foi o contratado pela Petrobrás para a construção dessas plataformas

te, a necessidade de alcançar grandes profundidades. Com novas geometrias e novas técnicas, foram desenvolvidos, nos anos 70, projetos de plataformas de concreto, capazes de suportar o agitado Mar do Norte, as quais estão hoje em excelente estado de operação.

Em 1973, foi construída no mundo a primeira pla-

no interior da costa da Bahia. O local do canteiro de obras foi no interior da Baía de Todos os Santos. Logo após a construção, as unidades foram rebocadas desde o canteiro até a costa do Rio Grande do Norte, onde se encontram instaladas atualmente, Fig.2.

As plataformas de gravidade brasileiras são estruturas multi-celulares feitas de concreto protendido. Cada unidade possui 53m de comprimento, 46m de largura. Com 25,7m de altura e pesando cerca de 28.000t cada uma, necessitavam de uma profundidade de 15m para navegação. Cada unidade possui 22 células para material de lastro, e 20, para armazenamento de óleo, consumindo na sua construção cerca de 10.000m³ de concreto, 1.200t de aço doce e 270t de cabo de protensão. A sua construção foi iniciada num dique seco e, após ter condições de flutuação com altura de 7,8m, foi rebocada para uma ponte, onde ali, era finalizada sua execução. Uma das características do processo construtivo foi à utilização de formas deslizantes para a concretagem das paredes, que totalizava uma extensão de 750m e era acionada por cerca de 400 macacos. Para utilização deste processo foi necessário dotar o concreto das paredes de características especiais, principalmente com relação à pega de cimento, cujo início foi retardado em 16 horas. O concreto empregado possuía condições necessárias para manipulação por bombeamento. Durante o controle do concreto das três estruturas, os valores médios da resistência à compressão aos 28 dias situaram-se sempre acima de 50MPa, sendo que no projeto estrutural foi prevista uma resistência característica de 35MPa [2].

Desde então, mais de 40 plataformas *offshore* de concreto de gravidade e flutuante foram construídas e instaladas ao redor do mundo. No mar do Norte, existem 15 plataformas instaladas no setor norueguês, incluindo as

flutuantes Heidrun TLP (*Tension Leg Platform*), Fig. 3, e a semi-submersível Troll B, Fig. 7. Existem 12 plataformas de concreto instaladas no setor britânico. Além dessas unidades, existem plataformas de concreto instaladas na Indonésia, Canadá, Alemanha, Estados Unidos, Holanda, Congo, Nigéria e Austrália. As mais recentes plataformas têm sido instaladas na Rússia (Ilha Sacalina), Dinamarca, Filipinas e Nigéria. A Tabela 1 ilustra uma lista mais detalhada sobre as estruturas *offshore* de concreto. Mais recentemente, um importante terminal LNG *offshore* foi projetado e agora está sendo construído em Algeciras próximo ao Estreito de Gibraltar, Espanha. Essa estrutura será o primeiro terminal *offshore* do mundo. Ele será instalado *offshore* em Rovigno, Itália. Essa obra é conhecida como projeto LNG Adriático. Similares terminais LNG estão em estágio de projeto.

Tipos de projetos

TANQUES CILÍNDRICOS

A plataforma Ekofisk foi construída de acordo com o conceito Francês-Canadense. A decisão de construir essa plataforma permitiu o desenvolvimento, não somente da estrutura *offshore*, mas também do avan-

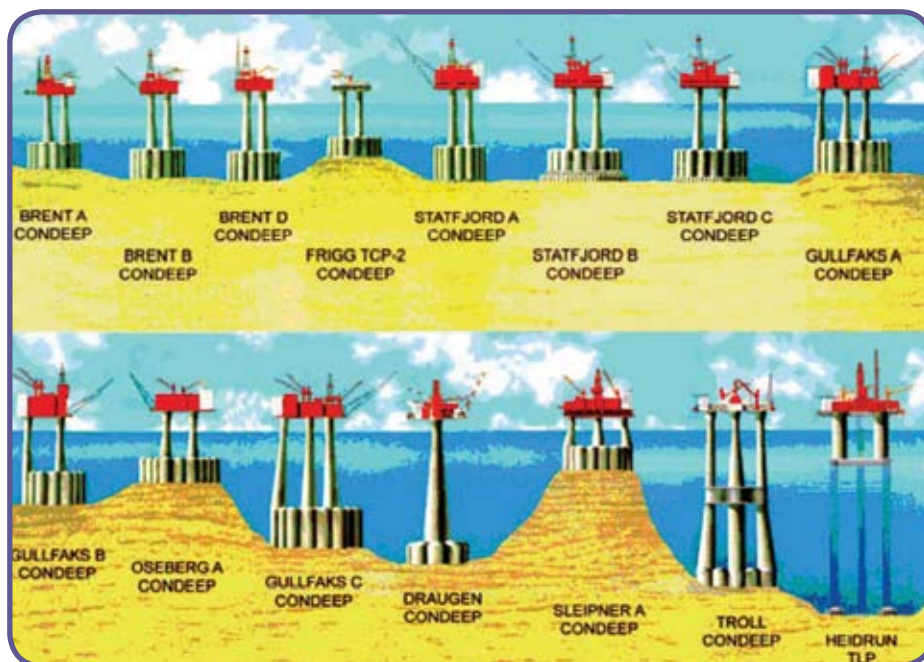


Figura 3 – Algumas plataformas de concreto instaladas na região norueguesa (www.olavolsen.no)

ço da tecnologia do concreto, métodos de projeto, métodos construtivos, previsão de carregamento, qualidade de gerenciamento e evolução na segurança [4]. Posteriormente no Mar do Norte, três projetos similares ao conceito Ekofisk foram realizados (Frigg CDP-1 1975, Frigg MP-2 1976 e Ninian Centre 1978) [4].

Finalizada em 1997, instalada no norte do Canadá nas águas geladas de Newfoundland, a gigantesca plataforma "Hibernia", construída pela Mobil, possui o

mesmo conceito de tanque de concreto. Essa plataforma foi uma das edificações mais desafiadoras do mundo, executada com perícia e domínio tecnológico, com traços de concreto dosados em diferentes densidades. Os concretos utilizados foram executados com mistura de 50% de agregados leves e 50% de agregados normais, atingindo resistências à compressão média de 80MPa em corpos de prova cúbicos [5]. Essa estrutura resiste a impactos de icebergs pesando milhões de toneladas de gelo (Fig.4).

Tabela 1 – Estruturas Offshore de concreto
Fonte: [3]

Operador	Campo	Tipo de plataforma	Profundidade	Ano de instalação	Concreto Vol. m ³	Classe do concreto f _{cu}	Tipo de Concreto	País	
Philips	Ekofisk	Tanque	70 m	1973	80.000	C45	ND	Noruega	
Atlantic Richfield	Ardjuna Field	Barcaça LPG	43 m	1974	9.500			USA	
Mobil	Beryl A	Condeep 3 shafts	118 m	1975	52.000	C45	ND	Noruega	
Shell	Brent B	Condeep 3 shafts	140 m	1975	65.000	C45	ND	Noruega	
Elf	Frigg CDP 1	CGS	104 m	1975	60.000		ND	Noruega	
Shell	Brent D	Condeep 3 shafts	140 m	1976	68.000	C50	ND	Noruega	
Elf	Frigg TP1		104 m	1976	49.000		ND	Escócia	
Elf	Frigg MP2		94 m	1976	60.000		ND	Suécia	
Shell	Dunlin A		153 m	1977	90.000		ND	Holanda	
Elf	Frigg TCP2	Condeep 3 shafts	104 m	1977	50.000		ND	Noruega	
Mobil	Statfjord A	Condeep 3 shafts	145 m	1977	87.000	C50	ND	Noruega	
Shell	Cormorant A		149 m	1978	120.000		ND	Escócia	
Chevron	Ninian Central		136 m	1978	140.000		ND	Escócia	
Shell	Brent C		141 m	1978	105.000		ND	Escócia	
Petrobras	Urbanas Platforms (3)	Gravidade	15 m	1978	10.000	C35	ND	Brasil	
Mobil	Statfjord B	Condeep 4 shafts	145 m	1981	140.000	C55	ND	Noruega	
Amoco Canada	Tarsliut Island	4 hollow caissons	26 m	1981	8.400			Canadá	
Texaco	Schwedeneck A	Gravidade	25 m	1983	3.600	B45	ND	Alemanha	
Texaco	Schwedeneck B	Gravidade	16 m	1983	2.000	B45	ND	Alemanha	
Mobil	Statfjord C	Condeep 4 shafts	145 m	1984	130.000	C55	ND	Noruega	
Global Marine	Super CIDS	CGS Island	16 m	1984	14.300	C55/C45	ND/LC	Japão	
Statoil	Gulfaks A	Condeep 4 shafts	135 m	1986	125.000	C55	ND	Noruega	
Statoil	Gulfaks B	Condeep 3 shafts	141 m	1987	100.000	C55	ND	Noruega	
Norsk Hydro	Oseberg A	Condeep 4 shafts	109 m	1988	120.000	C60	ND	Noruega	
Statoil	Gulfacks C	Condeep 4 shafts	216 m	1989	240.000	C65	ND	Noruega	
Hamilton Brothers	N Ravenspurn	CGS 3 shafts	42 m	1989	9.750	C50	ND	Inglaterra	
Philips	Ekofisk P. B.	CGS c/ anel proteção	105 m	1990	106.000		ND	Noruega	
Elf Congo	N'Kossa	Barcaça	170 m	1991	27.000	C70	HPC	França	
NAM	F3 - FB - 1P	CGS	42 m	1992	23.300			Holanda	
Saga	Snorre CFT	3 cells, open skirts	310 m	1992	7.800	C60	ND/LC	Noruega	
Statoil	Sleipner A	Condeep 4 shafts	82 m	1993	78.000	C65	ND	Noruega	
Shell	Draugen	Condeep monotower	251 m	1993	85.700	C65	ND	Noruega	
Conoco	Heidrun Found.	Condeep w/skirts	350 m	1994	27.000	C75	ND	Noruega	
BP	Harding	CGS tanque	106 m	1995	36.745	C50	ND	Escócia	
Statoil	Troll A	Condeep 4 shafts	303 m	1995	225.000	C70/C75	ND/MND	Noruega	
Conoco	Heidrun TLP	TLP	345m	1995	65.700	C60	LC	Noruega	
Norsk Hydro	Troll B	Semi-submersível	340 m	1995	46.000	C75	MND	Noruega	
Esso	West Tuna	CGS 3 shafts	61 m	1995	29.862	C50/C60	ND	Austrália	
Esso	Bream B	CGS 1 shaft	61 m	1995	14.000	C50/C60	ND	Austrália	
Unocal	Q1 Halweg	Hybrid GBS, 4 shafts	24,6 m	1995	2.700			Europa	
Ampolex	Wandoo	CGS 4 shafts	54 m	1996	28.000	C50	ND	Austrália	
HMDC	Hibernia	CGS	80 m	1997	165.000	C85	ND/MND	Canadá	
Amarada Hess	South Arne	CGS 1 shaft	60 m	1999	28.000	C65	ND/MND/LWA	Escócia	
Shell	Malampaya	CGS 4 shaft	47 m	2000	35.000	C50	ND	Filipinas	
44					2.966.357				

ND: densidade normal - LC: concreto leve - HPC: concreto de elevado desempenho - LWA: concreto utilizando agregado leve.

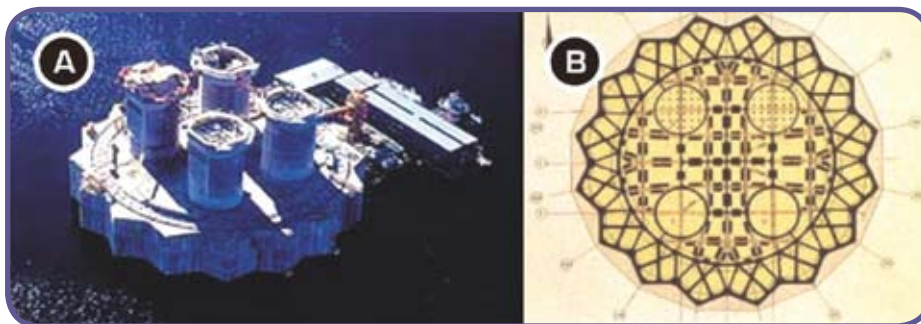


Figura 4 – Plataforma Hibernia offshore (a) ela sendo rebocada do dique seco para alto mar; (b) planta da vista superior da estrutura de concreto com diferentes densidades em seus componentes estruturais [5]

CONDEEPS E ESTRUTURAS SIMILARES DE GRAVIDADE

O conceito de projeto *Condeep* é baseado sobre uma base celular formada por células circulares. Acima das células há pilares, que podem variar de um a quatro colunas (*shafts*). A principal vantagem é a forma delgada desses *shafts* que vão até o fim da zona de ondas. Essas plataformas apoiam no fundo do mar por gravidade dispensando a fixação por estacas. Em 1975, Beryl Alpha, a primeira plataforma *Condeep*, foi lançada sobre a região do Reino Unido. Já em 1995, um total de aproximadamente 14 plataformas *Condeeps* tinham sido instaladas no Mar do Norte (Figuras 3 e 5) [4].

Plataformas flutuantes de concreto

TLP (TENSION LEG PLATAFORM)

Como a exploração de hidrocarbonetos vem também sendo realizada em águas profundas, nesse caso, estruturas flutuantes são muito mais competitivas do que as estruturas de gravidade.

A plataforma Heidrun foi a primeira TLP de concreto construída no mundo. Essa unidade foi instalada em 1995 em uma zona de águas profundas no Mar do Norte com 345m de profundi-



Figura 5 – Plataformas de concreto do tipo Condeep: (a) Gulfack C em operação; (b) Sleipner A em construção

dade. Todo o casco, incluindo as vigas mestras e pilares, exceção o *deck* que é de aço, foram utilizados concreto de elevado desempenho com agregados leves, a densidade específica do concreto foi em torno de 1950kg/m^3 . Essa estrutura recebeu da FIB um prêmio por

estrutura destaque no ano de 1998, Fig. 6. O volume de concreto utilizado nesta plataforma foi em torno de 65.700m^3 . O peso próprio do casco é 89.000t (além de 65.000t do *deck* mais maquinário), o deslocamento da estrutura é 285.000t .

ESTRUTURA FLUTUANTE ANCORADA POR CATENÁRIA

A primeira plataforma de concreto ancorada por catenária foi a Troll Ole ou Troll B, instalada no Mar do Norte em 1995 a 340m de profundidade (Fig.7). Essa estrutura foi a primeira da geração designada semi-submersível (semi-sub). A escolha desse projeto depende de vários fatores (profundidade, condições das ondas, etc.) e não permite a aplicação de *risers* rígidos. A estabilidade e a flutuabilidade são alcançadas por quatro grandes pilares conectados por um anel (*pontoon*). O volume de concreto utilizado nessa unidade foi 46.000m^3 , possui peso-próprio de 32.500t . O deslocamento é de 190.000t [4].



Figura 6 – Plataforma Heidrun de concreto (tension leg platform)

HEAVY LIFT VESSELS

A MPU Offshore Lift da Noruega com a Keppel Verolme dos Países Baixos lançaram por 140 milhões de Euros uma nova plataforma flutuante. Essa plataforma será similar a uma semi-submersível, a primeira dessa linha, prevista para estar finalizada em 2009.

A semi-sub de concreto, projetada pela Grenland Group em Sanderfjord, será em forma de U, Fig.8. A MPU – *Multi Purpose Unit – Heavy lifter* é resultado de um programa de pesquisa de oito anos de duração, que está incluso o projeto detalhado e o modelo reduzido para teste em tanque de prova [7].

PLATAFORMAS OFFSHORE FLUTUANTES DE CONCRETO LNG/LPG

LNG, *Liquefied Natural Gas*, com temperatura de -160°C , LPG, *Liquefied Petroleum Gas*, com temperatura de -40°C , ocupam aproximadamente 630 vezes e 310 vezes, respectivamente, menos volume do que a forma gasosa a temperatura e a pressão constantes. A redução de volume permite que produtos criogênicos

sejam transportados via mar.

Plataformas offshore flutuantes LNG/LPG de armazenagem podem servir para outros fins de transporte, como liquefação ou como regasificação. O casco de concreto protendido tem várias vantagens em relação a outros materiais ao armazenar produtos criogênicos, dentre eles estão: excelentes

resistências a temperaturas criogênicas, *shocks* térmicos e desempenho marítimo. Um bom exemplo de estrutura de concreto flutuante é o terminal LPG Ardjuna Sakti [8].

A Ardjuna Sakti é uma unidade de armazenagem LPG de concreto protendido com dimensões $140.5 \times 41.5 \times 17.2$ m (comprimento x largura x altura) e deslocamento de 66.000t. Essa barcaça foi construída e completamente finalizada em Tacoma (Washington). Após sua execução, ela foi rebocada por 16.000km através do Oceano Pacífico com destino ao Mar Java, Indonésia, onde permanece ancorada em um bom estado de conservação até os dias de hoje.

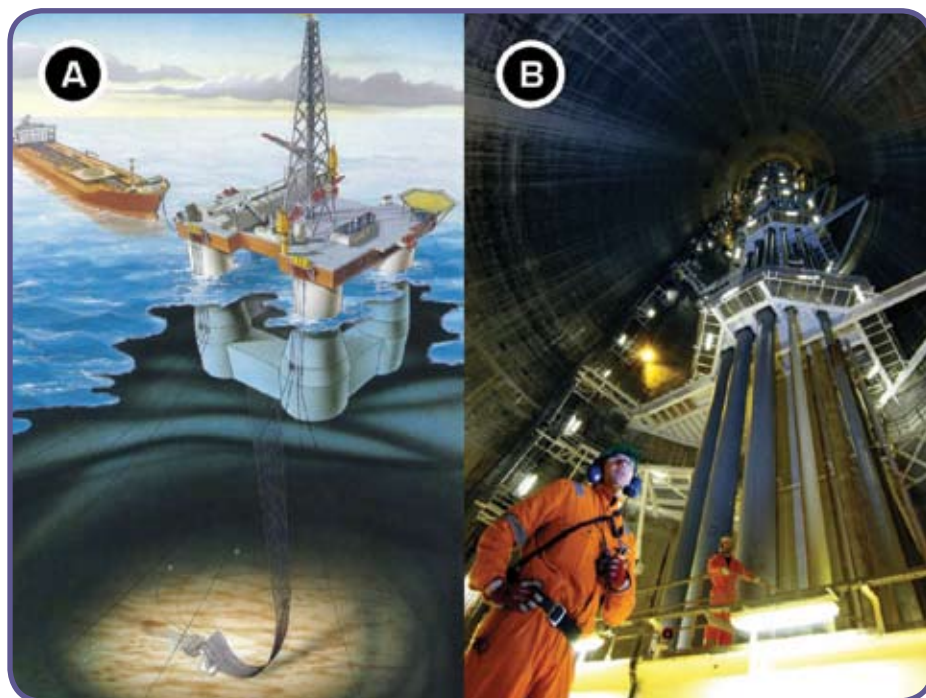


Figura 7 – Troll B a primeira plataforma de concreto flutuante ancorada por catenária: (a) projeto; (b) parte interna de uma das colunas



Figura 8 – Heavy lift vessels

BARCAÇAS

Nkossa: Operadora pela Elf Congo, essa barcaça é considerada a maior do mundo em concreto de alta resistência protendido. Essa unidade, construída em Marseille, França, possui dimensões 220 x 46 x 16 m (comprimento x largura x altura) com deslocamento de 107.000t. Sua função é de armazenar óleo e gás natural, além da exploração de óleo. Depois de finalizada em 1996, ela foi rebocada por 7200km até chegar a Costa Oeste do Congo, África, onde permanece ancorada a 170m de profundidade. O volume de concreto consumido nessa empreitada foi de 27.000m³ com resistência média à compressão variando de 70 a 78 MPa. O peso total da estrutura é 33.000t [9].

C-Boat 500: Essa unidade é um protótipo de barcaça, construída no Japão em 1982, com dimensões 37 x 9 x 3,1 m (comprimento x largura x altura) e com uma capacidade de carga de 490t. O concreto utilizado no casco foi o concreto leve pré-fabricado e protendido com densidade de 1800 kg/m³ e resistência média à compressão de 50 MPa [10].

Terminal

TERMINAL LNG EXPORTAÇÃO/IMPORTAÇÃO

Terminal LNG ilustrado na Figura 9 pode ser colocado em águas rasas ou em terra, vai depender dos requisitos funcionais. Esse projeto ainda está em estudo.

PROJETO LNG ADRIÁTICO

Recentemente, um importante terminal LNG foi projetado e está sendo construído

em uma doca seca em Campamento, Baía de Algeiras, próximo ao Estreito de Gibraltar no Sul da Espanha (Fig.10). O terminal LNG Adriático será instalado *offshore* em Rovigno, Itália e está previsto entrar em operação em Abril de 2008. O terminal receberá LNG de Catar, onde o gás líquido será armazenado e regaseificado. O gás será alimentado por um oleoduto a 17km da costa, aproximadamente a 30km da cidade de Rovigno pelo sistema de distribuição de gás italiano e onde será distribuído aos consumidores. A finalidade desse terminal é receber gás natural em forma líquida de navios petroleiros de Catar a cada três dias. O terminal consiste em uma estrutura de gravidade GBS instalado em local de águas rasas, similar a uma ilha artificial. Devido ao seu tamanho 180 x 88 x 48 m (comprimento x largura x altura), o GBS deve ser construído dentro de um dique seco. Após sua finalização, a doca é inundada e a unidade é rebocada até o seu destino final.

Aplicações de concreto para unidades *offshore*

A maioria das plataformas *offshore* tem empregado concreto de alta resistência altamente armado e protendido. As classes dos concretos variam de C40 a C85 [11]. Esse tipo de estrutura tem proporcionado o avanço na tecnologia do concreto além das utilizadas na prática normal de projeto. A bibliografia técnica sobre o concreto de alta resistência é vasta e com aspectos comuns. O primeiro é que há várias normas em todo o mundo, mas elas não satisfazem o uso do concreto de alta resistência. Várias delas

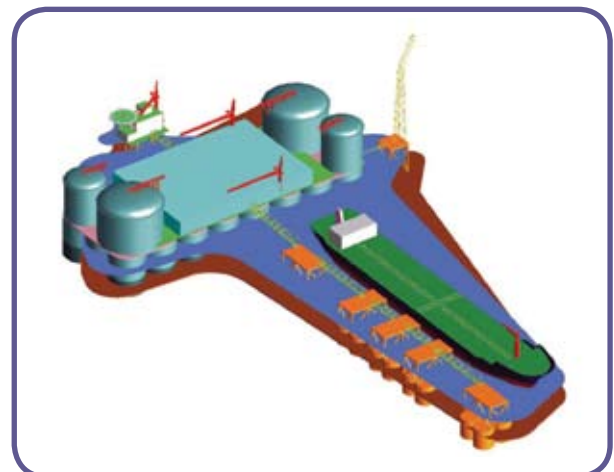


Figura 9 – Terminal LNG (www.olavolsen.no)



Figura 10 – Terminal LNG Adriático em construção em doca seca

são muito conservadoras e outras, conduzem a estimativas acima da capacidade dos elementos estruturais de concreto de alta resistência. O segundo, é essencial e necessário ter um confinamento eficiente do aço para prever uma ductilidade adequada ao membro estrutural. Inúmeros modelos vêm sendo propostos.

DOSAGEM DO CONCRETO APLICADO EM ESTRUTURAS OFFSHORE

Em estruturas *offshore* de concreto, a alta resistência do material depende de vários fatores, talvez o mais importante, o uso de agregados de alta resistência. O uso de materiais cimentícios suplementares, como a sílica ativa, a cinza volante e a escória de alto forno em conjunto com o cimento Portland são extremamente importantes para melhorar a resistência e a durabilidade do concreto. Esses suplementos são finamente divididos em materiais silícios, e quando usados em conjunto com a alta redução de água atuam nos produtos hidratados do cimento Portland refinando seus cristais e reduzindo os poros na matriz. Essa redução de porosidade na matriz de pasta de cimento hidratado contribui na resistência do concreto endurecido. Nas estruturas *offshore* de concreto, o conteúdo de material cimentício é muito alto e tende a variar em uma faixa de 380 kg/m³ a 500 kg/m³. A relação água/material cimentício é tipicamente reduzida para níveis de 0,38 à 0,30 (em massa).

No Brasil, as adições ativas minerais têm sido utilizadas com sucesso na produção do concreto de alta resistência em dosagens que variam entre 5% e 15%, podendo-se citar entre as mais utilizadas: metacaulim,

sílica ativa, cinzas volantes, pozolanas naturais e cinzas de casca de arroz.

CONSTRUÇÃO

A utilização do concreto de alta resistência cria vários problemas com respeito a construção em estruturas *offshore*. O primeiro é a necessidade de alta porcentagem de armaduras com espaçamentos reduzidos dos estribos e a alta quantidade de cabos de protensão. Essas necessidades criam um congestionamento e dificuldades de alojamento das barras, as quais requerem uma redução do diâmetro máximo nominal do agregado graúdo utilizado no concreto e um aumento substancial na trabalhabilidade do concreto. O diâmetro máximo nominal utilizado neste tipo de estrutura varia de 10mm à 14mm e o *slump* varia de 180mm à 220mm para obtenção de um lançamento satisfatório.

O grande acréscimo do material cimentício usado no concreto de alta resistência cria problemas com o alto calor de hidratação. A menos que precauções sejam tomadas, o grande acréscimo de calor inicialmente liberado quando inicia a hidratação, pode facilmente produzir temperaturas de pico em excesso de 70°C. Esta alta temperatura pode vir a causar danos à estrutura e à resistência do concreto. A solução para esse problema é produzir o concreto na usina a baixas temperaturas (5 – 8°C).

AGREGADO LEVE

Nos últimos 15 anos, várias pesquisas foram realizadas sobre o concreto utilizando o agregado leve na aplicação de estru-

turas *offshore*. Uma das maiores pesquisas sobre o assunto foi o "LettKon" – *Lightweight Aggregate Concrete for Structural Application*, realizado entre 1996 à 1999. Foi gasto nesse projeto por volta de 9 milhões de NOK. A meta desse programa consistiu em: posicionar o concreto leve no mercado competitivo; consolidar a tecnologia norueguesa do concreto de alta resistência leve, com o intuito de proporcionar maior qualidade ao material e menor densidade para ser usado nas plataformas e nas pontes; economizar e aumentar a eficiência em todas as partes do processo de fabricação do material; produzir um guia técnico para o uso do concreto leve e normalizá-lo. LettKon foi desenvolvido em paralelo com o programa da União Européia "EuroLightCon" – *Brite EuRam III programme: Economic Design and Construction with Light Weight Aggregate Concrete*.

Normalmente, o concreto de alta resistência permite densidades variando de 1900-2000 kg/m³ e pode ser produzido em grande escala no canteiro de obra (comparado aos concretos C75-C85 com densidades normais de 2450 kg/m³). As matérias primas dos agregados leves, geralmente utilizadas em plataformas *offshore*, são: argila expandida, cinza volante e folhelho. A Tabela 2 ilustra alguns agregados leves utilizados nas estruturas *offshore*.

CRITÉRIOS DE PROJETO

Na Noruega, o conjunto de Normas utilizadas na indústria *offshore* são denominadas NORSOK. A partir de 2007 esse conjunto foi substituído pela ISO/DIS 19903, além da NS 3473 para projeto de estruturas de concreto utilizada no setor norueguês desde a década de 70.

A norma ISO/DIS 19903 sobre estrutura de gravidade *offshore* estabelece que o concreto fresco deva ser inteiramente

trabalhável em todos os estágios, desde a manufatura, transporte, lançamento e compactação. As propriedades do concreto fresco e endurecido devem estar especificadas através de normas nacionais e internacionais, tais como a resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e energia de fratura. Propriedades que podem causar fissuras no concreto estrutural devem estar bem avaliadas, tais como fluência, retração, calor de hidratação, expansão térmica e efeitos similares. A durabilidade do concreto estrutural está ligada a permeabilidade, a absorção, a difusão e a resistência aos ataques físicos e químicos encontrados em ambientes marítimos. O concreto deverá ter uma relação água/cimento menor que 0,45 e na zona de respingo, esta relação deverá ser menor que 0,40.

As normas do Reino Unido, Austrália, França, Alemanha, Canadá e Estados Unidos também são utilizadas.

A Norma mais consultada nas estruturas *offshore* de concreto é o ACI-357 – *Concrete Offshore Structures*. As Normas alternativas são a canadense S-474 – *Concrete Structures Offshore Structures* e a norueguesa NS-3473 – *Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures*.

Estas Normas abrangem as condições do ambiente de carga no contexto *offshore*, os requisitos de materiais empregados, as condições estruturais de projeto, a instalação, a manutenção e o reparo. Além das condições citadas anteriormente, as considerações das etapas de construção, a resposta dinâmica durante as ondas de tempestade, vento, cargas de corrente, impactos locais de ondas e de barco, e as cargas dinâmicas de terremoto também estão inclusos. As provisões para a inspeção e a segurança são estabelecidas e ressaltadas.

Tabela 2 – Alguns agregados leves utilizados em estruturas *offshore*

Nome Comercial	Companhia/País
Liapor 8	Lias-Franken Leichtbaustoffe GmbH., Alemanha
Leca 800	A/S Norsk Leca, Noruega
Clondine	Texas Industry Inc., USA
Northeast Solite	Solite Corporation Inc., USA
Lytag	Boral Lytag, Reino Unido

Conclusões

Após anos de utilização de plataformas de concreto para exploração de petróleo e gás, algumas evidências sobre seu comportamento podem ser apresentadas conforme abaixo:

- ◆ As necessidades da indústria de construção de plataformas *offshore* têm sido essenciais para o incentivo ao desenvolvimento de novos concretos de alta *performance* e de modernos métodos de construção.
 - ◆ As estruturas *offshore* de concreto têm apresentado um excelente desempenho em operação. Nenhum sinal de deficiência ligado ao material tem sido observado.
 - ◆ Os desenvolvimentos tecnológicos presentes nas atuais plataformas de concreto serão cruciais em futuras aplicações que possuam grandes demandas de desempenho, economia e durabilidade.
 - ◆ Estruturas *offshore* de concreto podem ser erguidas em praticamente todos locais com acesso a navios petroleiros e rebocadores. Contudo, em muitos casos, o projeto será dependente das limitações de profundidade da área.
- ◆ A quantidade de mão-de-obra local para construção de plataformas de concreto pode ser maximizada, sendo fator importante para desenvolvimento da economia do país onde se pretende instalá-las.
 - ◆ Para se obterem concretos de altas resistências necessários para as aplicações *offshore*, os agregados graúdos devem ser devidamente selecionados. Geralmente, agregados basálticos e graníticos são recomendados. Certos tipos de gnaisses são também possíveis de ser utilizados, mas devem-se evitar agregados calcáreos e dolomíticos. Agregados leves, como as argilas expandidas, são frequentemente utilizados para garantir uma redução de peso da estrutura. A qualidade do cimento é também crucial para que as características de resistência e durabilidade especificadas em projeto sejam adequadamente atingidas.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Dr. George C. Hoff pela sua fundamental contribuição para o desenvolvimento do concreto para aplicações *offshore* e pelas sugestões que levaram ao aperfeiçoamento deste artigo. ◆

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Xercavins, M. "Offshore Oil Storage in the North Sea-Ekofisk Reservoir". Concrete Sea Structures. Proceedings of the Fip Symposium. Tbilisi, September, 1973. pp. 105-108.
- [02] Cunha, N. L.; Gomes, A. O. "Concreto em Plataformas "Offshore". Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON. 30ª Reunião Anual do Ibracon, agosto, 1988. pp. 437-458.
- [03] FIB (2002) "Recycling of Offshore Concrete Structures Category: State-of-art Report". Bulletin 18. Federation Internationale du Beton. May, 2002. pp. 33.
- [04] Holand, I., Gudmestad, O. T., Jersin, E. "Design of Offshore Concrete Structures". Ed. Spon Press. London, 2000. pp 222.
- [05] Collins, M. P. "In Search of Elegance: The Evolution of the Art of Structural Engineering in the Western World". Concrete International. v.23, n. 7, July, 2001. pp 56-72.
- [06] Haug, A. K.; Fjeld, S. "A Floating Concrete Platform Hull Made of Lightweight Aggregate Concrete." Engineering Structures, Vol. 18. N. 11, 1996. pp. 831-836.
- [07] Knott, T. "Concrete Thinking." Offshore Engineer, Vol. 32, n. 1, jan (2007).
- [08] Gerwick, B.; Berner, D. (2004) "Fixed and Floating Concrete Offshore Terminals for LNG". Structure Magazine. August, pp. 26 – 28.
- [09] Valenchon, C., Nagel, R., Viallon, J. P., Belbeoc'h, H., Rouillon, J. "The Nkossa Concrete Oil Production Barge". OMAE – Volume I-B, Offshore Thecnology ASME. pp. 11-17, 1995.
- [10] VSL International LTD. (1992) "Floating Concrete Structures". Ed. VSL International, second printing. Berne, Switzerland. July. 24 p.
- [11] Hoff, George C. "Trends in Concrete Technology for Offshore and Marine Structures". In: Concrete Technology: Past, Present, and Future, Proceedings of V. Mohan Malhotra Symposium, Mar 21-23, 1994. Ed. by P. Kumar Mehta; American Concrete Institute ACI, Detroit, MI, 1994, pp. 289 - 305. (ACI SP 144).

Programa MasterPec

Master em Produção de Estruturas de Concreto

Cursos programados para o 49º Congresso Brasileiro do Concreto,
em Bento Gonçalves RS



Segunda, 3 de Setembro de 2007

Manhã – 9h00 às 10h30
Coffee Break – 10h30 às 11h00
11h00 às 13h00

Sala 1

Dosagem de Concreto de Alto Desempenho

O curso oferece uma abordagem teórica e prática ao tema dos concretos de alta resistência para estruturas duráveis. Apresentará um método científico-prático para a dosagem de concretos de elevado desempenho.

Vitervo O'Reilly

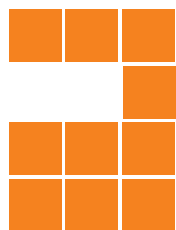
Doutor em Ciências. Professor Titular do Instituto Politécnico da Havana. Presidente da Comissão do Cimento e do Concreto de Cuba. Autor de vários livros sobre o assunto publicados em vários países, inclusive no Brasil

Patrocinador



Carga horária: 4 horas – Local: FUNDAPARQUE
Inscrição: www.ibracon.org.br

Informações: Marta
Tel.: 11 3735-0202 – marta@ibracon.org.br



BRASIL
atex
A FÔRMA DA LAJE NERVURADA

Guarulhos - SP
Rua Rosa Mafei, 399
Tel.: (11) 6438-60 01
Minas Gerais
Tel: (31) 3681 - 36 11
E-mail: atex@atex.com.br
Site: www.atex.com.br

Obra da Matec – na rua Hungria 08

Recuperação de estruturas de concreto no saneamento

Gustavo Figueiredo Maia
Construtora G-Maia

Carlos Antônio Camargos d'Ávila
Copasa – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

Introdução

Reservatórios, Decantadores, Flocculadores, Filtros, Reatores, Canais, Galerias, Adutoras, Interceptores e Emisários são estruturas que apresentam patologias específicas e diferenciadas no decorrer de sua vida útil. Via de regra, causadas pelo ambiente agressivo e, mais precisamente, pelo contato com águas puras ou com efluentes e gases; por isso, devem receber tratamentos adequados a cada especificidade.

É importante analisar, antes de qualquer tipo de intervenção, as causas das patologias, e as demandas de cada peça no intuito de se eleger a melhor tecnologia ou combinação entre tecnologias, que atendam as condicionantes físicas e químicas a que a estrutura está submetida.

Dentro deste raciocínio, podem ser necessários vários tipos de sistemas, mesmo para a intervenção nas estruturas de uma mesma ETA (Estação de Tratamento de Água), pois, tomando-se como exemplo um filtro de fluxo descendente com retro lavagem, o desgaste se dá, principalmente, por abrasão, o que não ocorre nas paredes e laje dos decantadores.

QUADRO 1 - Face inferior da laje de cobertura dos reservatórios

		
Condicionantes		
Concentração de Cloretos	Umidade	Exposição à amplitude térmica
Mecanismos de Deterioração Envolvidos		
Concreto Lixiviação	Armadura Despassivação por carbonatação Despassivação por elevado teor de Ion Cloro (Cloreto)	
Patologias Encontradas		
- Oxidação das Armaduras - Deslocamento de concreto	- Perda de seção das armaduras - Trincas sujeitas à movimentação térmica.	

As patologias mais frequentes

Para se definir os sistemas de recuperação e proteção adequados, é preciso, primeiramente, elaborar um diagnóstico que determine as causas das patologias, os condicionantes físicos e químicos e os mecanismos de deterioração sob os quais a estrutura está submetida (quadro 1 e 2). As normas relacionadas a este tema, a NBR 6118 (ABNT, 2004) e CETESB L1.007 (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

do Estado de São Paulo, 1980), podem auxiliar neste processo para a classificação do meio e o grau de agressividade deste ao concreto, porém é importante ressaltar a lacuna existente nas normas quando se necessita de diretrizes específicas para as estruturas de concreto no saneamento.

O sistema escolhido para o reparo deve, primeiramente, garantir a estabilidade da estrutura durante a intervenção e uso. Posteriormente, deve assegurar a durabilidade da peça recuperada considerando o meio ao qual a estrutura está exposta. O sistema de reparo e proteção deve ser capaz de estancar todos os mecanismos de agressão com durabilidade e suportar todos os condicionantes sem perder sua função.

Para aumentar as chances de acerto na escolha dos sistemas de proteção e reparo é impor-

tante entender como funcionam os mecanismos de degradação preponderantes ao concreto e ao aço. Por isso, vamos fazer uma breve descrição dos processos relacionados às patologias mais comuns no meio do saneamento.

PREPONDERANTES AO CONCRETO

Lixiviação: Este mecanismo de degradação acontece principalmente em lajes de teto dos reservatórios, em trincas e juntas de concretagem. Ocorre, por ação das águas puras, carbônicas, agressivas e ácidas que dissolvem e carregam os compostos hidratados da pasta de cimento. Acontece, nas lajes, tanto pela falta de impermeabilização da face superior, quanto pela condensação da água do próprio reservatório na face inferior. Pode provocar o desenvolvimento de fungos e bactérias. Como consequência, nota-se a redução do pH do extrato aquoso dos poros do concreto com risco de despassivação da armadura.

Expansão por ataque de sulfetos: Este processo de degradação é recorrente em ETE's e tubulações de esgoto feitas em concreto. A expansão é a degradação provocada por compostos de enxofre presentes no esgoto residencial, que atacam tanto a matriz hidratada do cimento, em um primeiro momento, quanto às armaduras após a perda do revestimento protetor. A corrosão do concreto acontece, principalmente, pela formação de sulfato de cálcio, que provoca uma série de reações onde o produto final da reação tem volume de até mil vezes o volume inicial, provocando assim a fissuração e a degradação do concreto de revestimento, em contato direto com o meio, expondo as armaduras aos agentes agressivos.

PREPONDERANTES À ARMADURA

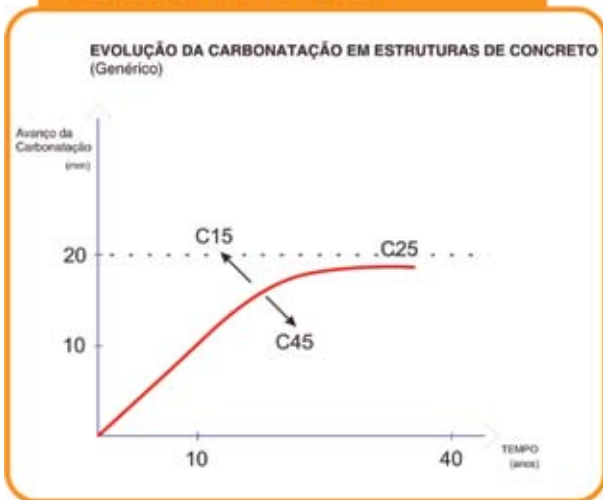
Despassivação por carbonatação: Ocorre em todo tipo de estrutura de concreto, se agravando nas áreas industriais e grandes centros urbanos devido a geração de CO_2 . Durante a hidratação do concreto, o hidróxido de cálcio $CA(OH)_2$ é produzido. Este, juntamente com a pasta de cimento, gera uma solução aquosa de pH aproximadamente 13. Esta solução extremamente alcalina cria uma camada passiva em torno da armadura, que previne sua corrosão, mesmo que estes sejam expostos ao oxigênio e à umidade (no entanto, não previne se exposto a cloretos). O dióxido de carbono CO_2 do ar, juntamente com a umidade, transforma o hidróxido de cálcio em carbonato de cálcio $CaCO_3$. Este processo é chamado de carbonatação. Em uma solução aquosa, o carbonato de cálcio tem um pH abaixo de 10. Em tão baixa alcalinidade a camada passiva em



torno da armadura não é mais eficiente. Então a corrosão das armaduras se torna possível, se existirem umidade e oxigênio suficientes. Não existe carbonatação se o concreto estiver seco (sem umidade para possibilitar a reação química) ou saturado de água (a água ocupa os poros impedindo a difusão do dióxido de carbono). A carbonatação do concreto acontece de forma mais significativa em ambientes com umidade relativa abaixo de 90% e acima de 60% ou em ambientes sujeitos aos ciclos de molhagem e secagem. É importante lembrar que a carbonatação é um processo de deterioração, que ataca as armaduras, porém para o concreto, este é um processo de aumento da densidade e resistência. Quanto mais denso o concreto for, ou se tornar, e mais profunda a frente de carbonatação estiver, mais lento será o progresso da carbonatação. Este é o motivo pelo qual se busca o aumento das coberturas de recobrimento das armaduras, pois com recobrimentos maiores, a frente de carbonatação se estabilizaria antes de atingir a camada de passivação das armaduras (gráfico 1).

Despassivação por elevado teor de Íon Cloro (Cloreto): penetração do cloreto através dos poros do concreto ou trincas, por difusão, impregnação ou absorção capilar que, ao superarem um certo limite de concentração em relação à concentração de hidroxilas nos poros do concreto, despassivam a superfície do aço, instalando a corrosão. Eventualmente os cloretos podem ser introduzidos no concreto em seu amassamento, através de excesso de aditivos endurecedores ou juntamente com os agregados do concreto.

Gráfico 1 – Gráfico ilustrativo da linha de avanço da carbonatação em relação ao tempo e à resistência do concreto



Despassivação por ataque ácido: Em ambientes com alto teor de sulfetos, após a expansão do concreto e a perda do cobrimento protetor das armaduras, acontece a corrosão das mesmas pela ação das bactérias e do ácido sulfúrico.

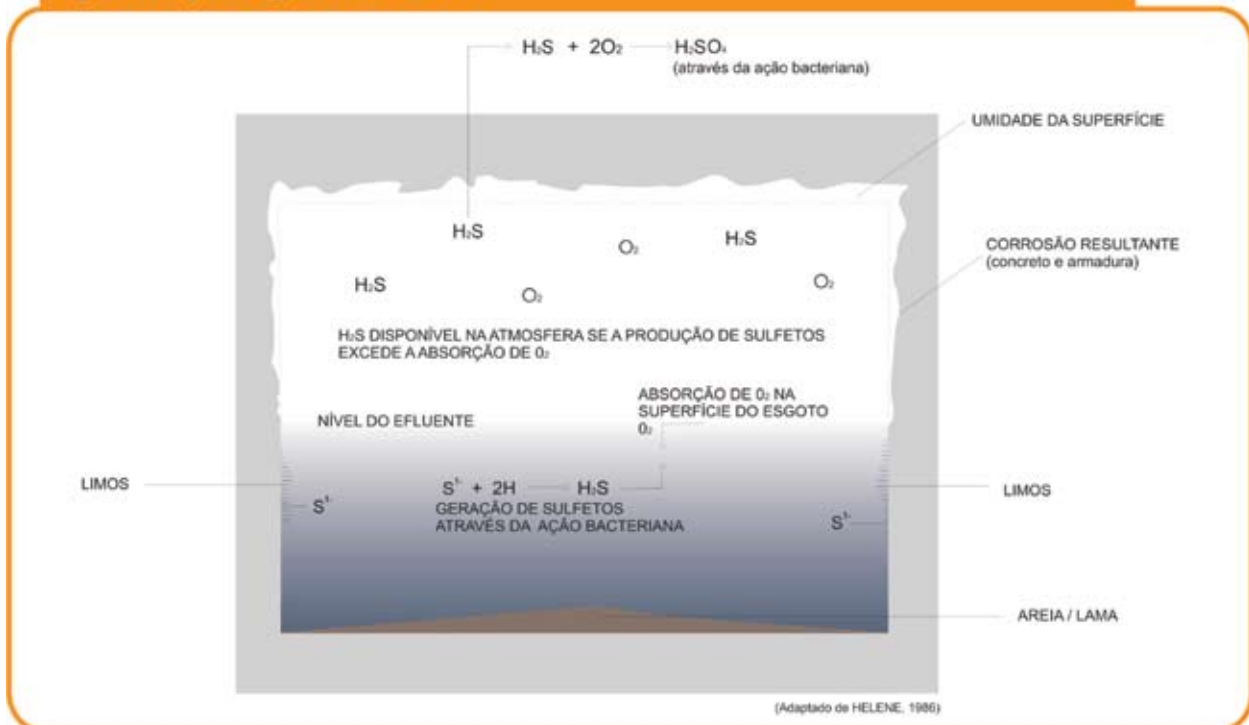
Um dos problemas recorrentes em estruturas de saneamento é o ataque químico causado pela dosagem de produtos extremamente ácidos

ou extremamente básicos. Estes casos devem ser tratados pontualmente, com materiais indicados para cada caso. Deve-se ainda alertar aos operadores sobre a necessidade de proteção preventiva, caso seja preciso a mudança do ponto de dosagem de produtos químicos.

Preocupação constante nas estruturas em contato com água, mas não menos recorrentes, são os vazamentos que vem sendo combatidos com todo o esforço, no intuito de reduzirem as perdas de água tratada e os danos causados pelos mesmos à estrutura, através do processo de degradação por lixiviação. Os vazamentos nas estruturas ocorrem, principalmente, através de juntas de dilatação, trincas, juntas de concretagem e brocas.

Já nas estruturas das ETE's (estação de tratamento de esgoto) os problemas mais frequentes, apesar do pequeno tempo de uso deste tipo de estrutura no Brasil, são decorrentes dos gases formados pelo esgoto doméstico. Por possuírem um pH muito baixo, é necessário pouco tempo de utilização para que se inicie um processo de degradação da estrutura, sobretudo na região sujeita ao contato com os gases (Figura 1). Nos canais de chegada, emissários e interceptores nota-se também um grande desgaste devido ao fluxo de sólidos imersos no líquido do esgoto (abrasão). Este tipo de degradação é extremamente preocupante, uma vez que, nestas unidades, não se tem uma sistemática de inspeção e manutenção. Devido

Figura 1 – Processo de degradação de estruturas em contato com gases gerados por esgoto doméstico



Exemplos de estruturas de concreto armado, utilizadas no saneamento (esquerda RAFA em ETE e direita Reservatório) com vazamentos através de juntas de concretagem, pontos de tirante de formas e trincas



à dificuldade de paralisação destas unidades e o tempo necessário para uma eficiente inspeção e manutenção, quando a patologia é identificada o processo de degradação pode encontrar-se em um estágio avançado.

Os vazamentos, assim como nas estruturas em contato com água, acontecem com grande frequência através de juntas de dilatação, trincas, juntas de concretagem e brocas e atacam as armaduras e o próprio concreto através dos sistemas de agressão vistos anteriormente.

As normas atuais para concreto armado têm recomendado, acertadamente, um maior recobrimento de proteção das armaduras (35 a 45mm) e um aumento da resistência dos concretos (35 a 40 MPA) nos meios de agressividade forte ou muito forte, no intuito de se garantir uma maior durabilidade das estruturas, pois um concreto com maior resistência apresenta uma maior compacidade e, por conseqüência, maior impermeabilidade, o que protege as armaduras do ataque de agentes agressivos. Apesar de aumentarmos a proteção às armaduras através do aumento de recobrimento, é importante ressaltar que, em estruturas de concreto para saneamento, é possível encontrarmos pontos delicados e propensos a algum tipo de comprometimento, como é o caso das trincas e brocas, juntas de concretagem e de dilatação. Um maior recobrimento é indicado para garantir uma maior espessura de proteção para que, mesmo à longo prazo, os mecanismos de agressividade se estabilizem, assim como vimos no gráfico acima relativo à carbonatação.

Portanto, é sempre necessário considerar tratamentos específicos para trincas, brocas e juntas de concretagem, caso não seja especificada

uma proteção geral à estrutura. É ainda importante colocar que fissuras por ação de cargas, independentemente dos cuidados de concretagem e cura, vão ocorrer em concretos com altas resistências, módulo de elasticidade e aços de elevada resistência como CA50 e CA60, como cita Helene em seu estudo *A Nova NB1/2003 (NBR6118)* e *a Vida Útil das Estruturas de Concreto*: "...O aparecimento de fissuras nas estruturas de concreto armado é inerente aos materiais que as compõe. A utilização de aços de elevada resistência (...) implica em deformações à flexão e à tração importantes no concreto que envolve essas armaduras superando, na maioria das vezes, a deformação específica máxima à tração do concreto. Superada essa capacidade de absorção de deformações, o concreto fissura."

As tecnologias tradicionais de recuperação e proteção

Antes de qualquer apresentação das técnicas de recuperação, é importante esclarecer que qualquer técnica depende diretamente da mão de obra de aplicação, equipamentos e materiais, como um sistema integrado que não deve falhar em nenhum desses pontos.

O conhecimento das técnicas e dos materiais é de suma importância para o sucesso da operação de reparo, assim como a expertise da equipe de aplicação. Os sistemas de recuperação, proteção e reforço dependem de materiais sensíveis e detalhes simples de aplicação, porém determinantes para que o resultado desejado seja alcançado.

Uma preparação de superfície adequada é um item crítico para qualquer sistema, seja de recuperação, impermeabilização, proteção ou reforço, e em muitas vezes, é desprezado em função dos custos. Entretanto, consideramos de extrema importância para o resultado do sistema.

Nas estruturas para reservação e produção de água potável, um cuidado adicional deve ser tomado. Todos os produtos das etapas de recuperação, proteção e impermeabilização do concreto devem ser aprovados para este uso através de laboratórios independentes e normas de potabilidade da água aplicável em sistema de impermeabilização, como a norma NBR 12170/1992, para se garantir que não haverá contaminação da água potável pelos produtos aplicados.

Existem algumas tecnologias que são recorrentes na recuperação de estruturas de concreto armado em peças de saneamento e que serão apresentadas a seguir:

Concreto ou argamassa projetada

A técnica de concreto projetado é bastante utilizada nos processos de recuperação e reforço e consiste em se conduzir, através de uma mangueira, concreto ou argamassa, projetando-o em alta velocidade (acima de 120 m/s). A força do jato de concreto, ao encontrar a superfície de base, comprime o material mantendo-o auto-aderido.

A superfície que vai receber o concreto pode estar na vertical, inclinada ou horizontal. Existem dois tipos de processos relacionados a esta técnica: via seca e via úmida.

No primeiro, o concreto é levado até o bico de projeção sem a adição de água que é adicionada no bico imediatamente antes da

projeção. No segundo caso, o concreto já adicionado com água é levado à câmara de projeção, onde através do ar comprimido, é levado até o bico de projeção. A partir daí, adiciona-se mais ar para a projeção contra o substrato.

Corretamente aplicado e com a superfície corretamente preparada, o material é estruturalmente adequado e durável, capaz de excelente aderência a outro concreto.

Argamassa polimérica

No intuito de se recuperar o recobrimento original do concreto e melhorar as características de proteção da armadura, tem-se utilizado, com bastante frequência, argamassas poliméricas industrializadas. O material pode ser aplicado projetado ou manualmente. As principais características deste sistema são: a redução de água da mistura para se obter uma boa trabalhabilidade; a baixa permeabilidade; e a boa aderência a substratos devidamente preparados.

Este sistema é indicado para reparos superficiais de até 50 mm de espessura. Cada tipo de argamassa polimérica deve seguir a espessura máxima de aplicação por camada. As argamassas poliméricas industrializadas têm-se desenvolvido no sentido de eliminar etapas de tratamento, evitando a necessidade de ponte de aderência e pintura anti-corrosão das armaduras, já incorporando essas etapas na própria composição da massa.

Juntas de dilatação pré-formadas de neoprene aderida com epóxi

Conforme dito anteriormente, as juntas de dilatação em estruturas de concreto armado

Figuras mostram os possíveis problemas causados pela concretagem deficiente em torno das *funjenband* e a possível intervenção para solução do problema



no saneamento geram problemas críticos de vazamento e degradação. As juntas de dilatação são normalmente tratadas preventivamente pelo sistema de juntas fungenband (Figura 4), que em algumas vezes não é efetivo para a vedação dos líquidos presentes nas estruturas, seja por motivo de má aplicação (falta de vibração em torno das abas ou mau posicionamento da junta) ou por elevada movimentação da estrutura, rompendo assim o perfil e/ou o concreto em torno deste. Nestes casos, as recuperações têm sido executadas através do sistema de colagem de perfil de neoprene extrudado com resina epoxídica*. Assim como os outros sistemas apresentados anteriormente, o sistema de reparo funciona efetivamente, desde que sejam seguidos os detalhes de preparação de superfície, cuidados necessários na aplicação, assim como os cuidados de se garantir a impermeabilidade do concreto na região de colagem do perfil.

Revestimento com cimento polimérico – (baixas espessuras)

O sistema de impermeabilização com cimentos poliméricos industrializados tem sido utilizados para a proteção e impermeabilização de estruturas de reservatório e ETAs (Estações de Tratamento de Água), porém este sistema tem sido contestado na Alemanha, onde a DVGW – “Associação Científica e Técnica Alemã Para Gás e Água – Comitê de Reservação de Água”, publicou um manual de requerimentos básicos para o uso de produtos à base de cimento em reservatórios, onde indica que a utilização deste tipo de revestimento para impermeabilização ou proteção de estruturas de concreto deve seguir uma série de requerimentos, entre os quais:

- ◆ Espessura mínima de 5mm para argamassas com tamanho da partícula máxima de 1mm; e espessura entre 5-15mm para argamassa projetada com tamanho de partícula máxima de 2-4mm.

A recomendação publicada foi resultado de um estudo produzido com base em diversos reservatórios pesquisados e testes de laboratório que mostram a rápida perda de resistência e adesão de argamassas poliméricas de pequena espessura (aplicadas como pintura ou projetadas), provocando a degradação do sistema de impermeabilização e proteção.

Os sistemas atuais de recuperação e proteção

REVESTIMENTO MINERAL DE ALTA RESISTÊNCIA QUÍMICA PARA IMPERMEABILIZAÇÃO E PROTEÇÃO DAS ESTRUTURAS

O sistema acima descrito consiste na aplicação de um revestimento mineral modificado sinteticamente, aplicado manualmente (com ponte de aderência) ou projetado (diretamente sobre a estrutura preparada). Tem espessura de camada final mínima de 5mm e máxima de 10mm. O sistema tem grande versatilidade já que possui altas resistências às substâncias agressivas e à abrasão, boa impermeabilidade e permite a difusão de vapor d'água.

Este processo tem sido bastante utilizado tanto em estruturas de tratamento de esgoto (áreas em contato com o efluente), quanto em estruturas de reservação e produção de água potável.

PROTEÇÃO SUPERFICIAL À BASE DE SILICATO POLIMÉRICO

Argamassa de silicatos alcalinos poliméricos de alta aderência a substratos minerais pode ser aplicada manualmente ou projetada em uma espessura entre 8 e 12 mm. Apresenta gel de silicatos amorfos ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) dentro da matriz endurecida, de forma que sua aderência, durabilidade e estabilidade dimensional faz torná-la apta para a proteção contra os gases formados pelo esgoto doméstico nas áreas em contato com gases das estações de tratamento de efluentes. Este gel de silicatos é resistente a todos os ácidos orgânicos e inorgânicos com pH próximos ao ZERO (exceto ao ácido hidrófluórico).

TRATAMENTO QUÍMICO IMPERMEABILIZANTE DE ALTA PENETRAÇÃO

O tratamento químico cristalizante tem por objetivo impermeabilizar e proteger as estruturas de concreto armado. Aplicado sobre o concreto, o tratamento é capaz de gerar formações cristalinas profundas, tornando-se parte integrante do mesmo e formando uma barreira definitiva que sela os poros e capilaridades, impedindo a penetração da água, mesmo sob altas pressões hidrostáticas.

O sistema de tratamento químico cristalizante é complementado com argamassas para reparos e tamponamentos formulados para recuperar concretos com defeitos ou danificados.

O tratamento químico cristalizante define-se como sendo um processo físico-químico que visa preencher as porosidades e capilaridades características da microestrutura do concreto, desencadeando um processo catalítico de formação de cristais não solúveis e não tóxicos numa profundidade mínima de 50 mm na estrutura do concreto, de modo a garantir que não haja a penetração de água por capilaridade, suportando pressões hidrostáticas tanto positivas quanto negativas de até 0,7 MPa. O concreto tratado com o sistema é capaz de proteger a estrutura de concreto além das armaduras, no que diz respeito à oxidação a partir da carbonatação e ataque de cloretos. Os tratamentos químicos cristalizantes cumprem as características de não toxicidade, não comprometimento da potabilidade da água e, principalmente, de não ataque aos componentes do concreto existente.

SISTEMA DE INJEÇÃO

A tecnologia de injeção consiste no preenchimento completo dos vazios (mínimo 80% da fissura) com um material adequado para cada tipo de fissura ou vazio, utilizando equipamentos de pressão e bicos para possibilitar a introdução dos materiais no interior da estrutura.

O sucesso desta tecnologia depende diretamente, além da correta escolha do material de injeção, da experiência do aplicador e da seleção dos equipamentos.

Esta técnica tem sido utilizada largamente como complemento aos sistemas rígidos de impermeabilização e proteção, para tratamento de trincas e para reparos localizados em estruturas em operação, pois possibilita o tratamento mesmo com a estrutura em carga.

Os materiais necessários para realização de injeção são:

- ◆ **Produtos de injeção**
- ◆ Resina de poliuretano
- ◆ Resina de poliuretano estrutural
- ◆ Resina epóxi
- ◆ Microcimento
- ◆ Gel acrílico ou hidroestrutural
- ◆ Gel acrílico polimérico
- ◆ **Bicos de injeção**
- ◆ Bicos de Perfuração
- ◆ Bicos de Adesão
- ◆ Bicos Plásticos

Bomba de injeção

Existem vários tipos de bombas de injeção. Dentre as mais utilizadas estão as bombas mono-

componentes, bi-componentes e bombas de injeção de microcimento. Os benefícios indispensáveis em um equipamento de injeção são:

- ◆ Ajuste ou limitação possível da pressão de injeção através dos controles de operação do equipamento;
- ◆ Facilidade para operar;
- ◆ Objetividade para testar sua efetividade;
- ◆ Risco pequeno de paradas;
- ◆ Facilidade de limpeza e movimentação

O sistema de injeção pode ser utilizado para atingir diversos objetivos, dentre os mais comuns e mais utilizados nas estruturas de concreto do saneamento estão:

TRATAMENTO ESTRUTURAL

O tratamento estrutural visa recompor as condições iniciais de suporte da estrutura e dos esforços resistentes do concreto estrutural. Para que a estrutura volte a ser monolítica, é necessária a injeção de materiais de altas resistências mecânicas nas fissuras das peças. Esses materiais são rígidos ou dúcteis e, portanto, não podem ser aplicados em fissuras ativas. Resinas à base de epóxi, poliuretano estrutural e microcimento são os materiais disponíveis atualmente para essa finalidade.

SELAMENTO DE FISSURAS

O selamento de fissuras visa impedir a entrada de agentes agressivos na estrutura como: água, cloreto, gás carbônico (CO₂), sulfatos, etc. Os materiais disponíveis para selamento são resinas à base de poliuretano, os quais são encontrados na versão hidroativada, para injeção em fissuras com fluxo d'água, e resinas de poliuretano flexível para promover um selamento definitivo. Não é indicado para o selamento definitivo a injeção, somente de poliuretano hidroativado (espuma), ou seja, quando necessária a aplicação de poliuretano hidroativado para selar provisoriamente o fluxo de água, o poliuretano flexível deve ser injetado, no mesmo local, como um complemento do sistema. Essas resinas podem tanto ser injetadas em fissuras úmidas ou secas; ativas ou passivas.

SELAMENTO DE JUNTAS DE DILATAÇÃO

O selamento de juntas de dilatação visa o preenchimento total do vazio entre as peças e em torno da fungeband para propiciar a estanqueidade e proteção. O material mais indicado para este tipo de tratamento é o Gel Acrílico Polimérico que alia uma ótima aderência ao concreto à grande flexibilidade.

IMPERMEABILIZAÇÃO (ÁREAS)

A impermeabilização ainda é um avanço recente dos sistemas de injeção que vem sendo adotada, cada vez mais, nas obras subterrâneas. Trata-se da injeção de uma resina à base de gel acrílico, também conhecida como hidroestrutural, na parte posterior das estruturas de concreto, em grandes áreas. O material injetado forma uma membrana flexível em pouco tempo, devido ao curto tempo de reação, impermeabilizando estruturas abaixo do lençol freático.

Os bicos de injeção devem ser instalados, de modo a permitir um completo preenchimento da trinca. Em bicos de perfuração, a regra geral é executar furos de 14 mm perfurados em ângulos de 45° em relação à superfície, com espaçamento equivalente à metade da espessura da parede. Os furos devem interceptar a trinca na metade de sua profundidade. Os bicos plásticos podem seguir a regra básica dos bicos de perfuração e podem também ser instalados em furos sobre as trincas, dependendo da abertura da trinca, preservando o espaçamento entre os bicos.

Já os bicos de adesão devem ser instalados com espaçamento equivalente a espessura da parede. Com este sistema não é necessária a perfuração da estrutura, porém só pode ser utilizado em substratos secos, devido a seu adesivo epoxídico.

O procedimento básico para instalação dos bicos deve ser seguido, quando possível, em

estruturas com espessura máxima de 60 cm. Em estruturas com espessuras maiores e situações especiais, o planejamento para instalação dos bicos deve ser estudado antes do início dos serviços, e o objetivo deverá sempre ser a garantia do preenchimento total da fissura ou vazio.

A injeção deve sempre iniciar pelo ponto mais baixo e seguir consecutivamente os bicos. Usualmente deve ser iniciada a injeção de um bico quando, o material de preenchimento injetado pelo anterior, verter por este.

Conclusão

É importante ressaltar que todo e qualquer sistema de recuperação deve vir acompanhado de um projeto fundamentado em um diagnóstico consistente, visando garantir a qualidade da intervenção. Para que o projeto se torne realidade, deve-se garantir que a execução dos serviços seja conduzida através de uma empresa especializada e com experiência comprovada. Um item importante, no longo prazo, são as manutenções e inspeções posteriores ao tratamento, de forma a garantir a durabilidade dos reparos ou identificar alguma patologia ainda em uma fase insipiente.

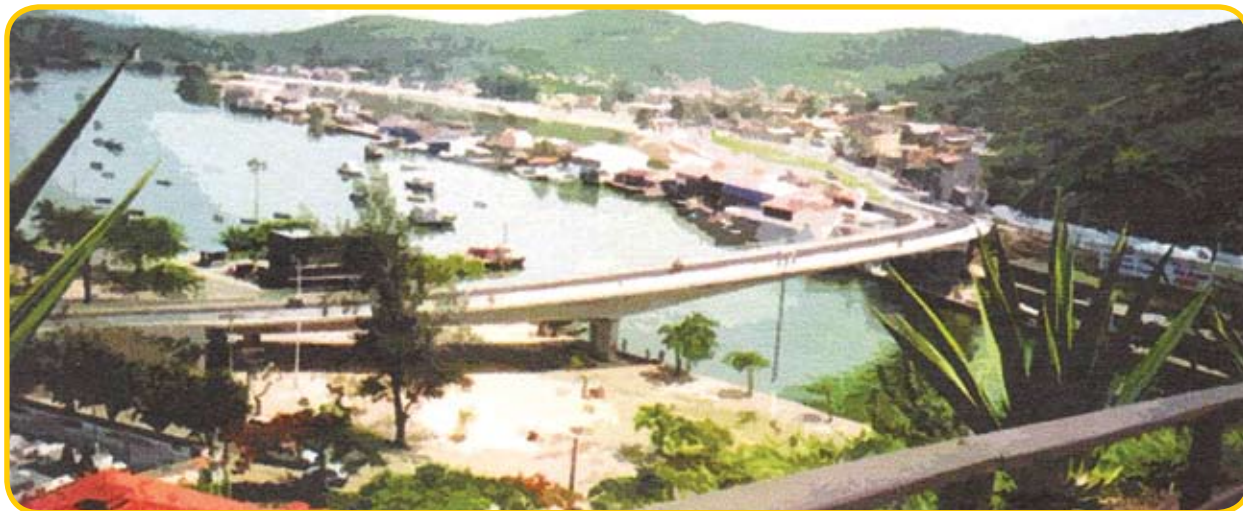
Os sistemas de impermeabilização proteção e recuperação, têm-se desenvolvido com uma velocidade muito grande, em decorrência do empenho de fabricantes deste tipo de material e de pesquisas relacionadas a este tema. Os materiais de injeção, por exemplo, têm se tornado cada vez menos viscosos e mais eficientes para o preenchimento de trincas e vazios. Novos produtos com fins específicos têm sido lançados no mercado para atender a cada tipo de situação. Este desenvolvimento tem propiciado uma larga expansão do campo de injeção, mostrando-se uma ferramenta extremamente valiosa para a solução de diversos tipos de patologia.

É interessante citar alguns dados próprios para exemplificar o volume de uso de cada tipo de material de injeção para uma análise do desenvolvimento do sistema.

Fica claro, através das informações apresentadas, que os sistemas de proteção, recuperação e impermeabilização de estruturas de concreto no saneamento estão exigindo, a cada dia, mais especialização e um maior conhecimento de todos os profissionais envolvidos. Serão exigidos capacitação e conhecimento por parte dos projetistas, empresas de aplicação, técnicos de campo e mão-de-obra, de forma que todo este conjunto possa lograr os resultados de eficiência e durabilidade esperados. ♦

LEGENDA INDICATIVO P/ ESCOLHA DOS MATERIAIS DE INJEÇÃO P/ PREENCHIMENTO DE TRINCAS E JUNTAS DE DILATAÇÃO

	SECO	UMIDADE	FLUXO DE AGUA
RÍGIDO (estrutural)	EPOXI MICROCIMENTO	EPOXI ESPECIAL (para aderência em substrato úmido) MICROCIMENTO	
DÚCTIL (estrutural)	POLIURETANO ESTRUTURAL	POLIURETANO ESTRUTURAL	POLIURETANO ESTRUTURAL
FLEXÍVEL	POLIURETANO FLEXÍVEL	POLIURETANO FLEXÍVEL GEL ACRÍLICO POLIMÉRICO (necessita de contato permanente com a umidade após a aplicação)	POLIURETANO FLEXÍVEL POLIURETANO HIDROATIVADO (Espuma) GEL ACRÍLICO POLIMÉRICO (necessita de contato permanente com a umidade após a aplicação)



Ponte sobre o canal de Itajuru – Cabo Frio

Eng. José Luis Cardoso
JLC Engenharia e Projetos

Relevância do empreendimento

O projeto básico da *Ponte de Cabo Frio* teve como objetivo principal a definição de um traçado geométrico adequado às novas necessidades viárias com total integração aos aspectos arquitetônicos absolutamente relevantes ao local da obra.

Assim, conclui-se que a concepção do projeto com a *técnica dos balanços sucessivos* foi a alternativa mais adequada, sob o ponto de vista técnico-operacional, pela não obstrução do canal, nem pela execução das fundações ou pilares ou até mesmo pelos cimbramentos provisórios durante o período da obra da nova ponte.

Dessa maneira aliado às dimensões singelas das características das pontes em balanços sucessivos, foi vencido todo o vão do Canal Itajuru, sem nenhuma interferência com o canal, mantendo as suas seções originais, o que para os amantes da natureza e da boa técnica garantiu o perfil arquitetônico do local e a sua estética.

Aspectos sobre a geometria da ponte

O projeto geométrico da *Ponte sobre o Canal de Itajuru* visou realizar a ligação entre a Cidade de Cabo Frio e o Morro do Telégrafo, procurando passar o fluxo de tráfego para fora da cidade, evitando-se desta forma, um congestionamento inevitável do tráfego atual.

Assim, o traçado teve como determinante, para a sua diretriz, duas retas, uma do lado do Cemitério, ligando a Ponte à Rua Vereador Carriço, enquanto que a segunda visava estabelecer continuidade do tráfego paralelamente a Avenida dos Pescadores. Essas retas formam um ângulo de aproximadamente 98° , o que levou a um Raio de Curvatura de 111,866 m, para um Comprimento Total da Ponte de 172,0 m.

Logo, as características geométricas da Ponte, em planta, determinaram dois balanços extremos de 3,50 m e vãos de 40,0m – 85,0m – 40,0 m, com um comprimento total de 172,0 m e um raio de curvatura de 111,866 m. Os ângulos centrais correspondentes aos arcos de

40,0 e 85,0 m, são, respectivamente, 20,48729° e 43,53550°.

Quanto ao greide, a fim de atender ao gabarito mínimo de 4,20 m, na ligação Cabo Frio – Portinho, à concordância com a Rua Vereador Carriço e à ligação com a Av dos Pescadores, foi necessário uma rampa de 8%, do lado do Cemitério e 6 % ao lado da Av. dos Pescadores.

Quanto ao sistema estrutural, previu-se, a fim de manter o vão central livre de pilares dentro do Canal, a execução do vão de 85,0 m pelo processo de Balanço Sucessivos, com 10 aduelas de 4,10m de cada lado da ponte, e o fechamento central de 3,00 m, dando continuidade ao mesmo, visando assim uma estética para a obra, condizente com a realidade da BELEZA de CABO FRIO.

A necessidade de uma grande rigidez torsional da seção transversal da ponte em curva com raio de 111,866 m e, em função do processo construtivo, em balanços sucessivos, nos levou a utilização da seção transversal em caixão unicelular, configurando a estética exigida para o empreendimento.

Aspectos relevantes da obra

VANTAGENS DA TÉCNICA DOS BALANÇOS SUCESSIVOS

O aspecto fundamental das construções em balanços sucessivos é o de suprimir os cimbramentos, seja, por necessidade de atender limites de gabaritos, ou por dificuldades e custos abusivos em seções de canais, rios e lagos.

PRINCÍPIO CONSTRUTIVO

O processo consiste em construir uma base de partida, para a partir daí, executar a obra (superestrutura) por avanços progressivos, isto é, fazer suportar pela estrutura de apoio já construída as fôrmas e aparelhagens que permitam executar as aduelas da superestrutura de forma sucessiva.

Assim, a ponte em balanços sucessivos consiste em construir o tabuleiro de uma ponte avançando por aduelas progressivas.

A estabilidade de cada construção por cabos de protensão detalhados nas nervuras e laje superior da estrutura da ponte.

VANTAGENS DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO EM BALANÇOS SUCESSIVOS

A principal vantagem da construção dos balanços sucessivos, como já dito anteriormente, é a supressão dos cimbramentos, deixando totalmente livre a seção de navegação do canal.

OUTRAS VANTAGENS IMPORTANTES

- ◆ redução e melhor utilização das fôrmas, limitadas aos comprimentos de uma aduela.
- ◆ aumento do rendimento da mão de obra, devido à mecanização das tarefas em ciclo repetitivo.
- ◆ flexibilidade da execução ligada à possibilidade de acelerar a construção multiplicando o número de bases (seções de apoio) para a partida da obra.
- ◆ rapidez de construções com o emprego de aduelas protendidas com extensão de 4,10 m com ótima velocidade de avanço.

Características operacionais das aduelas

As aduelas foram simétricas em relação ao pilar com a utilização de treliças móveis. O comprimento das aduelas foi projetado para 4,10 m, a fim de que os pesos fossem compatíveis com a treliça econômica para a sua sustentação na fase construtiva.

As aduelas foram concretadas com dos equipamentos móveis em estrutura metálica, que tomaram apoio sobre a parte do tabuleiro já construído.



A estabilidade dos equipamentos foi conseguida por ancoragens executadas a partir da última aduela concretada. As fases da construção de uma das aduelas foram as seguintes:

- ◆ concretagem da laje inferior
- ◆ concretagem das almas
- ◆ concretagem da laje superior

As duas últimas fases podem ser fundir em uma só fase. A cadência normal das construções permitiu a realização de um ciclo completo em uma semana, da seguinte forma:

- ◆ 1 dia para colocação da protensão da aduela concretada, desforma e avanço de equipamento.
- ◆ 2 dias para colocação no lugar das armaduras e cabos de protensão
- ◆ 1 dia para a concretagem da aduela
- ◆ 3 dias para o endurecimento do concreto

Este ciclo corresponde no caso de aduela de 4,10 m, a uma velocidade de avanço de 1,17 metros /dia e por par de equipamento móvel.

Características das fundações

Para a infra-estrutura foi previsto a execução de fundação por estaca raiz com

diâmetro Φ 410 mm, para os pilares centrais, tendo em vista a necessidade de atravessar o enrocamento existente, construído de pedras colocadas aleatoriamente, e com grande índice de vazios.

No caso dos pilares externos foi previsto a utilização de tubulões de diâmetro de Φ 1,40 m.

Característica da durabilidade do concreto

A fim de garantir a melhor durabilidade dessa estrutura ao meio ambiente agressivo do local foi recomendado o uso do aditivo de Sílica Ativa ao concreto no teor de 10% em relação ao peso do cimento, como também o emprego do superplastificante conferindo perfeito acabamento e resistência às peças projetadas.

Autor do Projeto e Execução do

Empreendimento: Prof. José Luis Cardoso

Construção: Oriente Engenharia e Triângulo Empreendimentos

Conclusão da Obra: 2005 ◆

Sistemas Minerais Proteção Duradoura

- Resistência a ataques químicos e mecânicos
- Aplicação em substrato úmido
- Permitem a difusão de vapor de água
- Resistência a altas temperaturas
- Impermeáveis a água e efluentes
- Certificação para água potável
- Resistência a pH de 0 a 14

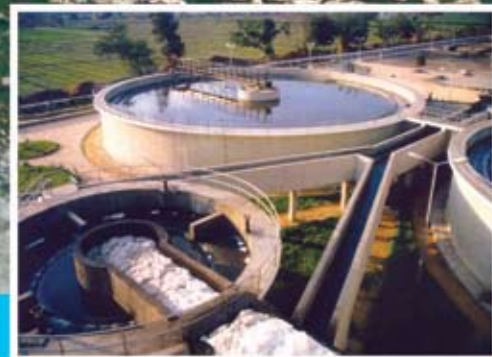
Consulte-nos!



MC-Bauchemie Brasil

Tel. +55 11 4159.3050 • Fax: +55 11 4159.7707

info@mc-bauchemie.com.br • www.mc-bauchemie.com.br



Aditivos: química a serviço da construção sustentável



Em conferência realizada em 13 de junho de 2007, em Trostberg, na Alemanha, Bernhard Hofmann, responsável pela divisão de químicos para Construção da BASF, destacou quatro tendências importantes na indústria da construção:

- ◆ Edificações e estruturas deverão ter um tempo de vida consideravelmente maior, o que não será possível sem a química da construção;
- ◆ A classe de cimentos e aditivos está em constante expansão, demandando constantemente novos produtos à base de cimento;
- ◆ Os clientes estão cada vez mais em busca de menores custos de materiais, energia e capital, como também de meios para realizar seus projetos de construção com maior rapidez;
- ◆ Tem aumentado consideravelmente o interesse por eficiência energética no uso das edificações e a perspectiva é que continue crescendo.

Para fazer frente a estes desafios, a companhia vem desenvolvendo uma série de produtos para construção. Buscando a eficiência, inovações têm sido implementadas nos químicos para construção no sentido de aumentar a velocidade de execução de obras, por meio da aceleração da cura do concreto, assim como de obter maior economia, com o uso do concreto de auto-adensável, que ao não necessitar ser vibrado, dispensa o uso de equipamentos, tornando o processo construtivo mais econômico e com menos poluição sonora.

Falando da necessidade de concretos mais resistentes e que exigem períodos de manutenção mais largos, Hofmann enfatizou a necessidade irrecusável do uso dos aditivos para obter uma mistura facilmente bombeável com adição de pouca água. E citou a Great Belt Bridge, na Dinamarca, e a Tartara Bridge, no Japão, como exemplos no uso dessa tecnologia.

Foi abordada também a importância da aparência no cobrimento de superfícies. Este requisito somente pode ser alcançado com o desenvolvimento de uma vasta gama de produtos aplicáveis em largo espectro de materiais, tais como cerâmica, pedras

naturais, porcelanas, dentre outros. Como exemplo bem acabado do uso de químicos para construção neste quesito, citou-se o spa em Bad Blumau, na Áustria.

A segurança é outro aspecto da construção que foi melhorada com o uso de aditivos. A BASF desenvolveu uma argamassa que garante a estabilidade do concreto por mais de quatro horas, em caso de incêndio. Este material foi usado no Engstlige túnel, na Suíça.

Para a manutenção de estruturas de concreto a companhia lançou uma nova geração de argamassas baseada na nanotecnologia, que tem mostrado eficiência acima da média em termos de adesão e de resistência ao gelo.

A estratégia da BASF está concentrada em três objetivos: transferir tecnologias eficazes em determinada região para outras; pesquisa e desenvolvimento de melhores produtos, para acelerar a penetração no mercado; e geração de mais negócios em mercados em crescimento, como Ásia e Leste Europeu. A companhia espera crescer de 7 a 8% ao ano, nos próximos anos, no mercado de químicos para construção, que representa de 10 a 15% de suas vendas. ♦

Programa MasterPec

Master em Produção de Estruturas de Concreto

Cursos programados para o 49º Congresso Brasileiro do Concreto, em Bento Gonçalves RS



Terça, 4 de Setembro de 2007

Manhã – 9h00 às 10h30
Coffee Break – 10h30 às 11h00
11h00 às 13h00

Sala 1

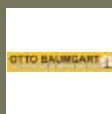
Temas em discussão sobre vida útil do concreto armado: novas filosofias e modelos

O curso discorre sobre as coincidências, diferenças, limitações e evolução das definições sobre vida útil e durabilidade expressas na literatura internacional. Propõe versões holísticas desses conceitos em consonância com a realidade latino-americana. Apresenta a evolução dos modelos probabilísticos e determinísticos de vida útil de estruturas de concreto armado em termos da durabilidade e a filosofia do novo modelo holístico de vida útil.

Pedro Castro-Borges

Doutor em Engenharia com Pós-doutorado no Eduardo Torrojas de Espanha. Pesquisador Titular do CINVESTAV – México. Membro da Academia Mexicana de Ciências. Autor de numerosas publicações sobre o assunto

Patrocinador



Sala 2

Como conseguir estanqueidade nas estruturas de concreto

O curso proporciona o necessário conhecimento das técnicas de impermeabilização, com uso de recursos audiovisuais. Busca a aplicação correta, a otimização do desempenho do produto e a valorização da técnica no resultado final da obra.

Marcos Storte

Engenheiro Civil. Mestre em Engenharia. Professor de cursos de pós-graduação. Experiência de 25 anos dedicados à tecnologia da impermeabilização

Patrocinador



Carga horária: 4 horas – Local: FUNDAPARQUE
Inscrição: www.ibracon.org.br

Informações: Marta
Tel.: 11 3735-0202 – marta@ibracon.org.br

Diretores do IBRACON participam da 14ª Reunião Plenária do Comitê ISO sobre Concreto Estrutural

A 14ª Reunião Plenária do ISO/TC-71 – Comitê responsável por estabelecer diretrizes e parâmetros para as normas técnicas de concreto armado e protendido – aconteceu entre os dias 29 de maio e 1º de junho de 2007, no Fiesta Bahia Hotel, em Salvador. Atualmente, o Comitê ISO-TC71 é presidido pelo Dr. W.G. Corley e secretariado pelo Dr. Shuaib Ahmad, ambos representantes do ANSI dos Estados Unidos.

O objetivo da reunião anual é discutir os trabalhos que vêm sendo desenvolvidos pelos subcomitês do ISO/TC-71, que se dedicam a temas como: testes de métodos para concreto (SC-1); produção e execução de estruturas de concreto (SC-3); requerimentos de desempenho para o concreto estrutural (SC-4); padronização de projetos simples de estruturas de concreto (SC-5); materiais não tradicionais usados no reforço de estruturas de concreto (SC-6); e manutenção e reparo de estruturas de concreto (SC-7).

A finalidade da reunião é chegar a definições e normas que possibilitem a difusão internacional de aplicações adequadas da tecnologia do concreto estrutural, ajudando no seu melhoramento, disseminação e padronização.

A reunião foi organizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e contou com o apoio técnico do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), que indicou seis delegados para participar dos subcomitês técnicos, inclusive o delegado-geral, Prof. Túlio Nogueira Bittencourt, que representou o presidente do IBRACON e a ABNT na reunião plenária.

Os delegados nos subcomitês foram os seguintes membros do IBRACON:

- ◆ Prof. Wellington Reppette (SC-1)
- ◆ Eng. Rubens Bittencourt (SC-3)



- ◆ Prof. Antônio Carlos Laranjeiras (SC-4/SC-5)
- ◆ Prof. Luis Carlos Pinto (SC-6)
- ◆ Prof. Enio Pazini (SC-7)

Na reunião plenária, a norma brasileira NBR 6118:2003, após esclarecimentos prestados pelo representante da ABNT, passou à apreciação final de conformidade com a Norma ISO 19338 pelos representantes dos quatro países revisores indicados pelo SC-4 – *Performance Requirements for Structural Concrete*. A decisão sai até o final de agosto de 2007.

A reunião contou com a participação de aproximadamente 20 profissionais brasileiros, entre professores, projetistas e outros engenheiros. A organização do evento foi muito elogiada pelos delegados internacionais.

A próxima reunião da ISO/TC-71 será realizada em uma das três seguintes cidades: São Petersburgo (Rússia); Los Angeles (Estados Unidos); ou Alexandria (Egito).

O IBRACON está estimulando e defendendo a participação de especialistas brasileiros nos subcomitês do ISO-TC71 como forma de contribuir com a ABNT no contínuo aprimoramento das Normas Brasileiras.



Delegação Brasileira participa das atividades técnicas do *ACI Spring Convention*

Os brasileiros marcaram presença na *ACI Spring Convention*, que ocorreu em Atlanta, nos Estados Unidos, de 20 a 26 de maio de 2007, sob organização do *American Concrete Institute (ACI)*. O evento contou com a participação de 1500 profissionais e estudantes de 42 países.

Os sócios do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) marcaram forte presença nas reuniões abertas e presenciais dos Comitês Técnicos do ACI, especialmente as relacionadas à segurança estrutural (ACI 348), a projetos (ACI 318) e a reforços com fibras (ACI 440). Participaram da Convenção:

- ◆ Augusto Carlos Vasconcelos, conselheiro do IBRACON e membro honorário do ACI (recebeu a máxima distinção do ACI a um profissional estrangeiro);
- ◆ Júlio Timerman, diretor de Certificação do IBRACON e ex-presidente da ABECE;
- ◆ Selmo Kuperman, ex-presidente, conselheiro e assessor de relações internacionais do IBRACON, além de professor da USP;
- ◆ Fernando Stucchi, presidente do Comitê Técnico de Estruturas do IBRACON, professor da USP e engenheiro da EGT;
- ◆ Jussara Tanesi, gerente de projetos da FHWA em Washington;
- ◆ Sofia M.C. Diniz, professora adjunta do Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais e presidente do Comitê Técnico "ACI 348 Structural Safety";

- ◆ Frank Guimarães Vaz de Campos, engenheiro da Fuad Rassi Engenharia;
- ◆ Paulo Helene, presidente do IBRACON.

Durante a Convenção, na cerimônia de assinaturas de renovação e ampliação do *International Partner Agreement for Technical, Scientific and Institutional Collaboration*, na qual estiveram presentes os engenheiros Paulo Helene e Selmo Kuperman, foi renovada a parceria entre o IBRACON e o ACI.

Um dos pontos altos da Convenção foi a palestra do eng. Frank Guimarães no *4th International Workshop on Structural Concrete in the Americas*, mais uma das atividades da Convenção do ACI. "A palestra sobre 'high performance concrete – more than strength' passou uma mensagem atual, moderna, engajada e consciente da engenharia de concreto brasileira", observou Helene.

Outro momento forte do evento foi a Conferência Internacional de Fouad Yazbeck e Rabith Fakih sobre o concreto de alta durabilidade no Palm Jumeirah Project, em Dubai, nos Emirados Árabes, que apresentou o retrospecto até a fase de construção atual por que passa a construção civil naquela região.

Aproveitando a presença de pesquisadores e profissionais tão ilustres, o Prof. Paulo Helene convidou o engenheiro Pepe Izquierdo, ex-presidente do ACI, para participar do 49CBC2007, que vai acontecer em Bento Gonçalves, de 1 a 5 de setembro de 2007. ◆

IBRACON participa da Comissão de Revisão de artigos para o HPC 2008



A reunião do *Scientific and Technical Review Panel*, comissão de revisores dos artigos científicos encaminhados para o HPC 2008, ocorreu em Varsóvia, na Polónia, de 16 a 22 de maio de 2007. A comissão selecionou 25 artigos para a Special Publication do ACI (Publicação Especial do American Concrete Institute), 21 para o Supplementary Proceedings (Publicação Suplementar) e 10 para Sessão Pôsteres de um total de 140 resumos recebidos.

Dois representantes do IBRACON tomaram parte na comissão: o presidente do Instituto, Paulo Helene, professor da Universidade de São Paulo, e o conselheiro, Ênio Pazini, professor da Universidade de Goiás. Os outros membros foram: George Hoff, ex-presidente do American Concrete Institute (ACI); M. Basheer, professor da Universidade Queens, do Reino Unido; N. Carino, representante do National Institute of Standards and Technology, dos Estados Unidos; P.K. Mehta, professor da Universidade da Califórnia em Berkeley; R.N. Swamy,

professor da Universidade de Sheffield (Reino Unido); T. Holland, ex-presidente do ACI; e V. Mohan Malhotra, do Canadá Center for Mineral and Energy Tech (CANMET).

O High Performance Concrete Structures and Materials HPC 2008 é a quinta edição de um evento científico internacional sobre o concreto sediado no Brasil. A primeira Conferência aconteceu em Florianópolis, em 1996; dois anos depois, Gramado sediou a segunda edição do evento, quando os Proceedings (Anais do evento) ganharam o caráter de Special Publication do ACI, permanecendo nesta condição até hoje. Em 2008, a V International Conference ACI/CANMET on High Performance Concrete Structures and Materials vai ser em Manaus, de 18 a 22 de julho. O ACI e a CANMET são as entidades internacionais promotoras do evento; da parte brasileira, participam a Universidade Estadual do Amazonas (UEA), a Universidade Federal de Goiás (UFG), a Universidade de São Paulo (USP) e o IBRACON. ♦

Um mercado exigente precisa de solução inteligente

Seja na elaboração, proteção ou recuperação a BASF está presente no concreto, oferecendo tecnologia e atendimento técnico de confiança, porque o sucesso do cliente é o nosso objetivo.

Soluções Completas *nosso compromisso com o cliente*

Concreto Rheodinâmico
Glenium

Aditivos
Plastificantes
Polifuncionais
Superplastificantes
Controlador de hidratação
Pigmentos líquidos

Produtos de Apoio
Grautes
Selantes
Argamassas
Hidrofugantes
Revestimentos
Impermeabilizantes

Técnicas de caracterização reológica de concretos

Juarez Hoppe Filho
 Maria Alba Cincotto
 Rafael Giuliano Pileggi
 Escola Politécnica da USP

Resumo

A reologia, ciência que estuda o comportamento dos fluidos, pode ser empregada como ferramenta de investigação do comportamento do concreto no estado fresco e permite amplo conhecimento da alteração decorrente da hidratação em evolução para o estado endurecido. O estado de aglomeração/dispersão dos materiais cimentícios, o qual pode ser avaliado através dos parâmetros reológicos fundamentais, que são a tensão de escoamento e a viscosidade plástica, e das características de fluxo, repercute diretamente sobre a microestrutura da pasta no estado endurecido, e conseqüentemente sobre a durabilidade das estruturas de concreto. Portanto, é fundamental uma caracterização reométrica prévia do concreto para se ter conhecimento do comportamento do sistema durante o período

de manuseio. O ensaio de abatimento do tronco de cone, empregado para esta finalidade, mostra-se deficiente quanto à caracterização reológica, não fornecendo informações relacionadas ao fluxo do material, por exemplo, a sua bombeabilidade. Este trabalho tem como objetivo comentar as características de alguns ensaios reológicos disponíveis para concreto, apresentando suas vantagens e limitações, correlacionando-os com parâmetros reológicos fundamentais, a fim de ressaltar a necessidade do aprimoramento das técnicas de caracterização do concreto no estado fresco.

Abstract

The rheology, science that studies a fluid behavior, can be employed as an in-

Figura 1 – Comportamento básico dos fluidos

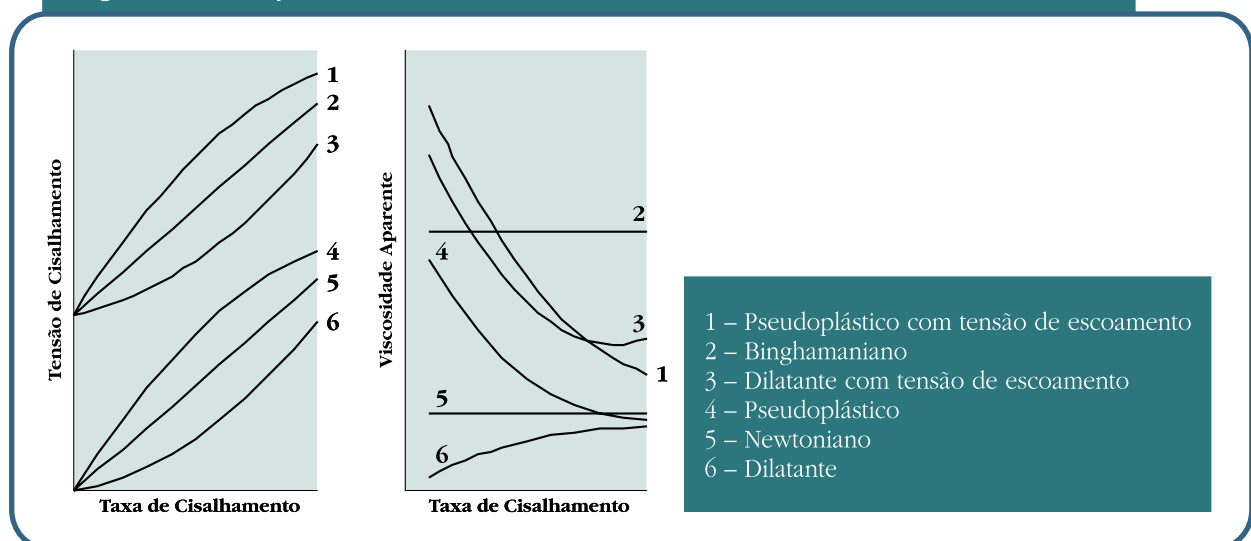
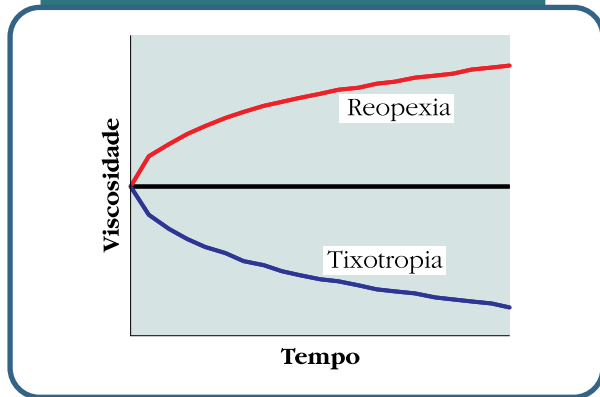


Figura 2 – Variação da viscosidade com o tempo, em taxa de cisalhamento constante, detalhando os comportamentos tixotrópico e reopéxico



investigation tool on fresh concrete behavior and allows ample knowledge of hydration alteration in the evolution from fresh to hard state. The agglomeration/dispersion state of cementitious materials can be evaluated through fundamental rheological parameters, that it is yield stress and plastic viscosity, and the flow characteristic, directly influence the paste microstructure in hard state, and consequently on the durability of concrete structures. Therefore, it is fundamental a rheometric concrete characterization in order to have knowledge of the system behavior during workability period. The slump test, employed for this finality, shows to be deficient for rheological characterization with no information supply relative to the material flow, for example its pumpability. This work is aiming at to comment the characteristics of some rheological tests available to concrete, emphasizing its advantages and limitations, correlating them with fundamental rheological parameters, to stand out the need of improvement characterization techniques of fresh concrete.

Palavras-chave: concreto, reologia, ensaios reológicos, tensão de escoamento, viscosidade.

Keywords: concrete, rheology, rheological tests, yield stress, viscosity.

1. Introdução

O concreto fresco pode ser considerado uma suspensão aquosa concentrada composta

de partículas sólidas – agregados – imersos em um fluido viscoso – pasta cimentícia (matriz). A própria pasta é um fluido heterogêneo composto de grãos dos materiais cimentícios imersos em água.

Essas partículas interagem quando em meio aquoso e essas interações exercem influência nas propriedades da mistura, tanto em repouso quanto sob fluxo, as quais podem apresentar diferentes comportamentos possíveis, conforme a Figura 1, na qual estão relacionadas a tensão de escoamento e a viscosidade com a taxa de cisalhamento.

Podem também ocorrer alterações dos comportamentos com o tempo, como a tixotropia – diminuição da viscosidade com o tempo – e a reopexia – aumento da viscosidade com o tempo (Figura 2).

Com a reologia, ciência que estuda o fluxo e deformação dos materiais quando submetidos a uma tensão ou deformação externa, pode-se caracterizar as variações de comportamento dos concretos com o tempo e com diferentes taxas de cisalhamento [1].

Em sistemas cimentícios a complexidade reológica é ainda maior, pois, além das forças de superfície que atuam sobre as partículas, há que se considerar a evolução da hidratação com o tempo.

Com a evolução do enrijecimento da pasta, a tensão de escoamento e a viscosidade vão aumentando gradativamente e toda essa alteração afeta a reologia dos concretos.

O comportamento reológico dos concretos deve, portanto, ser adequado às diferentes técnicas de aplicação, como por exemplo: bombeamento, projeção, vertimento, compactação a rolo, etc, tendo em vista as diferentes solicitações físicas requeridas entre as mesmas.

Tradicionalmente, a trabalhabilidade do concreto, mensurada pelo ensaio de abatimento no tronco de cone (slump), tem sido empregada para caracterização reológica dos concretos, sendo este o único parâmetro reológico utilizado para caracterizar o estado fresco [2]. De fato, este ensaio torna-se pouco expressivo quando aplicações mais complexas estão envolvidas, visto que a determinação de outras características pode ser requerida diante da finalidade a que se destina o material [3].

A importância da caracterização do estado fresco do concreto é refletida pelas pesquisas do NIST – National Institute of Standards and Technology [2] [4], que discutiu e analisou amplamente a evolução das diferentes técni-

cas de caracterização reológica do concreto, além de propor novas técnicas de mensuração e integrar diversos centros de pesquisa voltados para esse tema, concluindo ser a reometria a melhor ferramenta para adequação do concreto às diferentes aplicações.

Atualmente existem diferentes modelos de reômetros, variando em forma, tamanho, geometria, etc, que foram, em um estudo coordenado pelo NIST [5], testados na caracterização reológica de um mesmo concreto, a fim de permitir a comparação dos resultados obtidos nas diferentes configurações dos equipamentos.

De modo a ter-se um panorama dos diferentes métodos disponíveis e identificar-se as condições ideais de utilização de cada um, este trabalho apresenta uma análise crítica dos métodos mais relevantes para a caracterização reológica dos concretos.

2. Técnicas de caracterização

A obtenção dos parâmetros reológicos fundamentais (tensão de escoamento e viscosidade aparente) pode ser feita através de ensaios que determinam, direta ou indiretamente, um parâmetro ou através de ensaios que determinam esses dois parâmetros [4].

Obviamente, os ensaios que determinam a tensão de escoamento e a viscosidade aparente em função de diferentes taxas de cisalhamento – mapas reológicos – caracterizam o comportamento do concreto fresco de forma ampla, permitindo adequar as características do mesmo à sua aplicabilidade.

Comumente, os ensaios utilizados em obra determinam apenas um parâmetro, na maioria das vezes, relacionado com a tensão de escoamento, embora a correlação do valor obtido e o correspondente parâmetro reológico fundamental não seja óbvio.

Já os ensaios relacionados com a viscosidade aparente têm como tensão de cisalhamento a gravidade/peso próprio da amostra de

Tabela 1 – Ensaios de caracterização reológica do concreto fresco [6]

Ensaio	Parâmetros	Classificação NIST
Abatimento	T. Escoamento	Fluxo Livre
Abatimento Modificado	T. Escoamento Viscosidade	Fluxo Livre
Orimet Test V-Funnel Test	Viscosidade	Fluxo Confinado
Habilidade Enchimento	Viscosidade	Fluxo Confinado
Remoldagem de Powers	Viscosidade	Vibração
Reômetros	T. Escoamento Viscosidade	Reômetro Rotacional

concreto fresco ou a ação de vibração [4].

Mesmo limitado à determinação de um único parâmetro, cada método de ensaio destina-se a avaliar o comportamento dos diferentes tipos de concreto para as mais variadas finalidades. Assim sendo, estes ensaios fazem inferências indiretas de reologia, abrangendo o grau de compactação do concreto, segregação em concretos auto-adensáveis, capacidade de preencher as fôrmas

sob a ação de vibração, facilidade de escoar e preencher os moldes sem vibração, etc.

Segundo a ampla caracterização realizada pelo NIST – National Institute of Standards and Technology - USA [2] [6], os métodos reológicos para ensaio de concretos frescos estão classificados, de acordo com o procedimento de medida de fluxo ou de cisalhamento, em quatro categorias:

- ◆ **Testes de fluxo confinado:** o material flui em decorrência do seu peso próprio ou sob aplicação de pressão através de uma abertura restritiva.
- ◆ **Testes de fluxo livre:** o material flui devido ao seu peso próprio sem nenhum confinamento ou um objeto penetra o material em decorrência da força gravitacional.
- ◆ **Testes de vibração:** o material flui sob a aplicação de vibração.
- ◆ **Testes de cisalhamento sob fluxo rotacional:** o material é cisalhado entre um sistema placa-placa, por rotação.

Na Tabela 1 estão listados, dentre os mais relevantes, alguns ensaios de caracterização reológica, indicando-se o(s) parâmetro(s) fundamental(is) com o qual o ensaio está relacionado e a classificação segundo o NIST.

2.1 ABATIMENTO NO TRONCO DE CONE

2.1.1 Descrição do método

Consiste em preencher um molde tronco-cônico (Figura 3), de dimensões padronizadas, em três camadas, aplicando-se 25 golpes

Figura 3 – Abatimento no tronco de cone do concreto



com soquete padrão em cada uma delas, sem atingir a placa de fundo (na 1ª camada) e sem inserir o soquete nas camadas subjacentes, nas demais camadas. Retira-se o molde e mensura-se a diferença de altura entre o molde e o tronco-cone formado pelo concreto, atribuindo-se esse valor como abatimento, um indicativo da trabalhabilidade e da qualidade do concreto fresco.

2.1.2 Princípio físico da medida

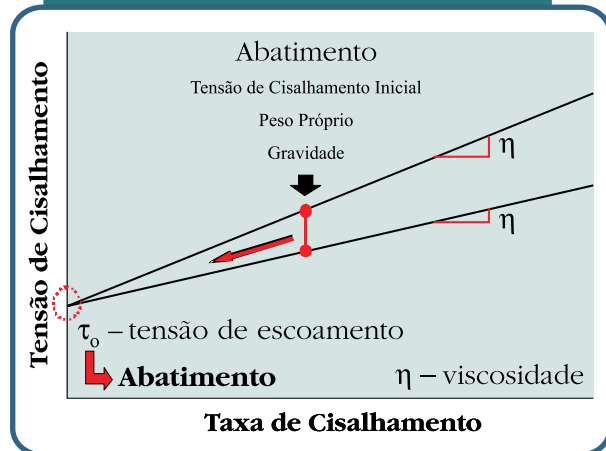
Ao retirar-se o molde, o concreto irá fluir, em função da sua viscosidade aparente, se seu peso próprio superar a tensão de escoamento e irá parar quando a tensão por unidade de área se igualar à tensão de escoamento.

2.1.3 Análise crítica

Embora seja um ensaio relacionado à tensão de escoamento, a viscosidade durante o fluxo exerce influência no comportamento ao longo do ensaio.

Na Figura 4, observam-se dois concretos com a mesma tensão de escoamento, isto é, mesmo abatimento, mas com comportamento sob fluxo diferente. Neste ensaio, a restrição ao escoamento está no aumento progressivo da área de suporte do peso próprio do material, ou seja, o concreto irá fluir enquanto o peso próprio superar a tensão de escoamento e irá parar quando a tensão por unidade de área

Figura 4 – Diferentes concretos sob fluxo, mas com a mesma tensão de escoamento, baseado no modelo de Bingham



for inferior a esta. Desta forma, o concreto com maior viscosidade demandará maior tempo para atingir a mesma tensão de escoamento. Essa análise simples já demonstra a deficiência em caracterizar o comportamento reológico do concreto fresco pelo ensaio de abatimento, o qual pode estar sendo mensurado enquanto a taxa de cisalhamento ainda não é nula [7].

No estado estático, pode-se afirmar qualitativamente, que ambos os concretos são idênticos, visto que possuem mesmo abatimento, entretanto, sob fluxo, o comportamento de ambos será distinto, o que conduz também a propriedades reológicas diferentes.

Por outro lado, concretos com abatimentos distintos podem resultar em comportamentos sob fluxo bastante diferentes, de forma que o concreto com maior consistência,

Figura 5 Concretos distintos sob fluxo, apresentando comportamento pseudoplástico com tensão de escoamento

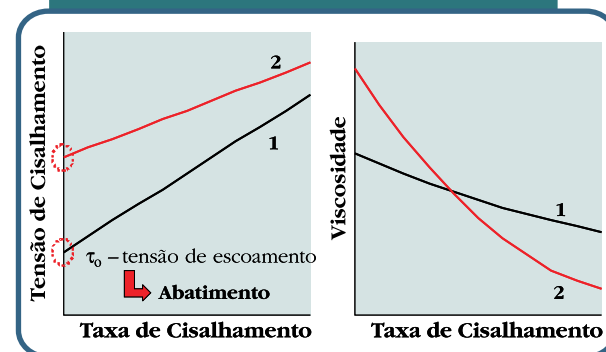
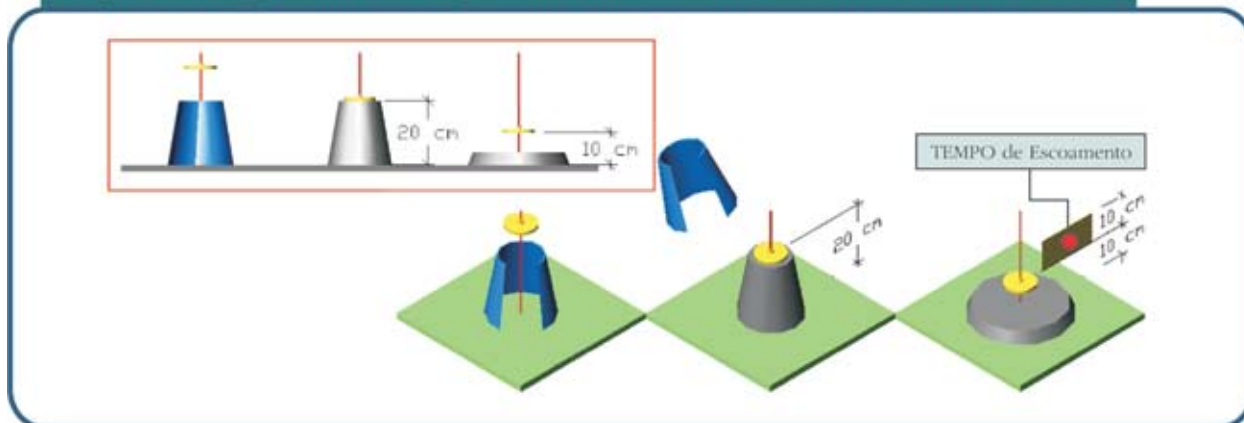


Figura 6 – Representação esquemática do ensaio de abatimento modificado



isto é, menor abatimento ou maior tensão de escoamento pode, em certos casos, fluir mais facilmente que o concreto que apresenta maior abatimento. Isto pode ser observado na Figura 5, onde o concreto com maior tensão de escoamento, quando submetido a taxas crescentes de cisalhamento tem a sua viscosidade diminuída em maior intensidade quando comparado com o concreto com maior abatimento.

Portanto, verifica-se que não se pode atribuir o comportamento sob fluxo de concretos distintos apenas pela mensuração da sua tensão de escoamento. Desta forma é interessante quantificar o comportamento do concreto em simulação idêntica à sua aplicação.

Com esse objetivo, Ferraris & de Larrard [8] fizeram a combinação experimental dos resultados do abatimento e os resultados da tensão de escoamento, obtida em reômetro BTRHEOM, e desenvolveram o modelo que correlaciona estes parâmetros para concretos com abatimento superior a 100 mm, ou seja:

$$\tau_o = \frac{\rho}{347} \times (300 - s) + 212$$

τ_o – tensão de escoamento (Pa)

s – abatimento (mm)

ρ – densidade do concreto fresco (kg/m^3)

2.1.4 Finalidade

Embora apresente essas deficiências, o ensaio de abatimento pode ser utilizado para controle tecnológico dos concretos entregues nos canteiros de obra, de forma a avaliar se volumes distintos apresentam as mesmas características, consistência adequada para evitar a segregação dos agregados graúdos, com trabalhabilidade compatível com a sua aplicação.

É adequado para avaliar a trabalhabilidade de concretos com consistência moderada e que não requerem vibração/impacto para apresentarem abatimento. Não é adequado para concretos auto-adensáveis, e concretos de alta consistência, destinados a barragens e pavimentos compactados a rolo.

2.2 ABATIMENTO MODIFICADO

2.2.1 Descrição do método

Com modificações no equipamento para o ensaio de abatimento, conforme a Figura 6, Ferraris & de Larrard [8] passaram a medir o tempo de escoamento do concreto no estado inicial, no molde, até o abatimento de 100 mm, quando o disco não mais acompanha o escoamento do material, em virtude de uma restrição no eixo de suporte, e o concreto segue escoando até atingir o abatimento final. A restrição deste método está no abatimento mínimo de 120 mm para permitir a leitura correspondente ao abatimento de 100 mm.

Com os resultados de abatimento, tempo para abatimento de 100 mm (T) e com ensaio preliminar de densidade do concreto no estado fresco, pode-se estimar a viscosidade do concreto com o auxílio das equações seguintes [9]:

$$200 \text{ mm} < s < 260 \text{ mm}$$

$$\mu = \rho \cdot T \cdot 1,08 \times 10^{-3} \cdot (s - 175)$$

$$120 \text{ mm} \leq s \leq 200 \text{ mm}$$

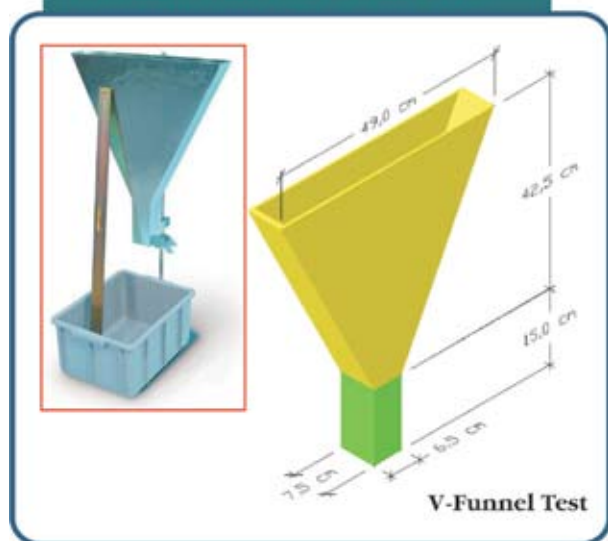
$$\mu = 25 \times 10^{-3} \cdot \rho \cdot T$$

μ – viscosidade (Pa.s)

s – abatimento (mm)

ρ – densidade do concreto fresco (kg/m^3)

Figura 7 – V-Funnel test para ensaio de fluxo em orifício livre



2.2.2 Princípio físico da medida

O escoamento do concreto, tendo como tensão de cisalhamento o seu peso próprio, permite determinar a restrição imposta pelo material ao seu fluxo, ou seja, sua viscosidade aparente, através da mensuração do tempo para o concreto escoar por uma distância pré-estabelecida.

2.2.3 Análise crítica

Embora seja possível determinar os parâmetros reológicos fundamentais com o ensaio de abatimento, há restrição quanto ao abatimento mínimo, abatimento máximo e tensão de escoamento máxima. Com isso, restringe-se a gama de concretos que podem ser avaliados através desse método, além de se inserir fatores extrínsecos, como a habilidade do operador em cronometrar o tempo de escoamento, as possíveis interferências ao livre fluxo do disco que acompanha o escoamento do concreto, etc.

Como a tensão de cisalhamento imposta ao fluxo do concreto é bastante restrita e de curto espaço de tempo, o levantamento do perfil reológico do concreto fresco é inviável, e sem essa análise criteriosa, o concreto não estará completamente caracterizado.

2.2.4 Finalidade

Pode ser utilizado para avaliar, além da tensão de escoamento (abatimento), a viscosidade aparente de concretos com moderada

fluidez e que apresentem abatimento superior a 120 mm.

2.3 ENSAIOS DE ESCOAMENTO CONFINADO

Relacionam-se à viscosidade do concreto que, em fluxo confinado, devem ter a tensão de escoamento superada pelo peso próprio da amostra para entrar em regime de fluxo. Nos ensaios (V-Funnel Test e Orimet Test), mensuram-se os tempos para que todo o concreto escoe através dos equipamentos.

2.3.1 V-funnel test

2.3.1.1 Descrição do método

Após a mistura, aproximadamente 12 litros de concreto são lançados no V-funnel test (Figura 7), sem tampá-lo ou vibrá-lo, liberando-se o fluxo para mensuração do tempo de escoamento, determinando-se a habilidade de escoamento da fôrma do concreto fresco. Essa mesma amostra ensaiada, é relançada no equipamento, deixando-a em repouso por 5 minutos, procedendo-se então a liberação do fluxo para mensuração da susceptibilidade à segregação [10] [11].

2.3.1.2 Princípio físico da medida

Com a tensão de escoamento superada pelo peso próprio do concreto, mensura-se a capacidade de fluxo através da fôrma, sem que haja segregação. O comportamento sob fluxo permite avaliar, indiretamente, a viscosidade aparente do concreto, a qual deve ser capaz de permitir o fluxo total do material pelo equipamento e ainda manter o concreto coeso para evitar a segregação. Para concretos auto-adensáveis o tempo mensurado normalmente é inferior a 10 segundos.

2.3.1.3 Análise crítica

Embora a literatura associe o incremento no tempo de escoamento, entre as medidas, à segregação do material [6], haja vista que o repouso permite a sedimentação do agregado graúdo vinculado à viscosidade da pasta, outros fenômenos podem alterar o tempo de escoamento do concreto.

Se os constituintes da pasta do concreto estão bem dispersos, quando realizada a primeira determinação do tempo de escoamento, os grãos não estarão aglomerados e o sistema, conseqüentemente, apresentará menor vis-

cosidade plástica. Já no segundo ensaio, após o repouso, dependendo da carga superficial desenvolvida nas partículas que compõem o sistema cimentício, pode haver aglomeração, com repercussão direta sobre a tensão de escoamento e viscosidade plástica, aumentando o tempo de escoamento.

Se há incremento dos parâmetros reológicos fundamentais, haverá também uma diminuição na tendência à segregação e não se pode mais relacionar a maior demanda de tempo para o fluxo com a segregação do concreto.

Com esse comportamento tipo reopéxico, a densidade do concreto, que aliada à coluna montante, é responsável pela tensão imposta ao sistema, pode não ser capaz de vencer a tensão de escoamento, no início do ensaio ou no transcórre-lo, e com isso o material pára de escoar ou o faz com perturbações que desacreditam o resultado do ensaio.

Portanto, a densidade do concreto é importante principalmente em ensaios onde há forte aglomeração das partículas cimentícias, conduzindo a um aumento da viscosidade. Na presença de agregados leves ou com o aumento da relação água/materiais cimentícios, a densidade do concreto diminui e com a interação das partículas, o concreto pode aglomerar-se rapidamente, não mais apresentando peso próprio capaz de superar a tensão de escoamento, impedindo o ensaio através desta técnica.

2.3.1.4 Finalidade

Por esta técnica quantificam-se diferentes condições de viscosidade, porém de forma indireta e limitada a concretos com grande

abatimento e não segregáveis, ou seja, concretos mais coesos não podem ser ensaiados neste equipamento. Embora alguns pesquisadores utilizem vibradores tipo agulha para proceder ao adensamento de concretos que não são capazes de preencher o molde do equipamento, variabilidades podem ser inseridas no comportamento do concreto que inviabilizam sua utilização na caracterização de concretos que não sejam auto-adensáveis.

2.3.2 Orimet test

2.3.2.1 Descrição do método

O método consiste em lançar o concreto, sem adensar, dentro de um tubo de 10 cm de diâmetro e 60 cm de altura, quantificando-se o tempo de fluxo para que o concreto esvazie o equipamento através de gabaritos de dimensões padrão acoplados na sua base; demandando, normalmente, entre 1,5 e 6 segundos para concretos com grande fluidez. O gabarito normalmente empregado possui 8 cm de diâmetro e permite ensaiar concretos com agregado de diâmetro máximo de 20 mm. No caso de concretos coesivos, o tempo de fluxo pode superar 60 segundos. A quantidade de amostra é de 7,5 litros e essa quantidade deve ser ensaiada de 2 a 3 vezes para a obtenção do resultado final [6].

Junto com o ensaio Orimet, pode-se utilizar o acessório J-Ring, de diâmetro 30 cm e altura das barras de 10 cm, espaçadas de dimensão 3 vezes o diâmetro máximo do agregado graúdo, para avaliar a capacidade do concreto em contornar as barras – simulando a armadura – sem segregar, porém não resulta em informações suficientes para sanar comportamentos atípicos aos esperados.

2.3.2.2 Princípio físico da medida

A ação da gravidade sobre o concreto deve ser suficiente para vencer a tensão de escoamento do material, porém com o fluxo a massa diminui gradativamente e a tensão de cisalhamento aplicada também diminui. Assim sendo, a tensão gerada pelo peso do concreto deve ser sempre superior à tensão de escoamento para permitir a mensuração indireta da viscosidade do concreto.

2.3.2.3 Análise crítica

No caso de concretos propensos à segregação, o agregado graúdo pode acumu-

Figura 8 – Orimet test para ensaio de fluxo confinado

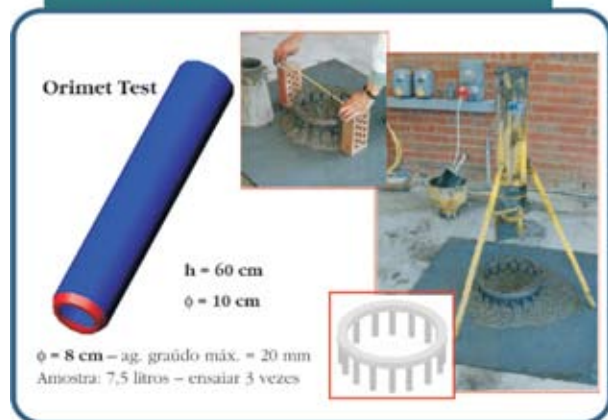
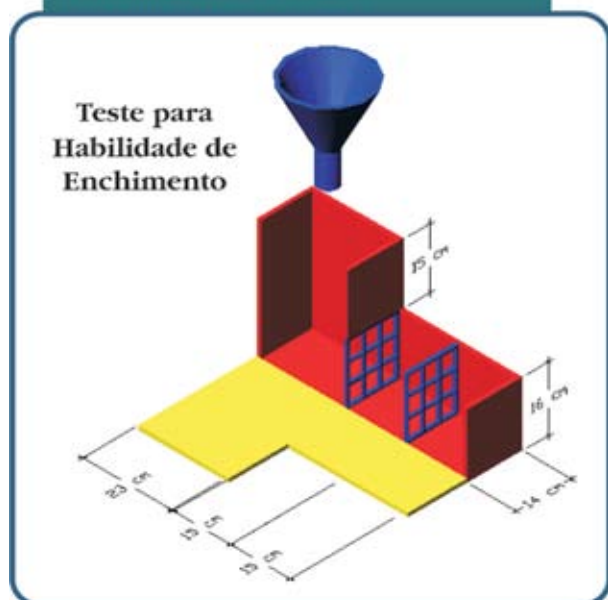


Figura 9 – Ensaio de enchimento – França



lar-se entorno do gabarito de saída e assim, diminuir ou até mesmo impedir o fluxo do material [12].

Portanto, esse ensaio é capaz de mensurar determinados tipos de concreto e, se os mesmos não se enquadrarem nesta faixa de mensuração, sua aplicação passa a não ser conveniente. Embora relacionado indiretamente à viscosidade, não fornece subsídios que permitam modificar a composição da mistura se a mesma não apresentar resultados satisfatórios mediante este método. Isto porque não há como se determinar o comportamento reológico das partículas cimentícias que interferem diretamente na viscosidade da pasta do concreto e, com isso, mantém-se o empirismo que conduz o ensaio a um simples teste de passa/não passa às propriedades requeridas para o concreto.

2.3.2.4 Finalidade

É destinado a caracterizar concretos auto-adensáveis ou concretos que serão lançados em fôrmas com elevada densidade de armadura e que apresentem fluidez suficiente para escoarem através dos gabaritos padrão acoplados ao equipamento e que contornem adequadamente o equipamento J-Ring, utilizado como acessório ao ensaio. Como há restrição quanto ao diâmetro máximo do agregado (< 20mm), concretos que utilizam brita 2 (25 mm) não podem ser caracterizados por esta técnica.

2.4 ENSAIOS DE HABILIDADE DE ENCHIMENTO

Avaliam a capacidade de enchimento das fôrmas de concretos auto-adensáveis, sem a utilização de adensamento, ou seja, pela potencialidade do concreto escoar em função do seu peso próprio, sem segregar, transpondo obstáculos que simulam as armaduras, e preencher adequadamente o molde.

Como não há aplicação de energia de vibração, o escoamento depende exclusivamente do peso próprio do concreto e, se a consistência – tensão de escoamento – for superior à tensão gerada pela coluna montante de concreto, o fluxo não ocorrerá. Embora esses ensaios estejam atrelados ao tempo necessário para preencher as fôrmas e indiretamente à viscosidade, a tensão de escoamento limita os concretos que podem ser ensaiados, ou seja, a tensão de escoamento apresenta valor máximo, a partir do qual não é mais viável ensaiar os concretos por esta técnica.

2.4.1 Habilidade de enchimento – Caixa L

2.4.1.1 Descrição do método

No ensaio francês do Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Figura 9), o concreto é lançado através de um funil, com altura de queda de 40 cm, enchendo-se o compartimento principal. Em seguida libera-se o fluxo e avalia-se o tempo para o enchimento do molde. Com o intuito de simular a armadura, existem perpendicularmente ao sentido de fluxo do concreto, malhas de aço de diâmetro de 5 mm com espaçamento de 5 cm.

Já na caixa L, originalmente desenvolvida no Japão (Figura 10), após o enchimento da coluna montante, libera-se o fluxo e mensura-se o tempo que o concreto leva para escoar 20 e 40 cm, além da altura final no compartimento principal vertical e a altura final na extremidade oposta, determinando-se a relação H_2/H_1 , comumente entre 0,80 e 0,85. Há como simulação da armadura, 3 barras de aço de 12 mm de diâmetro espaçadas entre si de 3,5 cm [6].

2.4.1.2 Princípio físico da medida

Pela ação da gravidade e do peso próprio do concreto, o fluxo ocorrerá se a tensão de escoamento for superada e, dependerá da viscosidade plástica do sistema. Quando a tensão de cisalhamento igualar-se à tensão de

escoamento, o sistema entrará em repouso e não mais escoará.

Ao escoar e contornar as diferentes simulações de armaduras avalia-se o enchimento das fôrmas, a segregação e a capacidade de envolver as barras de aço do concreto, sem comprometer, posteriormente, no estado endurecido, a aderência concreto/armadura.

Desta forma, tem-se um cenário que envolve, além das características reológicas, a distribuição granulométrica dos constituintes do concreto, a fim de permitir que a argamassa carregue os agregados graúdos por entre as barras de aço, resultando em um material homogêneo por toda a extensão do equipamento.

Uma granulometria inadequada acarretará uma viscosidade incompatível com o propósito do concreto auto-adensável e, por conseguinte, alterações reológicas que repercutem no desempenho a logo prazo do material, tais como efeito parede, heterogeneidades na distribuição dos constituintes, preenchimento inadequado das fôrmas, etc.

2.4.1.3 Análise crítica

No enchimento do compartimento vertical do modelo francês, através do funil (meramente esquemático/ilustrativo na Figura 9), há a imposição de fluxo confinado que pode influenciar o comportamento do concreto.

A altura de queda imposta ao material, em ambos os modelos, até o fundo do equipamento pode induzir maior concentração de

agregado graúdo nas camadas inferiores, em função da viscosidade do material.

Como o transcorrer do ensaio depende da viscosidade plástica do concreto, o intervalo de tempo necessário para sua avaliação induz uma série de modificações no seu comportamento reológico devido às interações entre as partículas e a evolução da hidratação, conforme ilustrado nas Figuras 1 e 2. De fato, pode-se executar concretos auto-nivelantes que apresentem variadas velocidades de escoamento e, durante o tempo de fluxo, a alteração do estado de dispersão/aglomeração das partículas modificará os parâmetros reológicos fundamentais e por conseqüência, o comportamento reológico dos concretos.

Essas variáveis não são diretamente abrangidas por este ensaio e, com isso, há carência de informações que caracterizem o concreto no estado fresco.

2.4.1.4 Finalidade

Adequado para concretos auto-adensáveis que serão lançados em locais de difícil acesso, submersos, por exemplo, com alta concentração de armadura e que não demandam adensamento.

Permite caracterizar concretos bombeáveis auto-nivelantes lançados em vigas/lajes que sofrerão apenas acabamento superficial.

2.5 TEMPO DE REMOLDAGEM

Os ensaios de remoldagem envolvem a capacidade do concreto fluir e assumir a forma

Figura 10 – Ensaio Caixa L – Japão

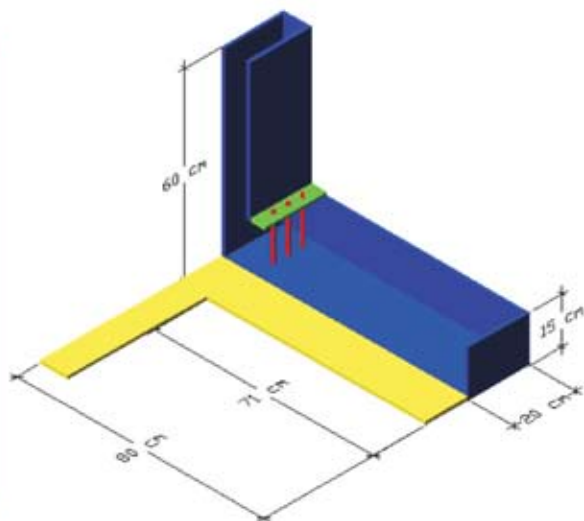
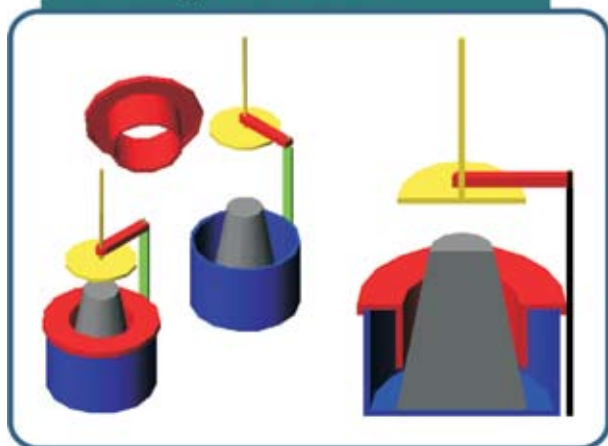


Figura 12 – Representação esquemática do equipamento de remoldagem de Powers



desejada sob impacto ou vibração. Portanto, a intensidade da vibração deve superar a tensão de escoamento e aplicar uma taxa de cisalhamento responsável pelo escoamento do concreto.

2.5.1 Remoldagem de Powers (1932)

2.5.1.1 Descrição do método

O tronco de cone, idêntico ao utilizado no abatimento, é moldado dentro de um molde cilíndrico (30 cm de diâmetro e 20 cm de altura), sobre o qual insere-se outro cilindro de menor diâmetro (20 cm) que irá restringir a movimentação horizontal do concreto, induzindo linhas de fluxo para o material (Figura 12), que terá que contornar o obstáculo para preencher o molde. Sobre o tronco de cone de concreto coloca-se um disco metálico de 1,9 kg, que contém uma marcação na haste metálica para acompanhamento do ensaio.

O disco, sob queda livre restringida pelo escoamento do concreto submetido a impactos na mesa de consistência (1 queda por segundo), servirá como parâmetro para a determinação do número de golpes para a remoldagem [13].

Posteriormente o ensaio de Powers foi modificado por Wuerpel, que substituiu a mesa de consistência por uma mesa vibratória. Então, o tempo de remoldagem é atingido quando o concreto sob a placa, que está sendo vibrado, atingir a forma cilíndrica, identificada pela marcação na haste do disco.

2.5.1.2 Princípio físico da medida

Com a aplicação de energia de vibração, a tensão de escoamento dos concretos ensaia-

dos é superada e o sistema entra em regime de fluxo. A passagem da forma tronco-cônica para a cilíndrica demanda um intervalo de tempo que depende da viscosidade aparente apresentada pelo material quando submetido a uma taxa de cisalhamento constante, por vibração controlada, embora não se tenha uma correlação direta entre essas variáveis, devido aos diferentes comportamentos reológicos dos concretos, função da distribuição granulométrica dos seus constituintes e da interação entre as partículas cimentícias.

2.5.1.3 Análise crítica

Com o lançamento e adensamento do concreto no molde tronco-cônico, pode-se facilmente determinar o abatimento, previamente à remoldagem.

Embora este último seja corriqueiramente utilizado na caracterização tecnológica de concretos, o comportamento sob fluxo depende de uma série de fatores que não são esclarecidos com a mensuração do abatimento. Indiretamente, observa-se na remoldagem (fluxo), que o comportamento de concretos distintos com mesmo abatimento, pode ser bastante diferente, conforme ilustrado na Figura 4.

Essas diferenças podem variar significativamente em função dos materiais cimentícios utilizados (cimento + adições minerais), de suas interações em meio alcalino e do estado de aglomeração das partículas, para determinada vibração imposta, que caracteriza uma taxa de cisalhamento.

Com a ação da vibração, a estrutura aglomerada pode apresentar maior ou menor resistência ao seu fluxo, haja vista que pequena quantidade de energia pode instabilizar uma estrutura aglomerada e ser insignificante perante outra de mesma tensão de escoamento.

Através deste ensaio ou pelo VeBe (aperfeiçoamento do ensaio de Powers) pode-se avaliar o comportamento sob fluxo de concretos que tenham diferentes abatimentos e que resultam em escoamentos idênticos ou bastante distintos quando submetidos a uma determinada taxa de cisalhamento, conforme a Figura 5. Contudo, cabe salientar que a viscosidade aparente obtida por estes ensaios está restrita a uma única taxa de cisalhamento e com isso não se pode estimar o comportamento reológico em taxas variáveis.

Portanto, a técnica da remoldagem evidencia os diferentes comportamentos sob fluxo, mas não esclarece as causas que conduzem aos respectivos resultados.

2.5.1.4 Finalidade

Os ensaios de remoldagem são adequados para concretos com baixo valor de abatimento (menor que 5 cm) e que demandam energia externa para proporcionar o escoamento do material [6].

3. Reômetros

O primeiro registro histórico de reômetro coaxial foi o Plastômetro de Powers e Wiler que, durante as décadas de 1930/1940, utilizavam esse equipamento para mensurar o torque aplicado pelo concreto no cilindro interno do equipamento, conforme se pode observar através da representação esquemática da Figura 13. A cuba externa rotaciona sob diferentes velocidades e também pode operar com movimentos oscilatórios, o que induz o concreto a gerar esforços no cilindro interno.

Com o início da 2ª Guerra Mundial, o aprimoramento do equipamento foi suspenso, entretanto, o seu princípio serviu para o desenvolvimento dos reômetros mais modernos utilizados atualmente na caracterização reológica dos concretos [6].

Nos anos 70, Tattersall desenvolveu o teste de dois pontos baseado no modelo de Bingham, substituindo ao longo dos anos o modelo coaxial (cilindros concêntricos) por hastes com aletas inseridas no concreto. Estas hastes dependem do tipo de concreto, ou seja, apresentam formas e movimentos (rotação

Figura 13 – Representação esquemática do plastômetro de Powers e Wiler

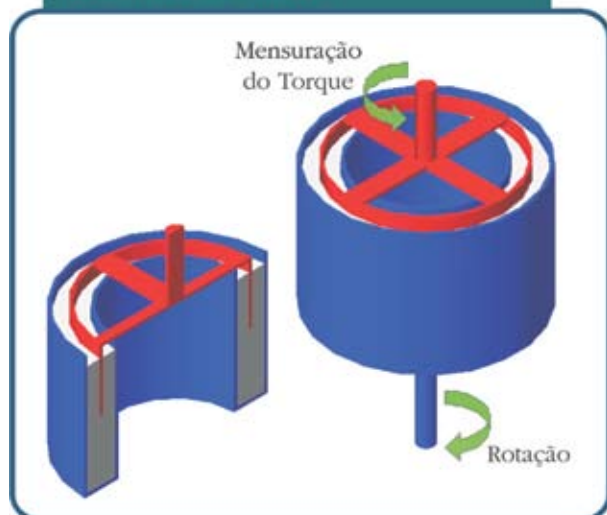
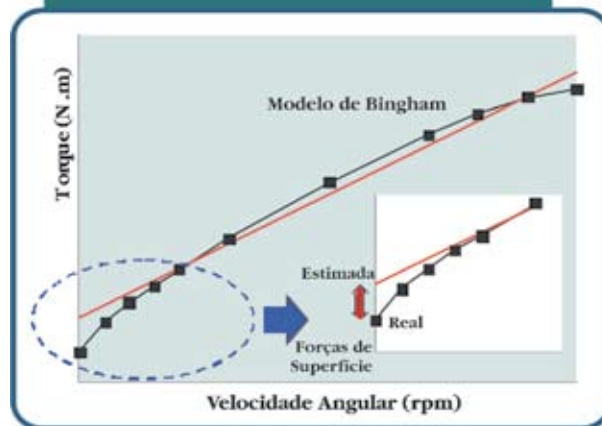


Figura 14 – Perfil reométrico com detalhe na região de baixas taxas de cisalhamento, mostrando a variação na tensão de escoamento real e a obtida pelo modelo de Bingham



axial ou movimento planetário) em função da consistência/abatimento do concreto [2] [6].

Com a evolução dos equipamentos, diferentes reômetros foram desenvolvidos, cada um com suas particularidades, visando englobar a maior quantidade de variáveis que atuam no estado fresco do concreto.

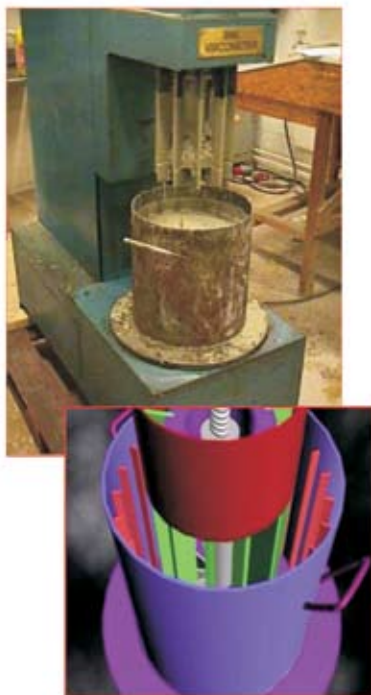
A fim de agregar esforços para a caracterização reológica dos concretos, o NIST – National Institute of Standards and Technology – USA – procurou avaliar a reologia de um concreto fresco padrão através das diferentes configurações de reômetros desenvolvidas nos centros de pesquisas voltados ao tema.

A correlação entre eles demonstrou que há uma tendência nos resultados, embora os valores absolutos para tensão de escoamento e viscosidade não sejam totalmente idênticos. Essas variações podem ser decorrentes de inúmeros fatores que incluem a geometria do equipamento (eixos concêntricos, placas paralelas, tipos de aletas, etc), quantidade de amostra, dimensões, etc, o que demanda pesquisas e desenvolvimento das técnicas de mensuração para sanar esses desvios.

Entretanto, a reometria é a tendência atual para avaliação do comportamento no estado fresco do concreto e sua utilização deve ser aprimorada para dar suporte à dosagem de concretos de moderna tecnologia.

Com a utilização dos reômetros, obtêm-se os mapas reológicos que permitem avaliar precisamente o comportamento a baixas taxas de cisalhamento, conforme a Figura 14.

Figura 15 – Viscosímetro BML com detalhe interno dos cilindros concêntricos



Estes mapas reológicos permitem antever o comportamento no estado fresco do concreto e, assim, atuar sobre a seleção dos constituintes e na proporção de mistura para adequar a aplicabilidade do mesmo às imposições de projeto.

Convém salientar que a determinação dos mapas reológicos das diferentes proporções de mistura, com os mais variados tipos de materiais, demanda pequena quantidade de concreto, e permite ter-se uma base de dados que serve como desenvolvimento de produto ou conhecimento prévio de tal mistura executada, delimitando tal aplicabilidade.

Na seqüência estão demonstrados alguns reômetros desenvolvidos em pesquisas internacionais utilizados no estudo interlaboratorial coordenado pelo NIST.

3.1 VISCOSÍMETRO BML

3.1.1 Descrição do método

Desenvolvido na Noruega em 1987 (Figura 15), é um reômetro do tipo coaxial que permite substituir as peças em função do tamanho máximo do agregado.

A cuba externa gira e o cilindro central faz a medição do torque apenas na região central para evitar as distorções oriundas das camadas de fundo e de superfície. Demanda uma amostra de aproximadamente 17 litros [2] [6].

3.1.2 Princípio físico da medida

Ao se rotacionar a cuba induz-se um torque no cilindro interno, obtendo-se com a variação da velocidade angular os correspondentes torques gerados pelo concreto nas aletas do cilindro concêntrico.

3.1.3 Análise crítica

Em concretos com alta tensão de escoamento, pode haver o deslizamento entre camadas do concreto, ou seja, pode-se ter um cisalhamento total do material na interface do cilindro interno com a camada de concreto situada entre os cilindros concêntricos, o que inviabiliza a realização de ensaio em concretos com baixo abatimento, conforme pode ser observado na Figura 16.

3.1.4 Finalidade

É bastante apropriado para concretos com abatimento superior a 12 cm, mas pode ser utilizado para concretos com abatimento a partir de 5 e 6 cm.

Figura 16 – Exemplo de cisalhamento total de concreto com alta tensão de escoamento, inviabilizando o ensaio por reômetro de cilindros concêntricos



Figura 17 – Reômetro IBB portátil



3.2 REÔMETRO IBB (CANADÁ)

3.2.1 Descrição do método

Neste equipamento o concreto é lançado em uma cuba fixa, onde se imerge uma aleta em forma de "H", que pode operar em rotação axial ou movimento planetário, cisalhando o material a taxas controladas (Figura 17) [6].

3.2.2 Princípio físico da medida

Ao se impor rotações controladas na aleta central, determina-se o torque necessário para manter a taxa de cisalhamento imposta, obtendo-se assim a correlação velocidade angular *versus* torque. Apresenta versão portátil para ser utilizado nos canteiros de obra.

3.2.3 Análise crítica

Este equipamento permite ensaiar concretos com agregados de diâmetro máximo de 25 mm; apresenta rotação axial ou movimento planetário, o que propicia maior homogeneização da amostra durante o ensaio, evitando inconvenientes como o cisalhamento da porção central da amostra, em contato com a aleta, em relação ao restante do concreto.

Contudo não permite modelar a viscosidade e a tensão de escoamento com precisão porque não gera linhas de fluxo paralelas durante o escoamento do concreto na cuba.

3.2.4 Finalidade

Recomendado para concretos com slump superior a 20 cm (auto-adensáveis).

3.3 REÔMETRO BTRHEOM

3.3.1 Descrição do método

Desenvolvido na França, o BTRHEOM é um reômetro de placas paralelas com um container de 24 cm de diâmetro e 10 cm de altura, onde as lâminas da metade inferior são fixas e as da parte superior giram, cisalhando a amostra (Figura 18) [14].

3.3.2 Princípio físico da medida

É um equipamento do tipo placa-placa, de rotação axial, que cisalha o material através de velocidades angulares controladas com a correspondente mensuração do torque gerado pelo concreto em oposição ao seu escoamento. Por gerar linhas de fluxo paralelas possibilita a determinação da viscosidade e da tensão de escoamento.

3.3.3 Análise crítica

Este equipamento dispõe de vibração na sua base para consolidar o concreto e avaliar o efeito da vibração sobre os parâmetros reológicos. Com isso é possível

Figura 18 – Reômetro BTRHEOM

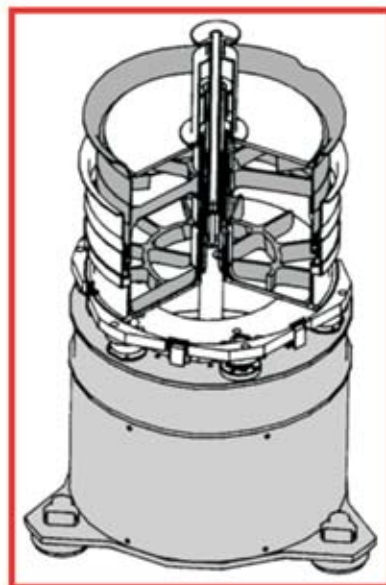


Figura 19 – Reômetro portátil que opera a 5 velocidades, desenvolvido em 2002 [2]



ensaiar concretos que não sejam auto-adensáveis, ou seja, que apresentam abatimento superior a 10 cm, padronizando-se as condições de adensamento e vibração durante o ensaio. Concretos muito secos (baixo abatimento) não podem ser ensaiados neste equipamento.

3.3.4 Finalidade

É recomendado para concretos com slump mínimo de 10 cm [6].

3.4 TENDÊNCIAS ATUAIS

3.4.1 Reômetros portáteis

Com o intuito de disponibilizar recursos para a caracterização reológica dos concretos nos locais de trabalho, instituições de pesquisa vem desenvolvendo protótipos de reômetros portáteis que dispensam grandes equipamentos e que podem ser facilmente operados, aliados a custos mais acessíveis para as empresas de construção [3] [15].

Na Irlanda desenvolveu-se um protótipo manual (Figura 19) que aplica 5 diferentes taxas de cisalhamento ao concreto e armazena os resultados em um aquisitor de dados [3]. Embora prático, há distorções nos resultados em decorrência da incapacidade do operador em prover suficiente restrição rotacional imposta pelo cisalhamento do concreto.

Com o objetivo de sanar o inconveniente dos ruídos, aprimorou-se o protótipo e, conforme a Figura 20, verifica-se que há maior rigidez do equipamento quando esse passa a operar com 4 pontos de apoios, lembrando que há dispositivo que impede a operação do equipamento sem uma das mãos.

3.4.2 Caminhões betoneira como reômetros

Outra tendência na caracterização reológica de concretos está na utilização dos caminhões betoneira como reômetros. Para essa avaliação é necessário o conhecimento da quantidade de energia consumida para gerar o torque que cisalha a massa de concreto além do número de revoluções em decorrência do torque aplicado. O torque pode ser mensurado através do acompanhamento da pressão do óleo responsável pelo giro da betoneira.

Obviamente, há necessidade de que o equipamento instalado possa operar em diferentes velocidades de giro, a fim de aplicar diferentes taxas de cisalhamento à massa de concreto. Amziane *et al.* [16] ensaiaram diferentes concretos através de um caminhão betoneira e ao mesmo tempo utilizaram um

Figura 20 – Reômetro portátil adequado ergonomicamente e que impõe maior rigidez ao equipamento, diminuindo ruídos nas leituras [2]



Figura 21 – Reômetro portátil ICAR utilizado para correlacionar os resultados com o caminhão betoneira [11]



reômetro portátil (ICAR rheometer – Figura 21) para relacionar os resultados obtidos.

A correlação dos valores de tensão de escoamento obtidos pelo reômetro ICAR e pelo caminhão betoneira pode ser considerada muito boa, entretanto, os valores de viscosidade não apresentaram boa correlação.

Mediante os resultados obtidos com o caminhão betoneira concluiu-se que, embora as dimensões e a geometria da betoneira possam ser aprimoradas, é possível quantificar as variações na tensão de escoamento para os diferentes tipos de concreto. Já a mensuração da viscosidade requer alterações na betoneira e maior precisão na quantificação das variáveis.

3.5 PERSPECTIVAS FUTURAS

Com o avanço da tecnologia do concreto e com imposições sociais cada vez mais complexas, surgiu uma ampla demanda por concretos especiais que necessitam de características específicas a fim de desempenhar a

contido suas obrigações na aplicação/execução da obra e ser durável a longo prazo.

Assim sendo, houve necessidade de aprimoramento da mão-de-obra, de equipamentos e de materiais de modo a permitir a execução com viabilidade econômica e técnica, entretanto, o objeto de interesse e que deve atender às necessidades continua tendo seu controle de qualidade baseado em ensaios que não satisfazem às exigências tecnológicas. Por isso, o ensaio de abatimento deve ter sua finalidade contestada já que não há como se ter subsídios suficientes, através do seu resultado, que justifique e ampare tecnicamente a caracterização do concreto para as complexas práticas de engenharia utilizadas nos dias atuais.

Para a viabilidade de um empreendimento que demande um conhecimento técnico aprimorado, não é possível que se trate o material de forma empírica, com a realização de testes de hipótese para adequar o concreto à finalidade desejada.

Logo, com o intuito de se ter mecanismos consistentes para a dosagem de um concreto adequado para essas demandas complexas é que se faz uso da caracterização reológica, através de reômetros que permitem simular, adequar e fundamentar as decisões tomadas para que o concreto consiga atender à função requerida.

Portanto, a tendência é de que a dosagem dos concretos, além da resistência à compressão, tomada como primordial, e dos parâmetros de durabilidade, incorpore a caracterização reológica como fator fundamental para a garantia da qualidade e do desempenho com a maximização do potencial dos materiais, haja vista que, uma adequada dispersão dos aglomerados, máxima redução da quantidade de água de amassamento e trabalhabilidade adequada durante a execução da estrutura garantem um elevado desempenho no estado endurecido.

Para a implementação deste avanço tecnológico, será necessário ensaiar reologicamente as proporções de mistura, o que poderá ser feito em centros de desenvolvimento ou até mesmo em centrais de concreto, onde um reômetro mais robusto e de precisão acurada servirá de ferramenta para adequar os parâmetros de projeto com a trabalhabilidade, destino e funcionalidade durante a execução. Já para o controle tecnológico e comprovação dos requisitos reológicos, reômetros portáteis utilizados nos canteiros de obra servirão para intervir e sanar dispersões que podem ser

Tabela 2 – Finalidade das técnicas de caracterização reológica dos concretos

Técnicas de Caracterização	Tipo de Ensaio	Concretos					
		Compactados com Rolo	Convencionais (10 a 30 MPa)	Projetados	Bombeáveis	Auto Adensáveis	Submersos
Abatimento no tronco de cone	Mono-ponto		X	X	X		
Abatimento modificado	Multiponto					X	
V-Funnel test	Mono-ponto					X	X
Orimet test	Mono-ponto					X	X
Caixa L	Mono-ponto				X	X	X
Tempo de remoldagem (Ve-Be)	Mono-ponto		X				
Reômetros	Multiponto		X	X	X	X	X

MONO-PONTO: ensaio que está relacionado a uma única taxa de cisalhamento, permitindo a mensuração indireta de um parâmetro reológico fundamental (tensão de escoamento ou viscosidade).

MULTIPONTO: ensaio que permite a determinação da tensão de escoamento e das viscosidades plásticas para as correspondentes taxas de cisalhamento.

indesejáveis durante o manuseio do concreto até o seu acabamento.

Contudo, os reômetros citados neste trabalho não permitem realizar a mistura do concreto e apenas ensaiá-lo, o que pode inserir fatores extrínsecos que levam à disparidade de resultados e prejudicam as comparações entre as diferentes configurações de equipamentos.

Neste sentido, a Escola Politécnica/USP está desenvolvendo um reômetro capaz de propiciar a mistura e ensaiar o concreto, trazendo um avanço significativo para a caracterização reológica dos concretos utilizados na construção civil.

4. Considerações finais

Existem inúmeros métodos para avaliação do comportamento reológico dos concretos que apenas fazem inferências sobre os parâmetros fundamentais, mas que podem ser empregados para se ter conhecimento adequado das composições sobre determinadas aplicações/finalidades. Estes métodos não fornecem subsídios suficientes que permitam atuar sobre as composições a fim de sanar deficiências reológicas que dificultam a execução de determinadas tarefas.

Portanto, o conhecimento do comportamento do concreto sob fluxo, a diferentes taxas de cisalhamento, é preponderante para

se avaliar as incompatibilidades reológicas que, muitas vezes, oneram o processo de execução de estruturas de concreto. Essa ampla abrangência das características reológicas é obtida através de ensaios com reômetros, os quais permitem determinar a tensão de escoamento e a viscosidade plástica do material a diferentes taxas de cisalhamento, podendo-se desvincular o comportamento do concreto do modelo de Bingham que, muitas vezes, não representa o real comportamento do material quando o mesmo escoar.

Para finalizar, a Tabela 2 sintetiza as técnicas de caracterização reológica dos concretos, destacando-se que para concretos compactados com rolo ainda não se tem uma ferramenta adequada para caracterização no estado fresco.

Obviamente, existem inúmeras outras técnicas de caracterização que não foram comentadas neste trabalho, mas que podem ser úteis se convenientemente empregadas.

Convém salientar que embora o abatimento modificado seja um ensaio multiponto, não é possível ensaiar o concreto a diferentes taxas de cisalhamento (apenas 1 taxa de cisalhamento), mas pode-se relacionar o ensaio com a tensão de escoamento e com a viscosidade aparente.

Já com os reômetros pode-se determinar além da tensão de escoamento, a viscosidade plástica em uma larga faixa de taxas de cisalhamento, obtendo-se assim os mapas reológicos que caracterizam o concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] BANFILL, P. F. G. The rheology of fresh cement and concrete – a review. 11th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC). Durban, South Africa. 11 – 16 may, 2003.
- [02] BROWER, L. E.; FERRARIS, C. F. Comparison of concrete rheometers. Concrete International, vol. 25, n° 8, p. 41 – 47, August 2003.
- [03] CULLEN, R.; WEST, R. The development of a hand-held rheology tool for characterizing the rheological properties of fresh concrete. Annual Transactions of the Nordic Rheology Society, vol. 12, 2004.
- [04] FERRARIS, C. F. Measurement of rheological properties of high performance concrete: state of the art report. Journal of research of the National Institute of Standards and Technology. Volume 104, Number 5, p. 461 – 478, September-October 1999.
- [05] FERRARIS, C. F.; BROWER, L. E. Comparison of concrete rheometers: International tests at MB (Cleveland OH, USA) in May, 2003. National Institute of Standards and Technology – NISTIR 7154. 116 pág. September 2004.
- [06] KOELHER, E. P.; FOWLER, D. W. Summary of concrete workability test methods. International Center for Aggregates Research – ICAR. Report n° ICAR 105-1, August 2003.
- [07] FERRARIS, C. F.; OBLA, K. H.; HILL, R. The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete. Cement and Concrete Research 31, 245 – 255 (2001).
- [08] FERRARIS, C. F.; DE LARRARD, F. Modified slump test to measure rheological parameters of fresh concrete. Cement, concrete, and aggregates, CCAGDP, vol. 20, n° 2, December 1998, p. 241 – 247.
- [09] FERRARIS, C. F.; DE LARRARD, F. Testing and modelling of fresh concrete rheology. National Institute of Standards and Technology – NISTIR 6094. 71 pág. February 1998.
- [10] SAFAWI, M. I.; IWAKI, I.; MIURA, T. The segregation tendency in the vibration of high fluidity concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 34, p. 219 – 226, 2004.
- [11] LACHEMI, M.; HOSSAIN, K. M. A.; LAMBROS, V.; NKINAMUBANZI, P. –C.; BOUZOUBAË, N. Self-consolidating concrete incorporating new viscosity modifying admixtures. Cement and Concrete Research, Vol. 34, p. 917 – 926, 2004.
- [12] SONEBI, M. Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: modeling using factorial experimental plans. Cement and Concrete Research, Vol. 34, p. 1199 – 1208, 2004.
- [13] SOBRAL, H. S. Propriedades do concreto fresco. 6ª ed., São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 2000. 32 pág. (ET-15).
- [14] HU, C.; DE LARRARD, F. The rheology of fresh high-performance concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 26, N° 2, p. 283 – 294, 1996.
- [15] KOELHER, E. P.; FOWLER, D. W. Development of a portable rheometer for fresh portland cement concrete. International Center for Aggregates Research – ICAR. Report n° ICAR 105-3F, August 2004.
- [16] AMZIANE, S.; FERRARIS, C. F.; KOEHLERE, P. Measurement of workability of fresh concrete using a mixing truck. Journal of research of the National Institute of Standards and Technology. Volume 110, Number 1, p. 55 – 66, January-February 2005. ◆

3º Concurso Ousadia

Concurso IBRACON para estudantes de Arquitetura e Engenharia



Desafio arquitetônico e estrutural: Projeto de torre e posto de controle de acesso de veículos e pessoas em um parque em Bento Gonçalves (RS).



Área – Os projetos inscritos devem contemplar uma área pertencente à **FUNDAPARQUE**, que abriga o **Centro de Eventos** onde será realizado o **49º CBC**.

Objetivo – Incentivar o intercâmbio de idéias entre estudantes de **Arquitetura** e **Engenharia**.

INSCRIÇÕES DOS PROJETOS

http://www.ibracon.org.br/eventos/concursos/ousadia/ad_ousadia.asp

Leia o **regulamento**, na página do **Concurso** no site www.ibracon.org.br

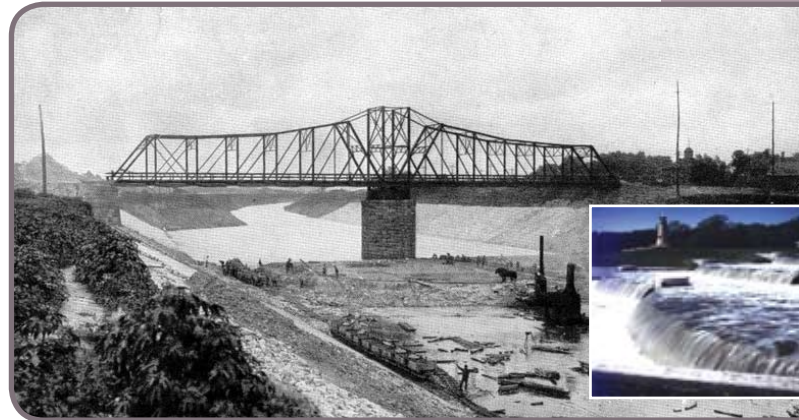
MWRDGC – O maior distrito sanitário do mundo

O maior complexo de estações de tratamento de água e esgoto do mundo, desde 1970, está localizado na região metropolitana de Chicago, nos Estados Unidos. Sob responsabilidade do Metropolitan Sanitary District of Greater Chicago, o complexo atende, além de Chicago, outras 114 cidades e vilarejos e está ligado a outros 20 distritos sanitários locais, abrangendo uma extensão de 2.222 km².

O marco inaugural do complexo foi a construção de canais para fazer o rio Chicago mudar o sentido de seu percurso. A obra atendeu um clamor público para uma solução permanente para o problema de suprimento de água e de tratamento de esgoto da cidade, em razão de seu crescimento industrial e populacional ininterrupto. Em 1885, uma forte tempestade fez o esgoto refluir do Lago Michigan para encanamentos e suprimentos de água residenciais, o que resultou em epidemias de cólera e disenteria, levando à morte 9000 pessoas (12% da população, na época).

Um sistema de três canais foi construído de 1892 a 1922. O primeiro deles – Sanitary and Ship Canal – com 8,5m de comprimento, 7,2m de profundidade e 48,7m de largura, mudou o sentido do fluxo do rio, para o rio Mississipi e o Golfo do México. Em 1910, ficou pronto o North Shore Channel e, em 1922, foi a vez do Cal-Sag Channel. O complexo de túneis possibilitou a dissolução e aeração do esgoto doméstico e industrial da cidade e representou o que havia disponível para a engenharia ambiental naqueles tempos.

Mas, o contínuo crescimento da cidade logo trouxe o problema do tratamento de água e esgoto à discussão pública novamente. Em 1930, a justiça local ordenou que as autoridades competentes construíssem plantas de tratamento de esgoto



para minimizar o problema. Isto fez o Metropolitan Sanitary District implementar um plano moderno e de grande escala para a cidade, que começou com a Estação de Tratamento de Calumet, em 1922, e foi concluído com a construção da Estação de Tratamento de Esgoto de Stickney, a maior do mundo, com capacidade atual de tratamento médio de 3,6 bilhões de litros por dia.

A Estação de Tratamento de Esgoto de Stickney usa o processo do lodo ativo, por meio de dois sistemas de tratamento: o sistema de tratamento de Imhoff e o sistema anaeróbico de tratamento. O Distrito Metropolitano Sanitário da Grande Chicago ganhou, da Sociedade Civil Americana de Engenheiros, o prêmio de uma das sete maravilhas da engenharia dos Estados Unidos.

DADOS TÉCNICOS

Capacidade de tratamento: 6,8 bilhões de litros/dia

Equipamentos: 7 Estações de Tratamento de Água e Esgoto; 23 Estações de Bombeamento, 164 km de Túneis e Interceptores; 891 km

Beneficiados: 10,35 milhões de pessoas



Projeto Tietê: obras de saneamento para atender 18 milhões de pessoas

O Projeto Tietê é o maior programa de saneamento ambiental do país. Consiste num conjunto de obras, a cargo da Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo (SABESP), destinadas a ampliar a capacidade de coleta, interceptação e tratamento de esgotos da Região Metropolitana de São Paulo. Seu propósito é o de coletar

e tratar os esgotos de cerca de 18 milhões de pessoas, melhorando as condições ambientais e de saúde pública da região.

A primeira etapa do projeto, executada entre 1992 e 1998, demandou investimentos de US\$ 1,1 bilhão, que resultou em três estações de tratamento de esgoto em São Miguel, ABC e Parque Novo Mundo; na ampliação da capacidade de tratamento da Estação de Barueri de 7 para 9,5 mil litros de esgotos tratados por segundo; e na construção de 1,5km de redes coletoras, 315km de coletores-tronco, 37km de interceptores e em mais de 250 mil ligações domiciliares. Sem falar do Emissário Pinheiros-Leopoldina, uma tubulação de 3m de diâmetro e 7,5km de extensão, responsável por receber os esgotos de quase toda bacia do Rio Pinheiros para serem tratados na Estação de Barueri.

O resultado mais visível pode ser visto nas cidades de Salto e Itu: seus moradores passaram a ver peixes no trecho do rio que corta as cidades. Outros benefícios: 250 mil famílias passaram a contar com serviço de coleta de esgotos; aumento do índice coletado de esgoto na RMSP de 70 para 80%; e aumento do índice de esgoto tratado na RMSP de 24 para 62%.

Desde 2002, a SABESP executa a segunda etapa do projeto, que possibilitará que 350 milhões de litros de esgoto por dia deixem de ser lançados nos rios. Nesta etapa serão investidos US\$ 400 milhões, metade dos quais são recursos do Banco Interamericano de Desenvolvimento, para a construção de extensas tubulações de esgotos, que se comparam



às construções de túneis viários de metrô. Com elas será possível interligar o sistema de coleta às estações de tratamento que foram construídas na primeira etapa. Serão mais 36km de interceptores; 110km de coletores-tronco; 1,2mil km de redes coletoras; e 290 mil ligações domiciliares de esgotos. O prazo para o término desta

etapa é o primeiro semestre de 2008.

No final das obras, a capacidade das estações de tratamento passará de 12,8 mil litros de esgotos tratados por segundo para 15,4 mil litros, o que representa que 70% dos esgotos lançados serão tratados na RMSP.

São duas as tecnologias mais avançadas usadas neste tipo de obra. A tecnologia de tubos cravados (pipe jacking) consiste no uso de tubos de concreto pré-fabricados com ponta de concreto e bolsa de aço, que são cravados no subsolo. Estes tubos são fabricados com cimento resistente a sulfatos, com baixa absorção de água (abaixo de 4%), e concreto de alta resistência (acima de 45 MPa), o que garante uma longa vida útil ao produto. Em função do uso de junta elástica entre os tubos, obtém-se estanqueidade total, evitando-se infiltrações ou vazamentos na rede.

Quando as condições geológicas do terreno impossibilitam o uso do pipe jacking ou o projeto demanda canais com diâmetros superiores a 1500mm, as empreiteiras fazem uso da tecnologia austríaca de túneis (NATM), semelhante a utilizada nas obras do metrô com concreto projetado.

DADOS TÉCNICOS

Capacidade de coleta: 20,7 mil litros/segundo

Capacidade de tratamento: 15,4 mil litros/segundo

Coletores-tronco: 425 km

Interceptores: 73 km

Redes coletoras: 2,7 km

Beneficiados: 18 milhões de pessoas ♦

Beleza Segurança Durabilidade



*Atestado por
90 milhões
de votos.*

O **Concreto** tem respeito pelo **Meio Ambiente** por sua capacidade de:

- *Ser reciclável*
- *Incorporar os rejeitos industriais*
- *Confinar materiais perigosos*

O **Concreto** é o **material estrutural** mais adequado para uma **construção sustentável**.



SÓ DEPOIS DE MUITA PESQUISA,
COMEÇAMOS A CONSTRUIR UMA TESE,

UMA PONTE, UMA USINA,
UM PRÉDIO.

A Vedacit/Otto Baumgart possui uma linha completa de produtos,
dentro eles impermeabilizantes, materiais para construção e aditivos para concreto.
Todos feitos com a máxima de tecnologia, testados e aprovados pelos mais diversos tipos de obra.
Acesse nosso site e conheça mais sobre nossos produtos.

www.vedacit.com.br

VEDACIT
IMPERMEABILIZANTES



(11) 6062 5506